

DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES PARA EL
LABORATORIO DE COMBUSTIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA - UIS

FEDERICO ARTURO ACOSTA BÁEZ
MARÍA FERNANDA CUÉLLAR ARCINIEGAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2020

DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES PARA EL
LABORATORIO DE COMBUSTIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA - UIS

FEDERICO ARTURO ACOSTA BÁEZ
MARÍA FERNANDA CUÉLLAR ARCINIEGAS

Trabajo de grado para optar título de Ingeniero Mecánico

DIRECTOR:
YESID JAVIER RUEDA ORDOÑEZ
Doctor en Ingeniería Química

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado en primer lugar a Dios y a la Virgen del Milagro del Topo, quienes me dieron la sabiduría y fortaleza para superar cada obstáculo presentado en el camino, gracias por siempre estar a mi lado y no desampararme en los momentos más difíciles.

A mis padres, Rocío Báez Rincón y Eduardo Acosta Rincón, por estar para mí incondicionalmente en los momentos más difíciles, por ser mi inspiración, mi refugio, mi consuelo en los momentos que más los necesité a lo largo de esta linda etapa de mi vida, gracias por darlo todo por mí.

A mis hermanos del alma Juan Diego Acosta Báez y Mauricio Eduardo Acosta Franco, mis compañeros de vida, mis confidentes, gracias por estar para mí sin importar la circunstancia, son los mejores hermanos que la vida me pudo dar.

A mi abuelita, Ana B. Rincón Espinosa por su apoyo incondicional, por todo su amor, su ternura, por esperarme tantos años para verme profesional, eres la mejor abuelita del mundo.

A mi abuelito, Marco Antonio Báez Betancourt, por sus palabras sabias y gran apoyo siempre que lo necesité.

A mi sobrina María Juliana Acosta Peña, para que siempre recuerdes a tu tío con mucho cariño y te sirva de ejemplo para cumplir todos sus sueños y aspiraciones.

Finalmente, a mi tío José Francisco Acosta Rincón (Q.E.P.D), estoy seguro que desde el cielo me estas acompañando y estas disfrutando de este triunfo tanto como yo.

Federico Arturo Acosta Báez.

A Dios, por bendecirme y por tomar cada limitación que presenté durante este tiempo, replazando cada una de ellas por nuevas expectativas llenas de fe y de pasos tangibles, que me ayudaron a culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres, Luz Dary Arciniegas Manrique y Luis Fernando Araque Barros, por confrontarme y redimir mi deseo de rendirme en algunas ocasiones. Gracias por sus palabras llenas de sabiduría, fe y amor, son mi inspiración.

A mis hermanos, Fernando Luis Araque Arciniegas y Luis Fernando Araque Arciniegas, por retarme continuamente a soñar en grande y ser de ejemplo.

Estoy segura que ¡Lo mejor está por venir!

María Fernanda Cuéllar Arciniegas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a mis padres, por tener siempre sus brazos abiertos para mí, por darlo todo sin esperar nada a cambio, por sus consejos, su dedicación, su entrega, su amor incondicional, gracias a mi madre por ser lo mejor que la vida me pudo dar, gracias por tu paciencia, amor infinito, gracias por ser mi sostén ante cada caída, gracias por darme la fuerza para levantarme y seguir cada vez con más ganas, me quedo corto al describir lo perfecta que eres; gracias a mi padre por enseñarme a ser perseverante, a nunca desfallecer, a siempre darlo todo, gracias por entregar tu vida, tu salud, tu amor, gracias por cada uno de tus consejos, eres el mejor papá que un hijo pueda tener. No tengo manera para agradecer y expresar todo el amor que siento por ustedes. Cada triunfo que pueda cosechar en mi vida será dedicado para ustedes. Los amo infinitamente y siempre lo daré todos por ustedes.

A mi hermano menor Juan Diego por ser mi compañero de vida, por estar ahí cuando más te necesito, gracias por todo tu apoyo, amor desprendido, la vida me premio con el mejor de los hermanos. Sigue adelante y cumple todos tus sueños y propósitos, siempre estaré para ti. Te amo infinitamente.

A mi hermano mayor, Mauricio Eduardo, por todos sus consejos, por siempre querer lo mejor para mí, por ser mi confidente y amigo, gracias por ser parte de mi vida, eres un ejemplo a seguir. Te amo mi hermano.

A mi abuelita, Ana B. Rincón por todo su amor, por siempre creer en mí, espero que la vida me permita dedicarte más logros y que los disfrutes al lado mío.

A mi abuelito, Marco Antonio Báez Betancourt, por siempre esperarme con sus brazos abiertos, gracias por tus consejos y cariño.

A mis tías, Josefina Acosta Rincón y Martha Lucila Acosta Rincón, por su cariño, respeto y amor hacia mi familia, gracias por todos sus consejos, estoy en deuda con ustedes. Las quiero mucho.

A mis tíos, Alfonso Báez Rincón, Nelson Báez Rincón y Gilberto Báez Rincón, por todo su cariño y apoyo en esta etapa de mi vida. Nunca cambien.

A Laura Álvarez, por todas las noches que estuviste a mi lado acompañándome en este proyecto, gracias por tu cariño, dedicación y apoyo siempre que lo necesite, jamás voy a olvidar todo lo lindo que has hecho por mí.

A todos mis amigos, en especial a Felipe Medina Rodríguez, Juan Fernando Acevedo, Jose Fernando Silva y Cristian Alejandro Cuervo. Gracias por hacer que esta etapa de mi vida fuera la mejor de todas. En ustedes veo el verdadero valor de la amistad, gracias por estar siempre cuando más los necesite, gracias por permitirme compartir triunfos y derrotas a su lado. Los llevo en mi corazón.

A la Familia Rojas Márquez, por todo su apoyo a lo largo de esta importante etapa de mi vida. Los quiero mucho.

*Gracias a cada uno de los profesores de la Universidad Industrial de Santander que pusieron su grano de arena para hacer este sueño realidad, en especial al profesor Octavio Andrés González Estrada, todo mi respeto y admiración para usted.
Al profesor Yesid Rueda Ordoñez, por brindarme la confianza y permitirme desarrollar este proyecto de grado.*

A María Fernanda Cuéllar Arciniegas por todo su empeño y dedicación a este proyecto de grado.

Federico Arturo Acosta Báez.

A Dios, por brindarme sabiduría y entendimiento en cada etapa de mi vida.

A mi familia, Araque Arciniegas y Cuéllar, por su apoyo y su amor inagotable.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica que influenciaron mi etapa de formación profesional. Estoy eternamente agradecida.

A mis amigos, por su apoyo incondicional.

A mi compañero de tesis Federico Acosta que estuvo presente en este camino, por su paciencia y dedicación.

María Fernanda Cuéllar Arciniegas.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	23
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	23
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	24
2. OBJETIVOS.....	26
2.1 OBJETIVO GENERAL	26
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
3. MARCO TEÓRICO	27
3.1 ESTADO DEL ARTE.....	27
3.2 REFERENTES TEÓRICOS	34
3.2.1 Sistema de Ventilación	34
3.2.2 Clasificación del sistema de ventilación:.....	34
3.2.2.1 Sistema de impulsión	34
3.2.2.2 Sistema de extracción.....	35
3.2.2.3 Partes de un sistema de extracción localizada.	36
3.2.2.4 Clasificación de campanas	37
3.2.4 Propiedades de los contaminantes	43
3.2.4.1 Efectos de inercia	43
3.2.4.2 Efectos de la densidad.....	43
3. ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA.....	44
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL	44
3.2 LABORATORIO DE COMBUSTIBLES.	45
3.2.1 Procesos de transformación energética.....	46

4. DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA	48
4.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD (QFD)	48
4.1.1 Requerimientos del sistema.....	48
4.1.2 Requerimientos ingenieriles.....	48
4.1.3 Criterios de diseño.	48
4.2 MATRIZ DE CALIDAD DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN	49
4.2.1 Ponderación de resultados	49
4.3 MATRIZ DE CALIDAD DE LOS SUBSISTEMAS RELEVANTES	50
4.3.1 Subsistema de captación.....	50
4.3.1.1 Ponderación de los resultados.....	50
4.4 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS	51
4.4.1 Evaluación de las alternativas.....	53
4.4.1.1 Subsistema de ventilación	53
4.4.1.2 Ponderación de resultados.	54
4.5 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS.	54
4.5.1 Evaluación de las alternativas.....	55
4.5.1.1 Subsistema de circulación	56
4.5.1.2 Ponderación de resultados.	56
4.6 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS.	57
4.6.1 Evaluación de las alternativas.....	58
5. UBICACIÓN FÍSICA DE LA CAMPANA DE EXTRACCIÓN.....	59
5.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD	59
5.1.1 Requerimientos del sistema.....	59
5.1.2 Criterio de ubicación	59
5.2 MATRIZ DE CALIDAD DE UBICACIÓN	59
5.2.1 Ponderación de resultados	60
5.3 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS	60
5.3.1 Evaluación de las alternativas.....	62
5.3.1.1 Alternativa N° 1.....	63

5.3.1.2 Alternativa N° 2.....	64
5.3.1.3 Alternativa N° 3.....	65
5.4 ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN.....	66
6. DISEÑO EN DETALLE DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN	67
6.1 MODELO TERMODINÁMICO.....	68
6.1.1 Flujo volumétrico de los gases de combustión.....	68
6.1.2 Estequiometría de la combustión.....	69
6.2 CÁLCULOS DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN.....	78
6.2.1 Cálculo del caudal de aspiración y caudal de ambiente de trabajo.....	78
6.2.2 Área de captación.....	79
6.2.3 Efecto de pestañas.....	80
6.2.4 Velocidad de captación.....	81
6.2.5 Dimensionamiento de los conductos.....	86
6.2.6 Cálculo de la altura del plenum.....	88
6.2.7 Pérdidas de carga en el sistema.....	89
6.2.7.1 Pérdidas de carga en la campana.....	90
6.2.7.2 Presión estática en la campana.....	92
6.2.8 Diseño del subsistema de circulación.....	93
6.2.8.1 Pérdida de carga en conductos.....	93
6.2.8.2 Diseño del sistema de conductos.....	97
6.2.9 Cálculo de pérdidas en los accesorios.....	100
6.2.9.1 Pérdida de carga en codos.....	101
6.2.9.2 Transformaciones (reducciones o expansiones).....	102
6.2.9.3 Sombretes.....	103
6.2.9.4 Sistema de control de emisiones.....	104
6.2.10 Resultados cálculos del diseño en detalle del sistema de extracción.....	107
6.2.11 Selección del ventilador.....	110
6.2.11.1 Variación de la densidad.....	111
6.3 PROTOTIPO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES.....	115

6.3.2 Selección del ventilador para el prototipo del sistema de extracción.	121
7. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES	124
8. COSTOS DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y PROTOTIPO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN	128
8.1 PARÁMETROS A EVALUAR.....	128
8.2 COSTOS DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN.....	130
8.3 COSTOS DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN.....	136
9. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	141
10. CONCLUSIONES	142
BIBLIOGRAFÍA.....	144

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Laboratorios Escuela de Ingeniería Mecánica	45
Tabla 2. Procesos térmicos de transformación energética de la biomasa	47
Tabla 3. Matriz de calidad del sistema de extracción.....	49
Tabla 4. Resultados de los subsistemas a evaluar	49
Tabla 5. Matriz de calidad del subsistema de captación.....	50
Tabla 6. Ponderación de los resultados en el subsistema de captación.....	51
Tabla 7. Alternativas para el sistema de captación.....	51
Tabla 8. Evaluación de las alternativas del subsistema de captación.....	53
Tabla 9. Matriz de calidad del subsistema de ventilación.	53
Tabla 10. Ponderación de los resultados en el subsistema de ventilación.	54
Tabla 11. Alternativas sistema de ventilación.	54
Tabla 12. Evaluación de las alternativas del subsistema de ventilación.....	55
Tabla 13. Matriz de calidad del subsistema de circulación.	56
Tabla 14. Ponderación de los resultados en el subsistema de circulación.	56
Tabla 15. Alternativas sistema de circulación	57
Tabla 16. Evaluación de las alternativas del subsistema de circulación	58
Tabla 17. Matriz de calidad ubicación física de la campana en el laboratorio.....	60
Tabla 18. Resultados de los criterios a evaluar.	60
Tabla 19. Disposición de la campana en el laboratorio.....	61
Tabla 20. Evaluación de las alternativas para la ubicación de la campana.	62
Tabla 21. Evaluación de las alternativas para la ubicación del sistema de extracción.....	66
Tabla 22. Análisis último en base seca para el cisco de café	71
Tabla 23. Análisis último del estudio de las masas residuales para la industria arrocera.....	71
Tabla 24. Análisis último de cacao.....	71
Tabla 25. Análisis último borra de café.	72

Tabla 26. Variación de tiempo en los primeros minutos de la combustión.	76
Tabla 27. Flujo volumétrico de los gases de combustión para 500 g de Biomasa.	77
Tabla 28. Flujo volumétrico de los gases de combustión para 100 g de Biomasa.	77
Tabla 29. Rango de velocidades de captura.	82
Tabla 30. Velocidades en la boca de succión de la campana.	85
Tabla 31. Velocidad mínima de transporte para algunos contaminantes.	86
Tabla 32. Condiciones atmosféricas estándar.	94
Tabla 33. Condiciones atmosféricas de Bucaramanga.	95
Tabla 34. Tabla de viscosidad dinámica.	96
Tabla 35. Rugosidad Absoluta.	100
Tabla 36. Resultados obtenidos del diseño en detalle.	107
Tabla 37. Características de selección del ventilador.	113
Tabla 38. Marca y modelo de ventilador a emplear.	114
Tabla 39. Características de operación del ventilador.	114
Tabla 40. Resultados cálculos del prototipo del sistema de extracción.	118
Tabla 41. Condiciones de selección para ventilador Kooltronic.	122
Tabla 42. Construcción prototipo sistema de extracción.	124
Tabla 43. Selección de la empresa encargada a realizar la construcción del prototipo.	129
Tabla 44. Lista de piezas del sistema de extracción.	130
Tabla 45. Lista de piezas del prototipo sistema de extracción.	136

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Enfermedades respiratorias de origen laboral	25
Figura 2. Partes de un sistema de extracción local.....	36
Figura 3. Cabina de Extracción de Gases y Vapores	38
Figura 4. Campana de extracción de humos de soldadura.....	38
Figura 5. Campanas externas.....	39
Figura 6. Campanas de extracción lateral.....	40
Figura 7. Ductos de extracción y transporte de gases	40
Figura 8. Ventilador Axial.....	41
Figura 9. Ventilador Centrífugo	42
Figura 10. Nuevo Edificio Escuela de Ingeniería Mecánica	44
Figura 11. Laboratorio de Combustibles	46
Figura 12. Cabina para laboratorio	51
Figura 13. Campana simple	52
Figura 14. Campana Compuesta	52
Figura 15. Ventilador Impulsor	54
Figura 16. Extractor	55
Figura 17. Impulsor- Extractor.....	55
Figura 18. Conducto Rectangular	57
Figura 19. Conducto Circular	58
Figura 20. Campana con sistema de circulación.	61
Figura 21. Campana con sistema de circulación.	61
Figura 22. Disposición de equipos en el laboratorio.	62
Figura 23. Alternativa 1 disposición del laboratorio.....	63
Figura 24. Alternativa 2 disposición del laboratorio.....	64
Figura 25. Alternativa N° 3.....	65
Figura 26. Proceso de diseño del sistema de extracción.....	67
Figura 27. Mesa de trabajo	79
Figura 28. Medidas de la campana de extracción.....	79

Figura 29. Contornos de velocidad para una campana rectangular.....	81
Figura 30. Campana de extracción, Laboratorio de procesos Ingeniería Química	83
Figura 31. Anemómetro digital Extech	83
Figura 32. Distancia de toma de datos.	84
Figura 33. División de sección transversal de la campana	84
Figura 34. Altura del plenum	89
Figura 35. Distribución del fluido en la vena contracta.....	90
Figura 36. Ángulo de entrada de la campana	91
Figura 37. Perdidas a la entrada de la campana y coeficiente de entrada.....	92
Figura 38. Barómetro Change.....	95
Figura 39. Codo 90°	101
Figura 40. Sistemas de transición, rectangulares a circulares	103
Figura 41. Sombrete	104
Figura 42. Curva característica ventilador centrifugo SODECA.....	113
Figura 43. Prototipo sistema de extracción	115
Figura 44. Vista Superior Prototipo sistema de extracción	116
Figura 45. Altura del plenum	116
Figura 46. Bastidor del prototipo.	117
Figura 47. Ruedas que permiten el movimiento del prototipo	118
Figura 48. Curva Característica ventilador Kooltronic.....	123
Figura 49. Soldadura aplicada a campana de extracción	124
Figura 50. Construcción del bastidor del sistema	124
Figura 51. Bastidor, ductos y codos del sistema de extracción.....	125
Figura 52. Aplicación de Masilla a la campana de extracción.....	125
Figura 53. Aplicación de anticorrosivo a todas las piezas.....	125
Figura 54. Aplicación de pintura al bastidor	125
Figura 55. Bastidor con pintura aplicada.....	126
Figura 56. Campana de extracción, ductos y codos con pintura aplicada	126
Figura 57. Abrazadera del ventilador	126
Figura 58. Ventilador Kooltronic.....	126

Figura 59. Ensamble componentes sistema de extracción de gases	127
Figura 60. Placa con nombres de los autores del proyecto	127
Figura 61. Vista frontal prototipo sistema de extracción de gases	127
Figura 62. Vista lateral prototipo sistema de extracción de gases	127
Figura 63. Posición correcta en el área de trabajo.....	247
Figura 64. Filtro en buen estado de funcionamiento	256
Figura 65. Filtro listo para ser reemplazado.....	257

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Modelo de equilibrio estequiométrico	70
Ecuación 2. Ecuación para obtener equilibrio de masa	70
Ecuación 3. Ecuación para obtener equilibrio de masa	70
Ecuación 4. Ecuación para obtener equilibrio de masa	70
Ecuación 5. Ecuación para obtener equilibrio de masa	70
Ecuación 6. Sumatoria de masas de cada elemento	72
Ecuación 7. Sumatoria de moles de los componentes individuales	72
Ecuación 8. Fracción de masa	73
Ecuación 9. Fracción de masa para Carbono	73
Ecuación 10. Fracción de masa para el Hidrógeno	73
Ecuación 11. Fracción de masa para el Oxígeno	73
Ecuación 12. Fracción de masa para el Nitrógeno	73
Ecuación 13. Suma de fracciones de masa	73
Ecuación 14. Suma de fracciones molares	74
Ecuación 15. Masa de una sustancia	74
Ecuación 16. Numero de moles para el Carbono	74
Ecuación 17. Número de moles para el Hidrógeno	74
Ecuación 18. Número de moles para el Oxígeno	74
Ecuación 19. Numero de moles para el Nitrógeno	74
Ecuación 20. Ecuación de estado de un gas ideal	75
Ecuación 21. Densidad	75
Ecuación 22. Densidad de los gases de combustión	75
Ecuación 23. Flujo volumétrico de los gases de combustión	76
Ecuación 24. Caudal de Aspiración.	78
Ecuación 25. Caudal del ambiente de trabajo	78
Ecuación 26. Área de la sección transversal de la campana	80
Ecuación 27. Cálculo de velocidad promedio	85

Ecuación 28. Área del ducto	87
Ecuación 29. Diámetro del conducto	87
Ecuación 30. Velocidad real de transporte en el conducto	88
Ecuación 31. Altura del plenum	89
Ecuación 32. Pérdidas de entrada en la campana.....	91
Ecuación 33. Presión estática en la campana	92
Ecuación 34. Numero de Reynolds.....	93
Ecuación 35. Densidad para condiciones diferentes a las estándar	96
Ecuación 36. Cálculo de la presión dinámica.....	98
Ecuación 37. Ecuación de Darcy	99
Ecuación 38. Ecuación de Colebrook	99
Ecuación 39. Perdidas en accesorios.....	100
Ecuación 40. Relación radio de curvatura y diámetro de entrada.....	102
Ecuación 41. Ecuación de Huebscher	103
Ecuación 42. Relación de áreas circular y cuadrada del conducto	103
Ecuación 43. Pérdida de carga a condiciones de Bucaramanga	111
Ecuación 44. Pérdida de carga a condiciones estándar mediante uso de ley de ventiladores.....	111
Ecuación 45. Igualación del flujo másico de Bucaramanga y el flujo másico estándar	112
Ecuación 46. Altura del plenum prototipo sistema de extracción	117

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Desarrollo de los modelos termodinámicos mediante EES	145
Anexo B. Cálculos y resultados sistema de extracción de gases	158
Anexo C. Cálculos y resultados prototipo de sistema de extracción de gases	163
Anexo D. Cálculo de la velocidad promedio.....	168
Anexo E. Gama de valores mínimos de las velocidades de transporte	169
Anexo F. Valor de viscosidad dinámica	170
Anexo G. Espesor de las paredes de conductos de acero y aluminio.	171
Anexo H. Coeficientes de pérdida de carga para codos de 90°.....	173
Anexo I. Sistemas de transición, redondos a rectangulares	174
Anexo J. Gráfico de pérdida de carga de sobrete	175
Anexo K. Parámetros de valor de informe de eficiencia mínima (MERV) de los filtros	176
Anexo L. Pautas de Aplicación de filtros.....	177
Anexo M. Catálogo Filtro Varicel AAF.....	178
Anexo N. Ficha técnica Ventilador Centrifugo SODECA.....	181
Anexo O. Acero SAE 1010 calibre 18.....	185
Anexo P. Ventilador Kooltronic.	186
Anexo Q. Cotizaciones sistema de extracción Industrias y Metales DJ y Grupo Empresarial Servicios de Ingeniería y Metalmecánica S.A.S.....	188
Anexo R. Cotizaciones prototipo sistema de extracción, Industrias y Metales DJ y Grupo Empresarial Servicios de Ingeniería y Metalmecánica S.A.S.....	194
Anexo S. Planos Diseño de sistema de extracción de gases.	198
Anexo T. Planos prototipo sistema de extracción de gases.....	228
Anexo U. Soporte de pared VK.....	241
Anexo V. Manual de operación y mantenimiento.....	242
Anexo W. Ficha de registro de mantenimiento del sistema de extracción de gases	258
Anexo X. Planos Distribución del sistema de extracción	259

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES PARA EL LABORATORIO DE COMBUSTIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA - UIS.*

AUTORES: FEDERICO ARTURO ACOSTA BÁEZ**
MARÍA FERNANDA CUÉLLAR ARCINIEGAS**

PALABRAS CLAVE: Campana extractora, Gases, Combustión, Biomasa.

DESCRIPCIÓN:

Este trabajo de grado tuvo como finalidad el diseño en detalle y construcción de un prototipo del sistema de extracción de gases para el laboratorio de combustión de la Escuela de Ingeniería Mecánica-UIS, que cuenta con subsistema de captación, filtración y circulación para conducir los gases fuera del recinto. Se diseñó con el fin de mejorar la calidad del aire de las personas que trabajan en el laboratorio, previniendo la generación de posibles enfermedades respiratorias.

Mediante la metodología de diseño, se recopiló la información necesaria con el fin de tener claridad en los conceptos para la realización del mismo. Se elaboró un modelo termodinámico que proporciona el flujo volumétrico, así como la composición de los gases que serán extraídos del laboratorio. A continuación, se presentaron los cálculos necesarios para hallar el caudal de aire a extraer, haciendo énfasis en la velocidad de captación y velocidad de transporte, siendo estos últimos, parámetros importantes en el dimensionamiento de los conductos. Después, se calculó la pérdida de carga en los diferentes componentes como la campana, conductos, accesorios y filtro para luego seleccionar el ventilador que mejor se ajustó a las necesidades del sistema.

Utilizando el mismo procedimiento de cálculos se diseñó el prototipo del sistema de extracción de gases para 100 g de biomasa, prosiguiendo con la fase de construcción.

Finalmente, se redactó el manual de operación y mantenimiento para el adecuado uso y preservación del sistema.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Yesid Javier Rueda Ordoñez, Doctor en Ingeniería Química.

ABSTRACT

TITLE: DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES PARA EL LABORATORIO DE COMBUSTIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA - UIS.*

AUTHORS: FEDERICO ARTURO ACOSTA BÁEZ**
MARÍA FERNANDA CUÉLLAR ARCINIEGAS**

KEY WORDS: Extractor Hood, Gases, Combustion, Biomass

DESCRIPTION:

The purpose of this work was the detailed design and construction of a prototype of the gas extraction system for the combustion laboratory of the School of Mechanical Engineering (UIS), which has a capture, filtration and circulation subsystem to conduct the gases outside the campus. It was designed to improve the air quality of the people working in the laboratory, preventing the generation of possible respiratory diseases.

Through the design methodology, the necessary information was collected to have clarity in the concepts for the realization of the same. A thermodynamic model was elaborated that provides the volumetric flow, as well as the composition of the gases that will be extracted from the laboratory. Then, the necessary calculations were made to find the air flow to be extracted, emphasizing the collection speed and transport speed, which are important parameters in the sizing of the ducts. Afterwards, the pressure drop in the different components such as the hood, ducts, accessories and filter was calculated and then the fan that fits the needs of the system is selected.

Using the same calculation procedure, the prototype of the gas extraction system for 100g of biomass was designed, continuing with the construction phase.

Finally, the operation and maintenance manual was written for the proper use and preservation of the system.

*Bachelor Thesis

** Physicomechanical Faculty of Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Yesid Javier Rueda Ordoñez, Doctor in Chemical Engineering.

INTRODUCCIÓN

La Universidad Industrial de Santander es una institución pública que forma profesionales integrales. Dicha integridad trae consigo conciencia ambiental, brindada a la comunidad estudiantil con el conocimiento, tecnología e innovación de nuevas fuentes de energías. Este conocimiento debe ser aprovechado para realizar proyectos de investigación, implementando nuevas tecnologías de combustión y uso de combustibles más eficientes que sean amigables con el medio ambiente.

La transformación energética de la biomasa, fuente renovable de energía es un campo de investigación muy amplio, donde se busca utilizar esta energía de forma alternativa. Dependiendo del tipo de contaminante las consecuencias en la salud son variables y ocurren en gran medida por la concentración, tiempo de exposición y reacciones con otros contaminantes para formar sustancias tóxicas.

El presente proyecto busca desarrollar una adecuada extracción para la realización de cualquier trabajo donde se efectúen procesos básicos como combustión, pirolisis, gasificación y torrefacción, mediante los cuales la biomasa pueda transformarse en calor y electricidad provocando gases combustibles.

Teniendo en cuenta lo expresado, es necesario implementar un sistema de extracción, que permita reducir los gases, vapores y humos nocivos del recinto, filtrando los contaminantes para posteriormente liberar aire de mejor calidad, asegurando al personal condiciones óptimas de trabajo y por ende menos lesivas.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander cuenta con un Laboratorio de Combustión que ocupa un área estimada de 100 m². En él se desarrollan prácticas de biomásas, análisis de sus derivados, caracterización de combustibles, diseño y construcción de máquinas térmicas, con el objetivo de comprobar validez a los planteamientos teóricos y además brindar un espacio para el desarrollo de la investigación en esta área.

Actualmente, este laboratorio no cuenta con un sistema de extracción, lo cual es imprescindible, puesto que no solo mejora la calidad ambiental y la respiración, sino que impide que se acumulen gases tóxicos y olores desagradables evitando a su vez, el deterioro del laboratorio.

La norma técnica colombiana NTC 3631, establece que se debe proveer una adecuada ventilación y extracción localizada para la realización de cualquier trabajo donde se efectúen los gases de combustión o gases combustibles¹. Esto con el fin de que los estudiantes que realicen las prácticas mencionadas, no estén expuestos a concentraciones perjudiciales y que se encuentran en la atmósfera de trabajo. Diferente de la protección respiratoria que debe tener, es necesario que el ambiente cuente con los medios precisos para evacuar o disminuir la concentración de los gases nocivos.

Por las razones anteriormente descritas, es necesario desarrollar un diseño exhaustivo para el manejo de gases, que conlleve al dimensionamiento de un sistema de extracción para el laboratorio y así, mejorar las condiciones de operación, en aspectos de economía, durabilidad y facilidad en su instalación.

¹ Norma Técnica Colombiana NTC 3631 2003-08-26. Ventilación de recintos interiores donde se instalan artefactos que emplean gases combustibles para uso doméstico, comercial e industrial. 5p

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

El programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander (UIS), está en la necesidad de trabajar en el mejoramiento de la capacidad de construcción, aplicación y divulgación de conocimiento; la investigación, el desarrollo y transferencia de tecnologías, así, como en el desarrollo de una infraestructura acorde con sus necesidades. De allí, que un sector estratégico requiera del desarrollo de mejores prácticas, entre ellos, sistema extracción de gases.

La contaminación de interiores representa un riesgo para quienes ocupan estos espacios, lo cual genera consecuencias en la salud, debido a la permanencia de los individuos en ambientes que carecen de la correcta extracción en los lugares de trabajo.

Los efectos en la salud pueden ser los siguientes: irritación en los ojos y nariz, aumento de las infecciones respiratorias agudas altas y bajas, exacerbaciones del asma bronquial, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), cardiopatías y aumento de las tasas de mortalidad; de igual manera, se puede desarrollar cáncer pulmonar.

En la siguiente figura se encontrarán algunas enfermedades respiratorias de origen laboral.

Figura 1. Enfermedades respiratorias de origen laboral

- Enfermedades de vías aéreas
 - Asma ocupacional
 - Síndrome de disfunción reactiva de vías aéreas
 - Bronquitis crónica
 - Enfisema
- Enfermedades intersticiales
 - Neumoconiosis de polvo inorgánico
 - Alveolitis alérgica extrínseca o neumonitis por hipersensibilidad
 - Daño alveolar agudo
 - Proteinosis alveolar
 - Neumonía lipoidea
 - Fibrosis pulmonar intersticial
 - Bronquiolitis
- Neoplasias
 - Cáncer de pulmón
 - Mesotelioma

Fuente C. MARTÍNEZ GONZÁLEZ Y G. REGO FERNÁNDEZ, Enfermedades respiratorias de origen ocupacional.

Con la información anteriormente presentada, aparece una preocupación: la creciente informalidad en el manejo y cuidado del ambiente, la cual, hace que muchos estudiantes trabajen bajo condiciones peligrosas, exponiéndose a la inhalación de humos y vapores nocivos para la salud.

Teniendo en cuenta los elementos mencionados y las dimensiones del sistema de extracción, el precio en mercado oscila entre \$11'000,000 MCLV - \$20'000.000 MCLV. Como medidas preventivas es necesario desarrollar un diseño que pueda construirse en el laboratorio y ofrezca a los estudiantes condiciones de trabajo menos lesivas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir en el desarrollo de nuevas tecnologías para la Universidad Industrial de Santander, mediante el diseño de un sistema de extracción de gases de escape para el Laboratorio de Combustión de la Escuela de Ingeniería Mecánica, que permita la salubridad del aire en espacios muy contaminados.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el sistema de extracción de gases, que consta de cuatro elementos básicos: Campana, conducto, depurador y ventilador con las siguientes condiciones de operación:
 - Masa de biomasa: 500 g
 - Flujo máximo de gases: 0,6 m³/min
 - Presión máxima de gases: 101,325 Kpa
 - Temperatura máxima de gases de combustión: 300°C
- Construir un prototipo por medio de la misma metodología de cálculo del primer objetivo que cumpla con las siguientes especificaciones:
 - Masa de biomasa: 100 g
 - Flujo de operación: 0,07 – 0,10 m³/min
- Redactar un manual de operación y mantenimiento para el correcto funcionamiento del equipo en el laboratorio de combustión.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 ESTADO DEL ARTE

DELGADO, Marco², realizó el diseño de un sistema de extracción y tratamiento de gases en un ambiente de forja y soldadura donde identifica las fuentes de contaminación y establece velocidades de captura y transporte a lo largo del sistema, selecciona el tipo o configuración de campana de extracción de acuerdo al gas a extraer en cada fuente según las características de cada proceso en el Laboratorio. Una vez establecido el sistema, procede a realizar los cálculos correspondientes, tales como el diámetro de las tuberías y caídas de presión en cada tramo de tubería del sistema. Como conclusión, se diseñaron dos sistemas de extracción y tratamiento de gases con base en las concentraciones de los contaminantes más relevantes en los procesos descritos en este trabajo.

FLORES, Allan³, desarrolló el diseño e implementación de un sistema de extracción para tres laboratorios de la Especialidad de Ingeniería de Minas de la Pontificia Universidad Católica de Perú (Hidrometalurgia, Biomateriales y Pirometalurgia), los cuales realizan ensayos utilizando distintos tipos de procesos que involucran la emanación de sustancias químicas en forma de humos, gases y vapores, los cuales deberán ser extraídos y tratados posteriormente, de tal manera, que se garantice el cumplimiento de las normas de salud e higiene ocupacional y las normas de control de contaminación medio ambiente y de calidad de aire. Para cumplir con este objetivo se investigó acerca de los procesos realizados en los laboratorios, el

² DELGADO, Marco. Diseño de un sistema de extracción y tratamiento de gases en un ambiente de forja y soldadura. Lima: Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánica: Pontificia Universidad Católica de Perú, 2016.

³FLORES, Allan. Instalación de ventilación de laboratorios con extracción de gases. Lima: Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánica: Pontificia Universidad Católica de Perú; 2011.

material particulado emitido, las posibles soluciones de diseño y los costos de instalación y equipo a utilizar para los fines nombrados anteriormente.

ISAZA, Luis⁴ , efectuó el diseño y simulación de un extractor de humos de soldadura para espacios confinados donde propone un dispositivo que permite extraer los humos de soldadura en espacios confinados y así garantizar las propiedades del aire requeridas para el consumo humano, utilizaron las tecnologías CFD para hacer el diseño y la simulación de los componentes del dispositivo, así como las herramientas CADCAE integradas en la suite de SolidWorks.

ORTEGA, Andrés⁵ , realizó el diseño de un sistema de extracción de gases para un asador de pollos, donde analizó las nociones fundamentales de este proceso utilizado en las labores de cocción de alimentos y se examinaron los distintos tipos de asadores de pollos, como también sus elementos constituidos, para evitar la diseminación del contaminante y salvaguardar la seguridad personal. Se concluye que el diseño del sistema de extracción se integra el cálculo de las necesidades de ventilación para cada área funcional del establecimiento. Para un adecuado diseño, se utiliza una serie de códigos de acuerdo al estándar escrito específicamente para los sistemas de extracción en operaciones comerciales de cocción es la normativa NFPA 96, como también el ASHRAE en capítulos afines.

MÁRQUEZ, Andrés⁶ , ejecutó el diseño de un sistema de extracción de polvo y viruta de madera para la carpintería de la fundación salesiana “PACES” donde

⁴ ISAZA, Luis. Diseño y simulación de un extractor de humos de soldadura para espacios confinados”. Pereira: Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánica: Universidad Tecnológica de Pereira, 2015.

⁵ ORTEGA, Andrés. Diseño del sistema de extracción de gases para un asador de pollos. Quito; Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánica, 2008.

⁶ MÁRQUEZ, Andrés; ULLOA, Jonathan. Diseño de un sistema de extracción de polvo y viruta de madera para la carpintería de la fundación salesiana “PACES”. Cuenca: Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánica: Universidad Politécnica Salesiana, 2018;

investigó las alternativas tecnológicas para la extracción de polvos, segmentando el estudio de los principios de funcionamiento y las tecnologías utilizadas en la industria. De tal forma, que se pueda escoger la tecnología más adecuada para el proceso llevado a cabo dentro de la carpintería del proyecto PACES. Una vez seleccionado el método óptimo para las características del sistema, se procede a diseñar, evaluando los parámetros de entrada necesarios para iniciar el análisis, estableciendo el dimensionamiento de los componentes, dichos resultados son comprobados en el programa de Simulación ANSYS. Como conclusión, la inclusión de sistemas de extracción de polvo, son de gran importancia en la industria maderera, debido a que estos sistemas ayudan a prevenir enfermedades a los trabajadores, mejoran la calidad del ambiente de trabajo y alargan la vida útil de las maquinas requiriendo menores tiempos de mantenimiento.

SANABRIA & HOYOS,⁷ presentan el diseño y construcción de un prototipo de cabina de flujo laminar vertical para la empresa UNIDOSSIS S.A.S de acuerdo a la norma NSF/ANSI 49-2008. Allí se podrá trabajar con muestras biológicas, preparaciones oncológicas o productos farmacéuticos. Se utilizó un ventilador helico-centrifugo que impulsa aire a través de un filtro HEPA, el cual tiene una capacidad de filtración del 99.99% de partículas de un tamaño no menor a 0.3 um. La cabina laminar está equipada con instrumentos de calidad de aire, velocidad, temperatura, humedad, para que el operario pueda realizar ajustes en tiempo real.

CORZO & GOMEZ,⁸ realizan el montaje y puesta en marcha de los bancos del laboratorio de máquinas térmicas alternativas (MTA) para el desarrollo de prácticas

⁷ SANABRIA, Diego; HOYOS, Oscar. Diseño y construcción de un prototipo de cabina de flujo laminar vertical para la empresa UNIDOSSIS S.A.A. Bucaramanga: Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánica: Universidad Industrial de Santander, 2016.

⁸ CORZO, Yanlon; GÓMEZ, Harold. Montaje y puesta en marcha de los bancos del laboratorio de máquinas térmicas alternativas (MTA) para el desarrollo de prácticas de laboratorio y ensayos de grupos de investigación en el nuevo edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga: Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánica: Universidad Industrial de Santander, 2019.

de laboratorio y ensayos de grupos de investigación en el nuevo edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica UIS, aquí se lleva a cabo el mantenimiento correctivo de cada uno de los bancos que se ponen a prueba, además se realiza el diseño del sistema de extracción de gases de combustión para acoplarlo al existente, con el fin de reducir los costos y aprovechar el material ya instalado, definieron mediante el software Casals el caudal de gases de escape correspondiente a $0.13\text{m}^3/\text{s}$ teniendo en cuenta que el diámetro del sistema de escape del motor es de 0.08m .

V. SAMARASEKERA⁹, realizó un modelado matemático de tensiones térmicas en tubos de campana de horno de oxígeno, en donde analizan el flujo de calor durante el ciclo térmico y la tensión de una sección transversal del tubo donde la temperatura se encuentra en estado estacionario. Se calculó en un lugar donde la temperatura del gas en la campana podría ser máxima. Los cálculos se realizaron para temperaturas máximas de gas en el rango de 1950 a 2480 ° C (3500 a 4500 ° F). Se postuló la hipótesis que, debido al rendimiento reactivo, la energía de deformación plástica se acumula y causa la falla de los tubos por fatiga en la región de ciclo bajo. Utilizando la teoría de fatiga, se llegó a estimar la vida útil del tubo donde se muestra que el mecanismo falla y que el número de ciclos dentro del cual se observó el agrietamiento de los tubos se compara razonablemente con las predicciones del modelo.

PINELLI & SUMAN¹⁰ presentaron un método numérico para el diseño eficiente de campanas de apertura libre en aplicaciones industriales y domésticas, se utiliza la

⁹ V. SAMARASEKERA, Mathematical modeling of thermal stresses in basic oxygen furnace hood tubes: Metallurgical and Materials Transactions: p.247-248. 1985

¹⁰ PINELLI, Michele; SUMAN. Alessio. A numerical method for the efficient design of free opening hoods in industrial and domestic applications: Ferrara: Dipartimento di Ingegneria: Università di Ferrara, 2014.

dinámica de fluidos computacional (CFD), para la evaluación de la velocidad de captura en campanas, se tienen en cuenta los efectos geométricos y viscosos. Se crean diferentes campanas, que difieren en forma (cuadrada y rectangular) y tamaño, y su campo de velocidad se determina numéricamente. Se presenta una comparación entre los resultados numéricos obtenidos y los resultados obtenidos de la fórmula empírica encontrada en la literatura y se destaca la discrepancia entre ellos. Luego, a partir de los resultados numéricos, se propone una nueva ecuación, que tiene en cuenta los efectos de la viscosidad, junto con su rango de aplicabilidad y su nivel de confianza. La ecuación encontrada es de fácil utilización para el diseñador ya que permite predecir la velocidad del aire para una campana de captación y por consiguiente diseñar el sistema de extracción de manera adecuada.

AHN, ELLENBECKER, WOSKIE, DIBERARDINIS,¹¹ realizaron los efectos de las prácticas laborales y los movimientos de la parte superior del cuerpo sobre el rendimiento de una campana extractora de laboratorio en donde hablan de los patrones de exposición en los entornos de laboratorio en los cuales el operario o trabajador suele estar expuesto materiales y cantidades muy variables durante períodos cortos. Para los trabajadores de laboratorio, dicha exposición a corto plazo puede representar la mayoría de su exposición total a los materiales.

Para reducir la exposición a contaminantes en el aire, las campanas de extracción de laboratorio se utilizan ampliamente en entornos de laboratorio.

YEN, HOONG, HONG,¹² realizaron un modelado de dinámica de fluidos computacional (CFD) sobre el efecto de la extracción de humos, hablan de la importancia de las campanas de extracción y de su relevancia en las industrias de

¹¹ AHN, Kwangseog, *et.al.* Effects of work practices and upper body movements on the performance of a laboratory fume hood. Wisconsin: Department of Occupational & Environmental Safety & Health: University of Wisconsin: Elsevier Inc., 2015.

¹²YEN, Samkar; HOONG LeeSiong and HONG BanZhen. Computational fluid dynamics (CFD) modelling on effect of fume extraction. Kota Damansara: Division of Chemical Health and Safety of the American Chemical Society: Elsevier Inc, 2019.

anodización donde esenciales ya que la exposición a largo plazo a los gases ácidos liberados puede provocar efectos adversos para la salud. Se realizó una simulación numérica utilizando la dinámica de fluidos computacional (CFD) para estudiar la región efectiva de una campana extractora de humo. Según los resultados obtenidos la región efectiva de una campana extractora de humo con un flujo de aire de escape designado es más de la mitad del ancho y la altura del tanque de solución. A partir de los estudios del caso, se sugiere utilizar dos campanas de extracción ya que es más efectivo que aumentar la velocidad de captación de humos y de esta manera reducir los gases peligrosos en el lugar de trabajo.

PIETROWICZ, KOLASINSKI, POMORSKI,¹³ realizaron el análisis de flujo experimental y numérico y optimización del diseño de una campana de extracción con el método CFD donde se hacen análisis experimentales y numéricos de las características estándar de la campana extractora para determinar la naturaleza de los fenómenos de flujo dentro de la cámara de trabajo. Los resultados numéricos obtenidos indicaron las zonas de recirculación de aire intensificado dentro del cámara de campana de humos y mostró la naturaleza complicada del flujo. Las conclusiones y pautas de diseño de campanas de extracción fueron destinadas a reducir el tamaño de las zonas de recirculación, por lo tanto, se determinó la reducción del ruido y la potencia necesaria para conducir el extractor. Sobre la base de los cálculos realizados se propusieron cuatro modificaciones del diseño de la campana extractora y analizado numéricamente la reducción de las zonas de recirculación, por lo tanto, una disminución de caída de presión en un 30,5%.

¹³ PIETROWICZ, Slawomir; KOLASINSKI, Kolasinski and POMORSKI, Michal. Experimental and numerical flow analysis and design optimization of a fume hood using the CFD method. Breslavia: Wroclaw University of Science and Technology: Elsevier Inc., 2017.

WITT , SOLNORDAL , MITTONI , FINN , PLUTA ,¹⁴ este artículo informa sobre un análisis combinado de ingeniería y CFD de un sistema de extracción de humos para un puerto de carga de escoria de zinc. El modelo de ingeniería reveló que los componentes existentes de la planta (casa de bolsas y ventilador) no eran capaces de capturar la cantidad requerida de humo, y que el diseño original de la capucha era defectuoso. El modelo CFD se usó para predecir la captura y emisión de humos de la campana existente. Las predicciones del modelo CFD mostraron que el aumento de la tasa de flujo de tiro en un orden de magnitud solo daría una mejora marginal en la captura de humos. Se descubrió que las campanas de extracción proporcionaban una longitud equivalente de 25 diámetros a las líneas de extracción. La pérdida de presión a través de la cámara de bolsas varió de 1100 Pa a 1400 Pa, de acuerdo con la variación experimentada durante un ciclo de agitación de la casa de bolsas. El análisis CFD de la nueva campana reveló que es posible una mejora significativa en la captura de humos. Se realizó la construcción e instalación de la campana y se logró una reducción del 65% en la emisión de humos, mitigando significativamente un problema de emisión.

WHITE, F¹⁵ realizó el diseño de recintos de aire para laboratorios donde habla de que estos lugares tienen unas características de diseño los cuales se discuten en relación con la naturaleza de las características de rendimiento requeridas para permitirles trabajar satisfactoriamente dentro del entorno de construcción de salud. No tiene la intención de involucrar un diseño mecánico detallado o especificaciones detalladas, aunque se dan algunas referencias que ayudarán a una comprensión más detallada de la ingeniería.

¹⁴ WITT, P.J.; SOLNORDAL, C.B.; MITTONI, L.J.; FINN, S.; PLUTA, J.; "Optimizing the design of fume extraction hoods using a combination of engineering and CFD modeling "; Clayton South; Elsevier Inc.; 2006.

¹⁵ WHITE, F; The Desing of air enclosures for laboratorios: Protective air Enclosures in Health Buildings: London: The Macmillan Press Ltd: p.43-44, 1981.

3.2 REFERENTES TEÓRICOS

3.2.1 Sistema de Ventilación¹⁶: El sistema de ventilación ofrece una solución a situaciones donde exista contaminación de cualquier naturaleza o condiciones ambientales que pueden ser perjudiciales para la salud, tales como: calor, vapores, gases, partículas y otras impurezas en el aire, que se originan en los procesos y operaciones industriales, los cuales poseen elevada toxicidad y concentraciones que exceden los niveles de seguridad del trabajador. No obstante, el objetivo principal de este sistema es de mantener la calidad de aire en los lugares de trabajo. La ventilación en los recintos interiores donde se instalan artefactos que emplean gases combustibles para uso doméstico, comercial e industrial deberá cumplir con la Norma Técnica Colombiana NTC 3631¹⁷, y las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, resolución (909).

3.2.2 Clasificación del sistema de ventilación:

Según la Sociedad Americana y Gubernamental de la Industria Higiénica (ACGIH) en la industria se emplea dos tipos de sistemas de ventilación. Los sistemas de Impulsión y sistemas Extracción.

3.2.2.1 Sistema de impulsión¹⁸: Tienen una doble función en la industria, reemplazar el aire extraído en el recinto y dar un ambiente de confort. Un diseño correcto debe tener una sección de toma de aire, conductos, equipo de calefacción, filtros, rejillas y ventilador.

¹⁶ Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH): 23rd Edition: p.1-2, 1998.

¹⁷ NTC 3631. Ventilación de recintos interiores donde se instalan artefactos que emplean gases combustibles para uso doméstico, comercial e industrial. ICONTEC®, 2019.

¹⁸ ACGIH. Op. Cit., p.1-2.

3.2.2.2 Sistema de extracción¹⁹: El sistema de extracción es empleado para disminuir y prevenir la exposición del aire contaminado ya que es captado en el lugar donde se produce para así evitar su difusión por todo el recinto. Estos sistemas se clasifican en dos grupos:

- Sistemas de extracción general
- Sistemas de extracción localizada.

• **Sistemas de extracción general²⁰:** Se usa para la eliminación de los contaminantes generados en un ambiente de trabajo y para el control de ambientes térmicos, mediante el barrido de grandes cantidades de aire.

• **Sistemas de extracción localizada²¹:** El objetivo principal de los sistemas de extracción localizada es de capturar los contaminantes a menor distancia de su origen. Este grupo es el de mayor eficacia debido a que emplean pequeñas cantidades de aire con respecto a los elevados caudales en los sistemas de extracción general.

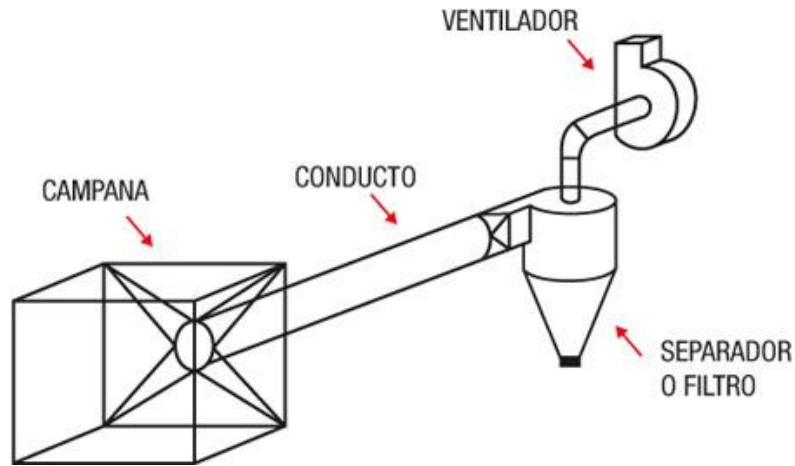
Este sistema consta de cinco elementos básicos: campana (para poder succionar el aire con los contaminantes y trasladarlos a los ductos de descarga), conductos con sus accesorios (codos entre otros), equipo de control (opcional), dispositivo purificador de aire (filtros), y ventilador con su motor (para proporcionar la energía necesaria para transportar la corriente de aire junto con los contaminantes) (véase Figura 2).

¹⁹ ROVIRA, Héctor; GARCIA, Álvaro. Campanas de Extracción en Ambientes de Trabajo. Bucaramanga: Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánica: Universidad Industrial de Santander: p. 1993.

²⁰ *Ibíd.*, p.121.

²¹ *Ibíd.*, p.121.

Figura 2. Partes de un sistema de extracción local



Fuente: Ventilación y extracción localizada, Mundo HVACR, [En línea] Disponible en: <https://www.mundohvacr.com.mx/2013/02/ventilacion-y-extraccion-localizada/>

Uno de los principales parámetros involucrados en el diseño de este sistema es la determinación de los caudales a manejar en cada punto de extracción, razón por la cual un cuidadoso estudio de los elementos que afectan este parámetro debe ser realizado en un principio debido a lo particular que resulta cada diseño, esto como consecuencia de la diferencia en cada proceso y material manejando; entre los elementos que afectan el valor de este parámetro se encuentran:

- Numero de operarios cerca al sitio de emisión.
- Presencia de corrientes de aire en las zonas adyacentes.
- Ubicación relativa del sistema extractor.
- Tipo de campana a utilizar.

3.2.2.3 Partes de un sistema de extracción localizada.

- **Sistema de Captación**²². Se denomina sistema de captación o campana al componente que permite el ingreso de aire que contiene determinada cantidad de contaminante al sistema de conductos para ser transportado al medio ambiente.

3.2.2.4 Clasificación de campanas. Un criterio base para la clasificación de las campanas es la localización relativa de estas respecto al punto de emisión del contaminante. De acuerdo a esto se tienen tres categorías: encerramientos, campanas suspendidas, campanas receptoras.

- **Encerramientos**²³. El contaminante se genera dentro de la misma campana y para que la captación sea efectiva se necesita un buen encerramiento de la fuente, con el fin de proporcionar volúmenes mínimos de aire a extraer y para evitar que haya escapes al ambiente de trabajo. A mayor encerramiento mayor eficiencia y economía.

Se clasifican en dos tipos, los que tienen abertura para la entrada/salida de material y los que están completamente cerrados al ambiente exterior.

- **Cabinas**²⁴. Las cabinas son campanas que encierran parcialmente el proceso o el punto de generación del contaminante (véase Figura 3.), permitiendo el acceso de los trabajadores y equipos. Una corriente de aire que penetre a través de su abertura retendrá el contaminante en el interior de la misma, impidiendo que llegue al ambiente de trabajo. Son usadas en operaciones de rociado de pintura, esmerilado portátil, pulimiento y brillo.

²² Ibíd., p.122.

²³ Ibíd., p.123.

²⁴ACGIH. Op. Cit., p.3-2.

Figura 3. Cabina de Extracción de Gases y Vapores



Fuente. Open Sky Colombia, Tienda en línea de equipos de control de calidad, [En Línea]

- **Campanas suspendidas**²⁵. Se denominan campanas suspendidas a las que se encuentran situadas adyacentes al foco de contaminante, pero sin encerrarlo, como por ejemplo una abertura rectangular sobre una mesa de soldadura (véase Figura 4.).

Figura 4. Campana de extracción de humos de soldadura

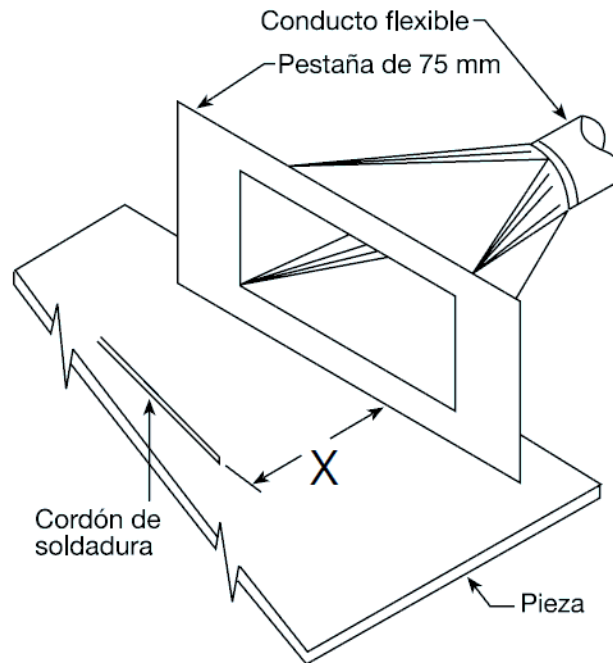


Fuente. GESVEN, Gestión de proyectos de ventilación, Extracción de humos de soldadura, [En Línea], Disponible en: <http://gesven.es/productos/>

²⁵ ECHEVERRY, Carlos: Ventilación Industrial: Universidad de Medellín, 2011. p.44.

- **Campanas externas**²⁶. Se sitúan al lado de la fuente de emisión. Normalmente se emplean en caso de no poder encerrar el proceso. Se diseñan de acuerdo a su forma, asegurando una velocidad de captura adecuada para poder succionar los contaminantes en su punto más desfavorable.

Figura 5. Campanas externas



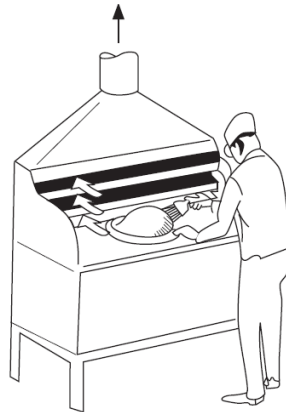
Fuente. Manual Práctico de Ventilación Soler & Palau, p.28.,2012.

- **Campanas de extracción lateral**²⁷: Se emplean para control de tanques abiertos, donde se generan gases, vapores y neblinas en procesos donde se sumergen piezas para limpieza superficial, como decapado, desengrasado, cromado y niquelado. Usualmente emplean ranuras para aumentar la velocidad de captura y obtener una distribución uniforme del contaminante a través de la cara de la campana.

²⁶ *Ibíd.*, p. 47.

²⁷ *Ibíd.*, p. 47.

Figura 6. Campanas de extracción lateral



Fuente. ECHEVERRY, Carlos; Ventilación Industrial; Universidad de Medellín; p.48; 2011.

• **Ductos de conducción**²⁸: De forma rectangular, circular o cuadrada, los ductos de conducción deben ser localizados de tal forma que no afecte las operaciones del proceso y las operaciones de mantenimiento rutinarias, por lo tanto, una optimización del trazado disminuyendo los requerimientos de potencia y, cumpliendo las anteriores condiciones es el fin perseguido en el diseño de cualquier sistema de ventilación.

Figura 7. Ductos de extracción y transporte de gases



Fuente. ROS, Sistemas de tubería Modular.

²⁸ *Ibíd.*, p.77.

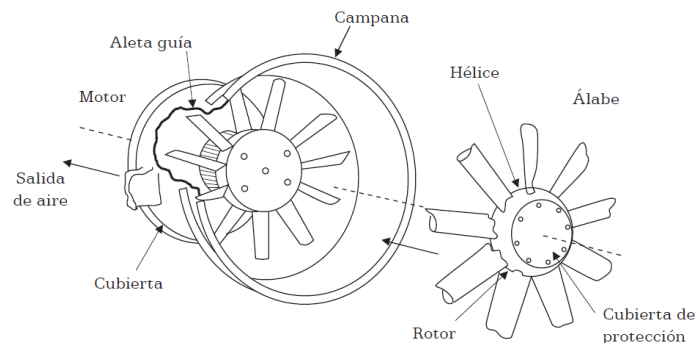
- **Sistema filtración**²⁹: Compuesto por medios filtrantes adecuados para retirar contaminantes hasta lograr un determinado grado de limpieza de acuerdo a los procesos y operaciones realizadas.

- **Ventiladores**³⁰: Son máquinas rotativas capaces de mover una determinada masa de aire transportada a cierta presión, suficiente para poder vencer las pérdidas de carga producidas por el sistema.

Los ventiladores se dividen en dos grupos: ventiladores axiales y centrífugos.

- **Ventiladores axiales**³¹: Transmiten la energía al aire por medio de un movimiento de giro provocado por el rotor, conservando la dirección de éste. Se emplean para mover grandes cantidades de aire en recintos abiertos. Poseen una alta eficiencia mecánica, con la dificultad no vencer caídas de presión muy elevadas. Por tal motivo su aplicación se da en el campo de la ventilación general utilizados como inyectores de aire y extractores.

Figura 8. Ventilador Axial



Fuente. ECHEVERRY, Carlos; Ventilación Industrial: Universidad de Medellín; p.128; 2011.

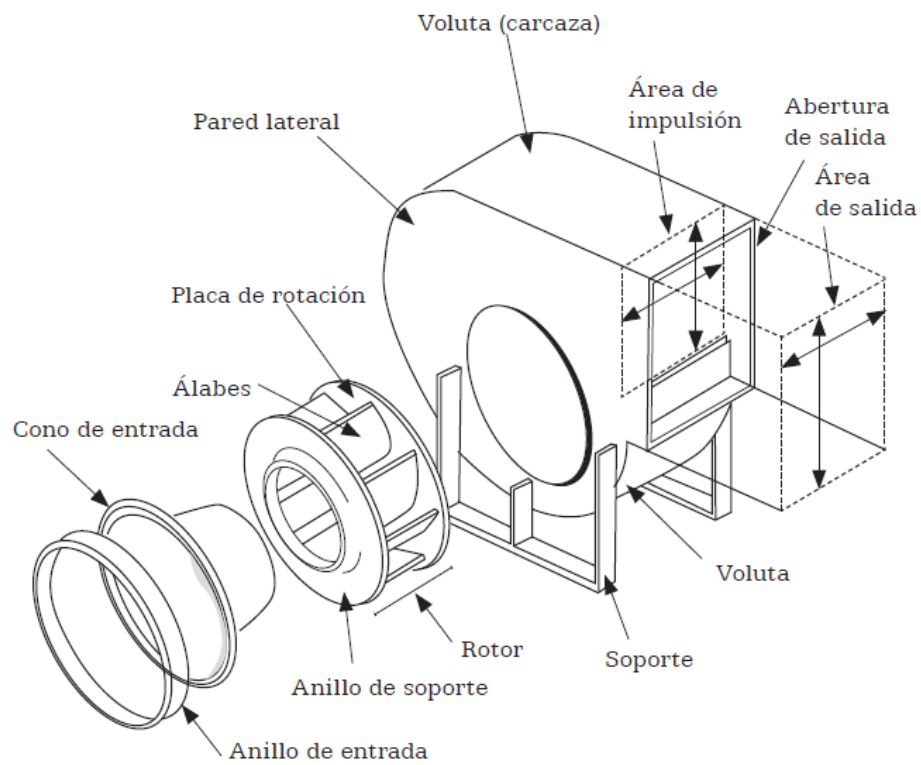
²⁹ Ibíd., p.52.

³⁰ Ibíd., p.127.

³¹Ibíd., p.127.

• **Ventiladores centrífugos**³². Su nombre indica la manera en la cual comunica el ventilador la energía a la corriente de aire ingresando a través de la abertura concéntrica con el eje del rotor. El rotor dispone de álabes que están adheridos a él para hacer que el aire circule hacia el exterior por medio de la fuerza centrífuga abandonando el rotor con una mayor velocidad. A continuación, se presentan las partes más relevantes de un ventilador centrífugo (Véase Figura 9.).

Figura 9. Ventilador Centrífugo



Fuente. ECHEVERRY, Carlos; Ventilación Industrial; Universidad de Medellín; p.132; 2011.

³² Ibíd., p.132.

- **Velocidad de captura**³³: Se define como la velocidad mínima de la corriente de aire con la cual se garantiza el arrastre de contaminante desde el punto de emisión hasta el punto de captación.

- **Velocidades de transporte**³⁴. Depende de las propiedades de los contaminantes capturados por la campana, normalmente varían de 10 m/s a 30 m/s. Cuando la velocidad aumenta, para un mismo caudal, disminuye la sección y se incrementan las pérdidas en los conductos, por lo tanto, cuando la velocidad disminuye, aumenta el área de sección transversal del conducto, disminuyendo las caídas de presión.

3.2.4 Propiedades de los contaminantes

3.2.4.1 Efectos de inercia³⁵: Los contaminantes al poseer partículas muy pequeñas no presentan inercia significativa, siendo fácilmente arrastrados por cualquier corriente de aire. La campana de extracción genera una velocidad de captura apropiada para vencer las corrientes de aire producidas en el recinto de trabajo mediante el movimiento de personas, vehículos, etc.

3.2.4.2 Efectos de la densidad³⁶: Los contaminantes representan un riesgo para la salud, no tienen una densidad apreciable, es decir, no se mueven hacia arriba o hacia abajo siguiendo las corrientes de aire. El movimiento habitual de aire asegura una dispersión uniforme de los contaminantes, salvo en operaciones con gran desprendimiento de calor o frío, o cuando un contaminante es generado en gran cantidad y se logra controlarlo antes de que se disperse

³³ ROVIRA. Op. Cit., p.54.

³⁴ ROVIRA. Op. Cit., p.55.

³⁵ ACGIH. Op. Cit., p. 3-2

³⁶ ACGIH. Op. Cit., p. 3-2

3. ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

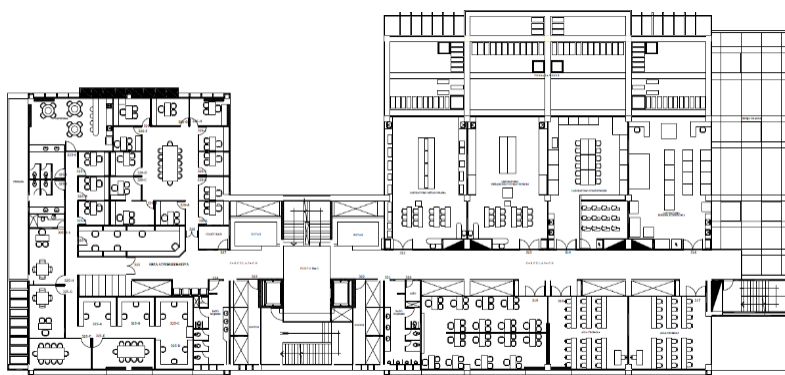
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El programa académico de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander (UIS), fundada en 1948, se constituyó como el primer programa de formación profesional ofrecido por la institución junto con las carreras de ingeniería química y eléctrica³⁷.

Durante 72 años ha realizado importantes aportes en la consolidación de la industria nacional, incorporando los resultados de la investigación científica y tecnológica en las múltiples áreas de su desarrollo específico. Es por eso que la Universidad Industrial de Santander, se posiciona entre las diez mejores del país según estudios realizados de Sapiens Research Group, en su ranking U-Sapiens³⁸.

La Escuela en Ingeniería Mecánica desde el año 2018, cuenta con un nuevo y moderno edificio de laboratorios, desarrollado en un área de 7.185 m², para así formar profesionales de alta calidad en investigación (véase Figura 10.).

Figura 10. Nuevo Edificio Escuela de Ingeniería Mecánica



Fuente. Planta física Universidad Industrial de Santander.

³⁷ Historias UIS, Historia de la Universidad, Universidad Industrial de Santander.

³⁸ Ranking U-Sapiens 2020-1.

Los laboratorios que posee las instalaciones del nuevo edificio son (véase Tabla 1.):

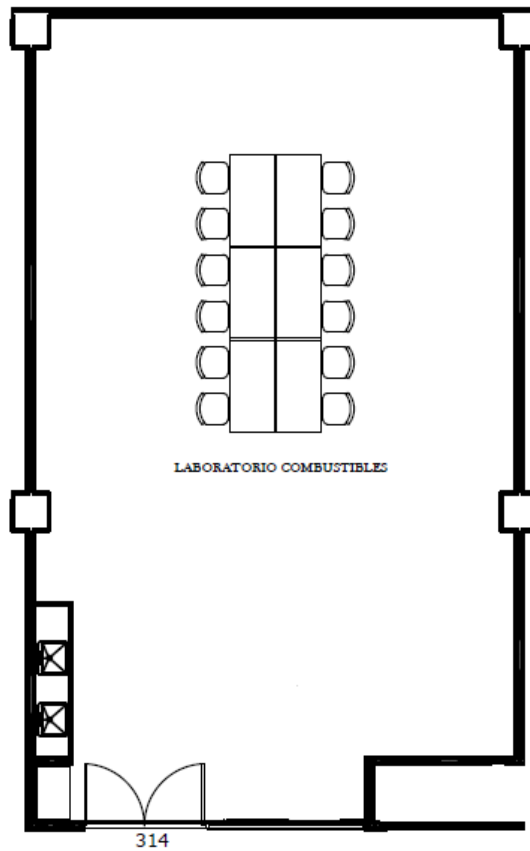
Tabla 1. Laboratorios Escuela de Ingeniería Mecánica

Laboratorio de Mantenimiento y Ensayos No Destructivos	Laboratorio de Diseño
Laboratorio de Sistemas Térmicos Frío-Calor	Laboratorio de Sistemas Mecatrónicos
Laboratorio de Motores e Instrumentación	Laboratorio de Modelamiento de Flujo
Laboratorio de Potencia Fluida	Laboratorio de Automatización
Laboratorio de Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos	Laboratorio de Control y Sistemas Dinámicos
Laboratorio de Ensayos Mecánicos	Laboratorio de Metalografía
Laboratorio de Sistemas Flexibles de Manufactura	Laboratorio de Combustibles
Laboratorio de Mecánica de Máquinas	Laboratorio de Energías Alternativas
Laboratorio de Vibraciones Mecánicas	

3.2 LABORATORIO DE COMBUSTIBLES.

El laboratorio de combustibles (véase Figura 11.) cuenta con personal docente calificado, encargado de proporcionar calidad académica a los estudiantes. En él se desarrollan prácticas de biomásas, análisis de sus derivados, caracterización de combustibles, diseño y construcción de máquinas térmicas, con el objetivo de comprobar validez a los planteamientos teóricos y además brindar un espacio para el desarrollo de la investigación en esta área.

Figura 11. Laboratorio de Combustibles



3.2.1 Procesos de transformación energética. Existen cuatro procesos térmicos de transformación energética de la biomasa, que son: combustión, pirolisis, gasificación y torrefacción (véase Tabla 2.). Estos generan principalmente biocombustibles y biogás, a partir de las cuales se puede obtener calor, electricidad o fuerza motriz.³⁹

³⁹ ESCALANTE, Humberto, *et al.* Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia; Ministerios del Ramo: Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS); Unidad de Planeación Minero Energética (UPME); Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM); Universidad Industrial de Santander, p.123.

Tabla 2. Procesos térmicos de transformación energética de la biomasa

COMBUSTIÓN	PIRÓLISIS
<p>La combustión es una reacción de oxidación de los componentes de la biomasa a alta temperatura y en presencia de una cantidad de oxígeno suficiente para producir la oxidación total de los componentes, de la que se obtiene energía en forma de calor y dióxido de carbono, agua y cenizas como productos de la reacción.</p>	<p>La pirólisis es la descomposición termoquímica de la biomasa en ausencia de oxígeno para producir líquidos, vapores condensables, gases y carbonizados. Durante el proceso, las moléculas grandes y complejas de hidrocarburos de la biomasa se descomponen en moléculas relativamente más pequeñas. Esta, generalmente se presenta en un rango de temperatura relativamente bajo de 300 a 650°C.</p>
GASIFICACIÓN	TORREFACCIÓN
<p>La gasificación es un proceso de conversión termoquímica de sólidos o líquidos a altas temperaturas (por encima de los 700°C) en productos gaseosos combustibles, por la acción de un agente de reacción que generalmente puede ser aire, O₂, H₂ y H₂O.</p>	<p>La torrefacción, es un proceso de pirólisis leve que se lleva a cabo en el rango de temperaturas de los 230 a 300°C en ausencia de oxígeno. Este tratamiento térmico se realiza con el fin de mejorar la densidad energética de la biomasa, reducir la masa, así como la eliminación de H₂O y CO₂ de esta.</p>

FUENTE: BASU. Prabir. Biomass Gasification and Pyrolysis, "Practical Design and Theory". 1 ed. Para los conceptos

4. DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA

Se realiza el despliegue de la función calidad (QFD), con el fin de evaluar las posibles alternativas del sistema de extracción y así, continuar fortaleciendo el proceso de diseño.

4.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD (QFD)

4.1.1 Requerimientos del sistema. A continuación, se presentan las especificaciones para diseñar el sistema.

- ✓ Fácil mantenimiento.
- ✓ Seguridad.
- ✓ Ruido.
- ✓ Economía.
- ✓ Sistema compacto.
- ✓ Estético.

4.1.2 Requerimientos ingenieriles.

- ✓ Capacidad.
- ✓ Tamaño.
- ✓ Eficiencia.
- ✓ Mantenibilidad.
- ✓ Economía.

4.1.3 Criterios de diseño. Se emplea una distribución por subsistemas que permite facilitar el proceso de selección y destacar los parámetros más importantes a diseñar.

- ✓ Subsistema de captación.
- ✓ Subsistema de circulación.
- ✓ Subsistema de filtración.
- ✓ Subsistema de ventilación.
- ✓ Subsistema de potencia.

4.2 MATRIZ DE CALIDAD DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

En la Tabla 3., se muestra la matriz de calidad (QFD), de la selección de los subsistemas más relevantes para el diseño, el cual tiene en cuenta los requerimientos del sistema para su construcción.

Tabla 3. Matriz de calidad del sistema de extracción.

	Prioridad	Subsistema de captación		Subsistema de circulación		Subsistema de extracción		Subsistema de ventilación		Subsistema de potencia	
Fácil mantenimiento	6	9	54	3	18	3	18	9	54	3	18
Sistema de transmisión de potencia	5	1	5	1	5	1	5	9	45	9	45
Seguridad	4	9	36	9	36	9	36	1	4	1	4
Ruido	3	9	27	3	9	0	0	9	27	9	27
Sistema compacto	2	9	18	9	18	3	6	0	0	0	0
Estética	1	9	9	9	9	3	3	1	1	0	0
Total			149		95		68		131		94

4.2.1 Ponderación de resultados

Tabla 4. Resultados de los subsistemas a evaluar

	Puntaje	Subsistema	% Porcentaje
	149	Subsistema de captación	39,733
	131	Subsistema de ventilación	34,933
	95	Subsistema de circulación	25,333
Total	375		

De acuerdo al resultado, los subsistemas más relevantes que intervendrán a la hora de llevar a cabo el diseño son: Sistema de captación, sistema de ventilación y sistema de circulación. Por ende, se realizan matrices de calidad, con el fin de conocer los parámetros más importantes en los subsistemas.

4.3 MATRIZ DE CALIDAD DE LOS SUBSISTEMAS RELEVANTES

4.3.1 Subsistema de captación.

Tabla 5. Matriz de calidad del subsistema de captación.

	Prioridad	Tamaño		Eficiencia		Mantenibilidad		Economía	
Fácil mantenimiento	6	9	54	0	0	9	54	3	18
Sistema de transmisión de potencia	5	1	5	3	15	3	15	3	15
Seguridad	4	9	36	9	36	3	12	3	12
Ruido	3	9	27	3	9	3	9	1	3
Sistema compacto	2	9	18	0	0	1	2	6	12
Estética	1	9	9	0	0	1	1	6	6
Total			149		60		93		66

4.3.1.1 Ponderación de los resultados. En la Tabla 6., se presentan los tres (3) criterios ganadores con su respectivo puntaje y el porcentaje correspondiente de cada uno que se obtiene al dividirlo sobre el puntaje total.

Tabla 6. Ponderación de los resultados en el subsistema de captación.

	Puntaje	Criterio	Porcentaje %
	149	Tamaño	48,377
	93	Mantenibilidad	30,195
	66	Economía	21,429
Total	308		

4.4 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS

En la mayoría de las situaciones el dispositivo de captación se denomina campana, su función principal es evitar que el contaminante se esparza. Este es el elemento más importante de la instalación. Una mala concepción de este dispositivo impide captar correctamente los gases.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la ponderación de la matriz de calidad y los criterios más importantes a tener en cuenta para el diseño, se plantean posibles alternativas para dar solución al subsistema planteado anteriormente.

Tabla 7. Alternativas para el sistema de captación.

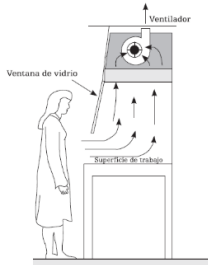
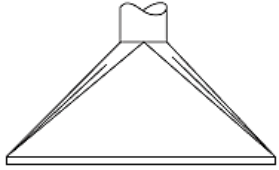
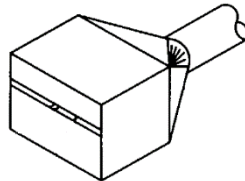
N°	ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
1	CABINA	<p>Las cabinas son campanas que encierran total o parcialmente el proceso o en el punto de generación del contaminante, a su vez ofrecen seguridad, evitan la contaminación en el laboratorio y protegen al personal de inhalaciones en donde se generan los gases nocivos.</p> <p>En el mercado se presenta variedad de equipos, pero su costo es elevado gracias a su fabricación y componentes.</p>	<p>Figura 12. Cabina para laboratorio</p>  <p>Fuente: Ventilación industrial , Carlos Echeverri Londoño , p.37.</p>

Tabla 7. (Continuación)

<p style="text-align: center;">2</p>	<p style="text-align: center;">CAMPANA SIMPLE O SUSPENDIDA</p>	<p>Una campana suspendida se localiza generalmente arriba de la fuente para capturar las emisiones de los gases. Este diseño protege al operario contra la exposición de gases y humos para una amplia gama de procesos de transformación de biomasa que se llevan a cabo en el laboratorio. Se construye a partir de acero inoxidable y cuenta con el cuerpo principal, el revestimiento interior y conducto de escape.</p>	<p>Figura 13. Campana simple</p>  <p>Fuente: Ventilación Industrial, Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales, Capítulo 3.</p>
<p style="text-align: center;">3</p>	<p style="text-align: center;">CAMPANA COMPUESTA</p>	<p>Las campanas compuestas tienen dos o más puntos significativos de pérdida de carga, tienen una sola rendija, un pleno y una zona de transición desde el pleno hasta el conducto. El objetivo principal del pleno es proporcionar una velocidad uniforme a lo largo de la rendija. Usualmente empleadas en recubrimientos superficiales, pintura por inmersión, cubas de desengrase, y campanas de desmolde en las fundiciones.</p>	<p>Figura 14. Campana Compuesta</p>  <p>Fuente: Ventilación Industrial, Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales, Capítulo 3</p>

Fuente: Ventilación Industrial, Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales; Valencia; Capítulo 3-17; Primera edición en español; Editorial Generalitat Valenciana; 1998.

4.4.1 Evaluación de las alternativas. En la Tabla 8., se presentan los criterios ganadores y se realiza una evaluación de las alternativas, siendo cinco (5) la mayor calificación y uno (1) la menor.

Multiplicando los criterios por la evaluación de las alternativas se genera la puntuación de cada una, la que presente mayor puntaje es la ganadora, y se empleará para el proceso de diseño y construcción.

Tabla 8. Evaluación de las alternativas del subsistema de captación

SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN							
Criterio de evaluación		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
Tamaño	48,377	4,00	1,94	5,00	2,42	3,00	1,45
Mantenibilidad	30,195	5,00	1,51	5,00	1,51	5,00	1,51
Economía	21,429	5,00	1,07	5,00	1,07	4,00	0,86
		4,52		5,00		3,82	

4.4.1.1 Subsistema de ventilación

Tabla 9. Matriz de calidad del subsistema de ventilación.

	Prioridad	Tamaño		Eficiencia		Mantenibilidad		Economía	
Fácil mantenimiento	6	6	36	3	18	9	54	3	18
Sistema de transmisión de potencia	5	0	0	3	15	6	30	3	15
Seguridad	4	0	0	9	36	3	12	0	0
Ruido	3	3	9	9	27	6	18	1	3
Sistema compacto	2	9	18	1	2	6	12	1	2
Estética	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Total			64		99		127		39

4.4.1.2 Ponderación de resultados. En la Tabla 10., se presentan los tres (3) criterios ganadores de mayor a menor puntaje y el porcentaje correspondiente de cada uno que se obtiene al dividirlo sobre el puntaje total.

Tabla 10. Ponderación de los resultados en el subsistema de ventilación.

	Puntaje	Criterio	Porcentaje %
	127	Mantenibilidad	43,793
	99	Eficiencia	34,138
	64	Tamaño	22,069
Total	290		

4.5 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS.

Para trasladar el aire a través del sistema de circulación, es de vital importancia aportar energía para lograr vencer las pérdidas de carga del sistema. En la mayoría de las situaciones, la energía proviene de los ventiladores.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la ponderación de la matriz de calidad y los parámetros más importantes para la selección del ventilador, se plantean posibles alternativas para dar solución al subsistema planteado anteriormente.

Tabla 11. Alternativas sistema de ventilación.

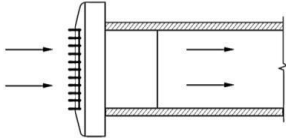
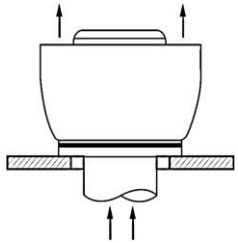
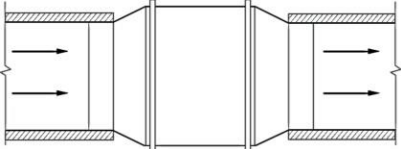
N°	ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
1	IMPULSORES	Ventiladores en los que la boca de aspiración está conectada directamente a un espacio libre, estando la boca de descarga conectada a un conducto.	<p>Figura 15. Ventilador Impulsor</p>  <p>Fuente: Manual práctico de ventilación Soler & Palau, p.39.</p>

Tabla 11. (Continuación)

2	EXTRACTORES	Ventiladores en los que la boca de aspiración está conectada a un conducto y la boca de descarga está conectada a un espacio libre.	<p>Figura 16. Extractor</p>  <p>Fuente: Manual práctico de ventilación Soler & Palau, p.39.</p>
3	IMPULSORES-EXTRACTORES	Ventiladores en los que tanto la boca de aspiración como la de descarga están conectadas a un conducto.	<p>Figura 17. Impulsor- Extractor</p>  <p>Fuente: Manual práctico de ventilación Soler & Palau, p.40.</p>

Fuente: Manual Práctico de ventilación Soler & Palau; Sistemas de ventilación; Soler & Palau Ventilation Group; p.39.

4.5.1 Evaluación de las alternativas. En la Tabla 12., se presentan los criterios ganadores y se realiza una evaluación de las alternativas, siendo cinco (5) la mayor calificación y uno (1) la menor.

Tabla 12. Evaluación de las alternativas del subsistema de ventilación.

SUBSISTEMA DE VENTILACIÓN							
Criterio de evaluación		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
Mantenibilidad	43,793	4,00	1,75	5,00	2,19	5,00	2,19
Eficiencia	34,138	5,00	1,71	4,00	1,37	5,00	1,71
Tamaño	22,069	5,00	1,10	5,00	1,10	5,00	1,10
		4,56		4,66		5,00	

4.5.1.1 Subsistema de circulación

Tabla 13. Matriz de calidad del subsistema de circulación.

	Prioridad	Capacidad		Economía		Tamaño		Mantenibilidad		Bajo consumo	
Fácil mantenimiento	6	3	18	3	18	9	54	9	54	0	0
Sistema de transmisión de potencia	5	1	5	1	5	0	0	0	0	1	5
Seguridad	4	9	36	9	36	3	12	9	36	0	0
Ruido	3	9	27	1	3	3	9	6	18	9	27
Sistema compacto	2	6	12	6	12	9	18	9	18	3	6
Estética	1	9	9	6	6	1	1	0	0	3	3
Total			107		80		94		126		41

4.5.1.2 Ponderación de resultados. En la tabla 14, se presentan los tres (3) criterios ganadores con su respectivo puntaje y el porcentaje correspondiente de cada uno que se obtiene al dividirlo sobre el puntaje total.

Tabla 14. Ponderación de los resultados en el subsistema de circulación.

	Puntaje	Criterio	Porcentaje %
	126	Mantenibilidad	38,532
	107	Capacidad	32,722
	94	Tamaño	28,746
Total	327		

4.6 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS.

Una vez que los contaminantes son capturados por la campana, son conducidos hasta el punto de descarga a través de un sistema de conductos.

Los conductos deben cumplir las siguientes funciones:

- Conseguir el mínimo consumo de energía (disminuyendo las pérdidas por fricción).
- Garantizar la velocidad de transporte apropiada, para que el contaminante no obstruya el conducto.
- Mantener el sistema equilibrado.
- Realizar un diseño acertado, de tal manera que la campana capte el caudal de aire requerido.

Con los resultados obtenidos mediante la ponderación de la matriz de calidad y los criterios más relevantes a tener en cuenta en el diseño, a continuación, se sugieren las posibles alternativas para dar solución al subsistema planteado anteriormente.

Tabla 15. Alternativas sistema de circulación



N°	ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
1	CONDUCTOS RECTANGULARES	Cuando se necesitan ductos rectangulares, estos deben ser los más cuadrados posibles. Ofrecen una mayor resistencia que los ductos redondos. Deben ser usados sólo cuando las tolerancias previenen el uso de tubos redondos.	Figura 18. Conducto Rectangular  Fuente: Manual práctico de ventilación Soler & Palau, p.6.

Tabla 15. (Continuación)

2	CONDUCTOS CIRCULARES	<p>Son los habituales en las instalaciones de extracción de la industria debido a que la distribución de velocidades es más homogénea y soporta mejor los valores elevados de la presión estática.</p> <p>Ofrecen una menor resistencia que los conductos cuadrados.</p>	<p>Figura 19. Conducto Circular</p>  <p>Fuente: Manual práctico de ventilación Soler & Palau, p.6.</p>
----------	-----------------------------	--	---

Fuente: Manual Práctico de ventilación Soler & Palau; Sistemas de ventilación; Soler & Palau Ventilation Group; p.39.

4.6.1 Evaluación de las alternativas

Tabla 16. Evaluación de las alternativas del subsistema de circulación

SUBSISTEMA DE CIRCULACIÓN					
Criterio de evaluación		Alternativa 1		Alternativa 2	
Mantenibilidad	38,532	4,00	1,54	5,00	1,93
Capacidad	32,722	5,00	1,64	5,00	1,64
Tamaño	28,746	5,00	1,44	5,00	1,44
		4,61		5,00	

5. UBICACIÓN FÍSICA DE LA CAMPANA DE EXTRACCIÓN.

La ubicación física de la campana debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- No afectar la labor del estudiante.
- Mínima interferencia para el mantenimiento del sistema.
- Estar ubicada lo más cerca al punto de emisión.
- Se debe tener en consideración que el ducto de descarga va desde el laboratorio hacia el ambiente.

Se realizará el despliegue de la función calidad (QFD), con el fin de evaluar las posibles alternativas de ubicación física de la campana en conjunto con el sistema de extracción.

5.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD

5.1.1 Requerimientos del sistema. A continuación, se presenta las especificaciones del sistema de extracción.

- ✓ Fácil mantenimiento.
- ✓ Extracción de gases.
- ✓ Conexiones monofásicas
- ✓ Seguridad.
- ✓ Estético.

5.1.2 Criterio de ubicación

- ✓ Funcionalidad.
- ✓ Comodidad.
- ✓ Mantenibilidad.
- ✓ Economía.

5.2 MATRIZ DE CALIDAD DE UBICACIÓN

En la Tabla 17., se muestra la matriz de calidad (QFD) para la selección de los criterios de ubicación más relevantes para el diseño, el cual tiene en cuenta los

requerimientos del sistema de extracción.

Tabla 17. Matriz de calidad ubicación física de la campana en el laboratorio.

MATRIZ QFD LOCALIZACIÓN DE LA CAMPANA	Prioridad	Funcionalidad		Comodidad		Mantenibilidad		Economía	
Fácil mantenimiento	5	6	30	0	0	9	45	3	15
Extracción de gases	4	9	36	6	24	9	36	9	36
Conexiones monofásicas	3	9	27	6	18	3	9	6	18
-Seguridad	2	3	6	0	0	9	18	3	6
Estética	1	1	1	6	6	9	9	9	9
Total			70		48		72		69

5.2.1 Ponderación de resultados

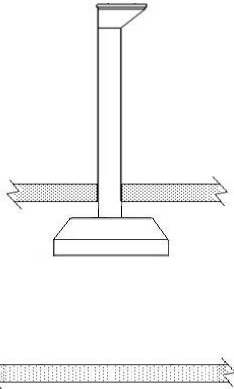
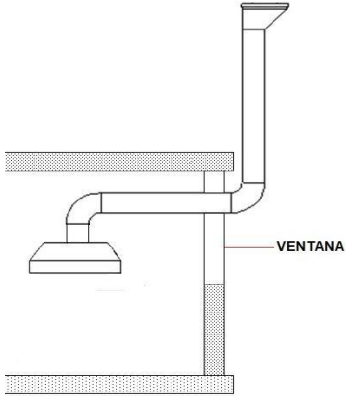
Tabla 18. Resultados de los criterios a evaluar.

	Puntaje	Criterio	Porcentaje %
	72	Mantenibilidad	34,123
	70	Funcionalidad	33,175
	69	Economía	32,701
Total	211		

5.3 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS

El nuevo edificio de Ingeniería Mecánica consta de cuatro pisos y el laboratorio de combustión ocupa un área estimada de 100 m² y se encuentra en el tercer piso con nomenclatura de identificación 314.

Tabla 19. Disposición de la campana en el laboratorio.

N°	ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
1	CAMPANA	<p>Se observa que el sistema de circulación es vertical (Véase Figura 20).</p> <p>Este tipo de instalación no le conviene al laboratorio debido a que se tendrá que perforar la placa que corresponde al cuarto piso del edificio, por ende, aumentaría en vano los costos.</p>	<p>Figura 20. Campana con sistema de circulación.</p>  <p>Fuente: Elaboración de los autores.</p>
2	CAMPANA	<p>Consiste en una salida lateral del ducto a través del laboratorio, conduciendo el último tramo hacia el cuarto piso del edificio.</p> <p>Para evitar la perforación de la placa correspondiente al cuarto piso, se opta por colocar el sistema cerca de la ventana del laboratorio (Véase Figura 21.).</p>	<p>Figura 21. Campana con sistema de circulación.</p>  <p>Fuente: Elaboración de los autores.</p>

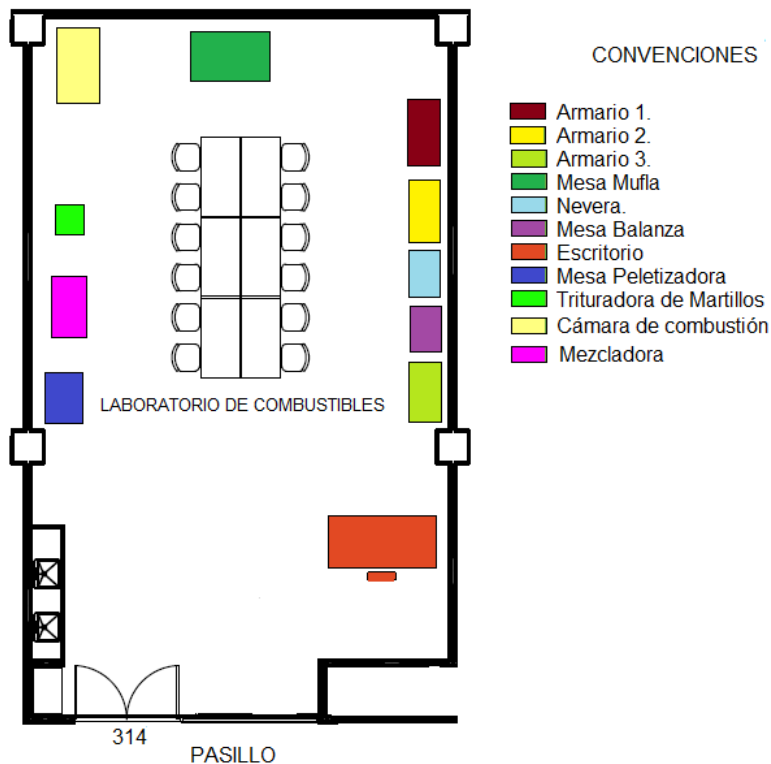
5.3.1 Evaluación de las alternativas. En la Tabla 20., se presentan los criterios ganadores y se realiza una evaluación de las alternativas, siendo cinco (5) la mayor calificación y uno (1) la menor.

Tabla 20. Evaluación de las alternativas para la ubicación de la campana.

UBICACIÓN FÍSICA DE LA CAMPANA					
Criterio de evaluación		Alternativa 1		Alternativa 2	
Mantenibilidad	34,123	3,00	1,02	5,00	1,71
Funcionalidad	33,175	5,00	1,66	5,00	1,66
Economía	32,701	5,00	1,64	4,00	1,31
		4,32		4,67	

Actualmente, el laboratorio cuenta con varios implementos y equipos para el uso común del mismo que se describirán a continuación (Véase Figura 22.):

Figura 22. Disposición de equipos en el laboratorio.



De acuerdo a la Figura 22., se selecciona un lugar óptimo dependiendo a la alternativa ganadora que consiste en colocar el sistema cerca de la ventana del laboratorio para evitar una perforación de gran escala.

5.3.1.1 Alternativa N° 1. La campana de extracción se ubicará en medio de la trituradora de martillos y la cámara de combustión.

Al analizar, se puede inferir que hay un buen espacio para el montaje, pero no beneficia a la cámara ya que tiene un ducto de escape que emite gases al recinto y pueden ser extraídos por la campana sin ningún inconveniente, pero ubicando ambos equipos de manera contraria (véase Figura 23.).

Figura 23. Alternativa 1 disposición del laboratorio.



5.3.1.2 Alternativa N° 2. El sistema de extracción se ubicará al lado izquierdo de la cámara de combustión, permitiendo el escape de los gases emitidos.

Se observa que hay buen espacio para montaje, reduciendo las probabilidades de intoxicación por los gases y enfermedades a futuro.

Esta alternativa con respecto a la anterior, evidencia un mejoramiento en los costos de construcción ya que sería menor la cantidad de ducto que se utilizara para la descarga de los gases a la atmósfera (véase Figura 24.)

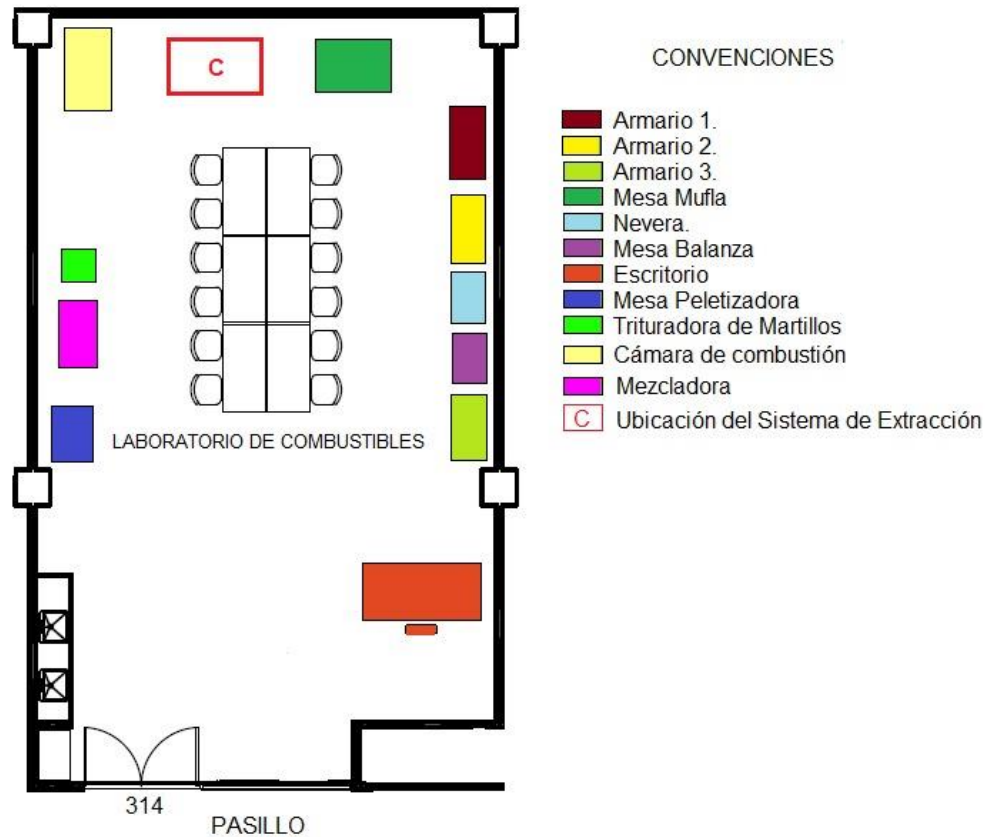
Figura 24. Alternativa 2 disposición del laboratorio



5.3.1.3 Alternativa N° 3. La campana se ubicará al lado izquierdo de la mufla facilitando el transporte de muestras.

La desventaja de esta posición es que al momento de la construcción e instalación se perdería iluminación en el laboratorio, como se muestra en la (véase Figura 25.)

Figura 25. Alternativa N° 3.



5.3.2 Evaluación de las alternativas. En la Tabla 21., se presentan los criterios ganadores y se realiza una evaluación de las alternativas, siendo cinco (5) la mayor calificación y uno (1) la menor.

Tabla 21. Evaluación de las alternativas para la ubicación del sistema de extracción.

UBICACIÓN FÍSICA DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN							
Criterio de evaluación		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
Mantenibilidad	34,123	4,00	1,36	5,00	1,71	4,00	1,36
Funcionalidad	33,175	5,00	1,66	5,00	1,66	5,00	1,66
Economía	32,701	4,00	1,31	4,00	1,31	4,50	1,47
		4,33		4,67		4,50	

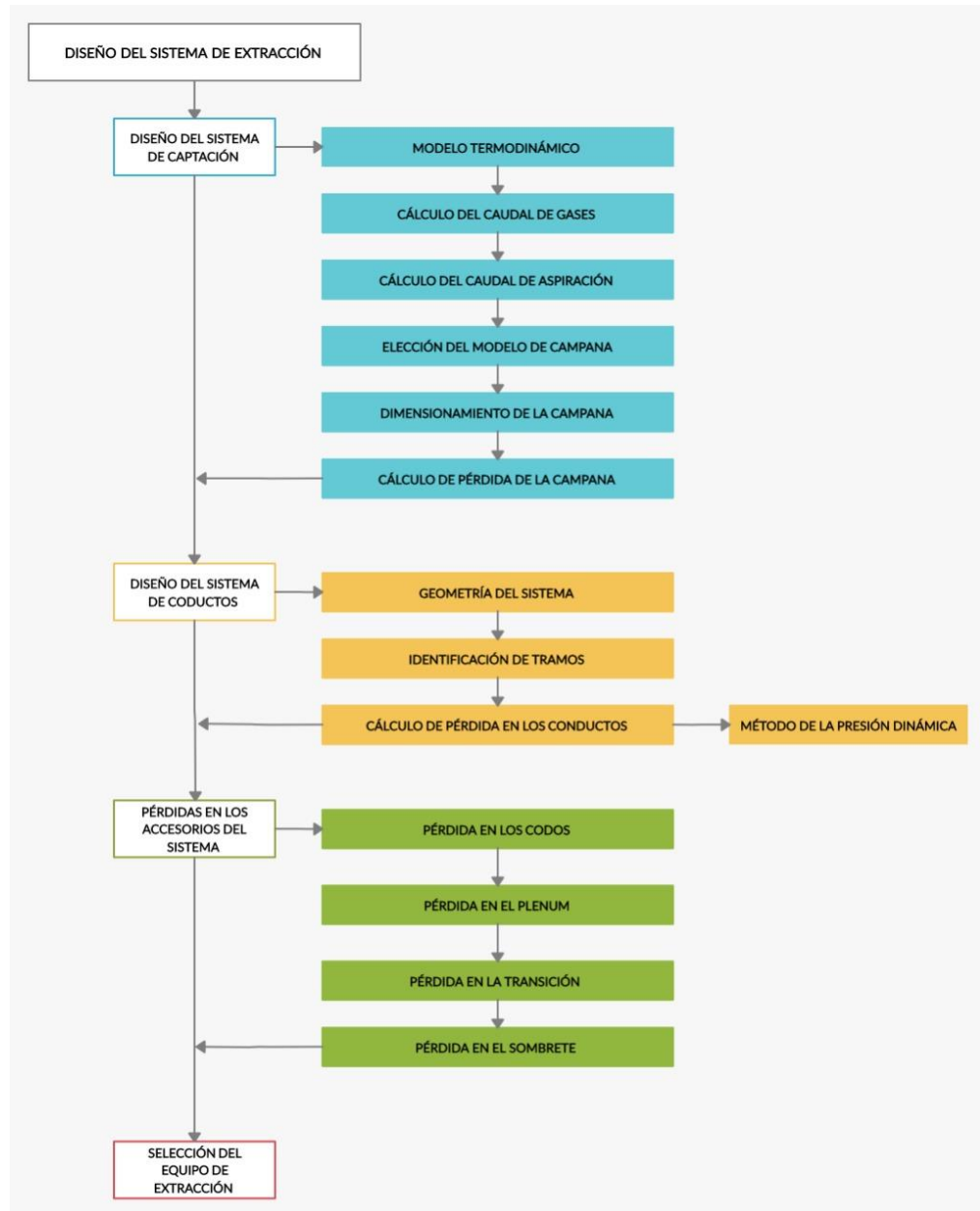
5.4 ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

El diseño del sistema de extracción es el conjunto de condiciones evaluadas en cada una de las matrices analizadas anteriormente que satisfacen los requerimientos del sistema. En el siguiente capítulo se realizará el procedimiento para diseñar y seleccionar cada una de las opciones evaluadas.

6. DISEÑO EN DETALLE DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

En el proceso de diseño en detalle se contemplan las siguientes etapas (véase Figura 26.);

Figura 26. Proceso de diseño del sistema de extracción.



6.1 MODELO TERMODINÁMICO

El modelo de equilibrio termodinámico predice el rendimiento máximo que puede alcanzar un producto deseado de una reacción. Este modelo proporciona la composición del gas producto de la combustión con el fin de obtener el flujo volumétrico.

Para el desarrollo del modelo estequiométrico (véase Anexo A.), se especifica lo siguiente:

- No se considera la producción de cenizas.
- Todos los gases se consideran ideales.
- El proceso se lleva a cabo a una atm de presión.
- El gas producto de la combustión completa solo está compuesto por H₂O, CO₂ y N₂.
- Todo el oxígeno reacciona en el proceso de combustión.

6.1.1 Flujo volumétrico de los gases de combustión. La determinación del flujo de gases se realizará mediante una estimación estequiométrica.

Proceso termoquímico: Combustión completa para 500 g y 100 g de Biomasa.

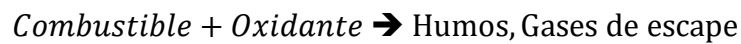
La combustión completa supone que cada molécula de combustible se pone en contacto con la cantidad correcta de oxígeno. Los productos de ésta reacción química son; agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno (N₂).⁴⁰

⁴⁰ MARADEY, Juan. Termodinámica Aplicada. Universidad Industrial de Santander, 2002. p.44,

Durante este proceso, los componentes que existen antes de la reacción reciben el nombre de reactivos, y los componentes que existen después de la reacción se denominan productos. Se escribe en forma compacta de la siguiente forma:



Cuando se trata de una reacción de combustión, se transforma en:



6.1.2 Estequiometria de la combustión. El aire estequiométrico es la cantidad mínima de aire necesario para que ocurra la combustión completa, y esta se determina por medio de un equilibrio para el carbono, hidrogeno, oxígeno y el nitrógeno del modelo termodinámico. La humedad en el aire y el agua que se forma puede tratarse como un gas inerte.

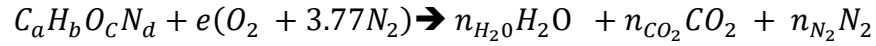
Para los cálculos relacionados, se considera que el aire es una mezcla binaria, la cual consiste del componente activo O_2 , 20,948% en volumen, y del componente inerte N_2 , el cual constituye el 79,052% restante.

Por consiguiente, cada mol de oxígeno que entra a una cámara de combustión será acompañado por $\frac{79,05}{20,95} = 3,77$ moles de mol de nitrógeno. Es decir, $1 \text{ Kmol } O_2 + 3,77 \text{ Kmol } N_2 = 4,77 \text{ Kmol aire}$.⁴¹

Para la solución, se plantea un modelo de equilibrio estequiométrico utilizando como agente de reacción aire como se representa en la Ecuación 1.

⁴¹ *Ibíd.*, p.313.

Ecuación 1. Modelo de equilibrio estequiométrico



Se plantea un balance atómico para el carbono, hidrógeno, oxígeno y el nitrógeno, el cual proporciona 4 ecuaciones necesarias para poder obtener el equilibrio de masa. (Ecuaciones 2., 3., 4. y 5. respectivamente);

Ecuación 2. Ecuación para obtener equilibrio de masa

$$a = n_{CO_2}$$

Ecuación 3. Ecuación para obtener equilibrio de masa

$$b = (2 * n_{H_2O})$$

Ecuación 4. Ecuación para obtener equilibrio de masa

$$c + (2 * e) = n_{H_2O} + 2 * n_{CO_2}$$

Ecuación 5. Ecuación para obtener equilibrio de masa

$$d + (7,54 * e) = 2 * n_{N_2}$$

Donde $C_a H_b O_c N_d$, e , n_{H_2O} , n_{CO_2} y n_{N_2} es la fórmula química de la biomasa, cantidad de aire, cantidad de aire molar, cantidad de agua y moles de componentes del gas producto (H_2O , CO_2 y N_2), respectivamente.

Para el planteamiento de la fórmula química es necesario conocer la composición elemental de la biomasa, en este caso, se utiliza el análisis último. Por lo tanto, es recomendable basarse en otros estudios de análisis últimos realizados en el laboratorio de combustión, con base a diferentes biomasa que se usan como combustibles. Para ello, se tomaron como referencia las que se mencionan a continuación:

Tabla 22. Análisis último en base seca para el cisco de café

	Análisis último (base seca)			
BIOMASA	%C	%N	%O	%H
Cisco de café	45,4	6,03	47,91	0,67

Fuente. ABAUNZA, Álvaro; GARCÍA, Kevin. “Modelamiento matemático de un gasificador de cisco de café de lecho fijo Downdraft”; Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánica; Universidad Industrial de Santander; p.54; 2019

Tabla 23. Análisis último del estudio de las masas residuales para la industria arrocera

	Análisis último (base seca)			
BIOMASA	%C	%N	%O	%H
Cascarilla	34,62	0,87	37,61	4,58
Paja	40,79	1,29	34,58	5,3
No se considera la producción de cenizas				

Fuente. SERRANO, Raúl; MARADEI, Paola; RUEDA; Yesid. “Improving Thermal Performance of Rice Husk Through Blends with Rice Straw: Physical- Chemical Characterization and Reaction Kinetics in Inert and Oxidate Atmospheres”; Universidad Industrial de Santander; 2019.

Tabla 24. Análisis último de cacao.

BIOMASA	%C	%N	%O	%H
Cacota a la intemperie	46,62	1,14	47,05	5,19
Cacota dentro del laboratorio	46,6	1,23	46,97	5,2

Fuente. CASTRO, Juan; VARGAS, Brayan; Evaluación del Potencial Energético del Residuo Sólido de la Pos-cosecha del Cacao; Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánica; Universidad Industrial de Santander; p.64; 2019

Tabla 25. Análisis último borra de café.

BIOMASA	Análisis último borra de café			
	%C	%N	%O	%H
Borra de café	44,77	-	42,78	5,71

Fuente. MÉNDEZ, Andrés; RAMÍREZ, Angie; “Estudio de la combustión de la borra de café como alternativa de aprovechamiento de este residuo”; Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánica; Universidad Industrial de Santander; 2020.

Con base a los resultados del análisis elemental de las biomásas anteriormente mencionados, se procede a determinar la composición de la mezcla de gases mediante la especificación de la masa de cada elemento, denominado análisis gravimétrico, o mediante el número de moles de cada componente, método que recibe el nombre de análisis molar.

La masa de la mezcla m_m es la suma de las masas de cada elemento compuesta de k componentes (véase Ecuación 6.):

Ecuación 6. Sumatoria de masas de cada elemento

$$m_m = \sum_{i=1}^k m_i$$

El número de moles de la mezcla N_m es la suma del número de moles de los componentes individuales (véase Ecuación 7.):

Ecuación 7. Sumatoria de moles de los componentes individuales

$$N_m = \sum_{i=1}^k N_i$$

La relación entre el porcentaje del análisis último de cada elemento y la suma total del análisis último de la mezcla se conoce como fracción de masa o másica f_m , como se expresa a continuación (véase Ecuación 8.):

Ecuación 8. Fracción de masa

$$f_{mi} = \frac{m_i\%}{m_m}$$

Donde:

$$m_m = C\% + H\% + O\% + N\%$$

Entonces, para cada elemento:

Ecuación 9. Fracción de masa para Carbono

$$f_{mC} = \frac{C\%}{m_m}$$

Ecuación 10. Fracción de masa para el Hidrógeno

$$f_{mH} = \frac{H\%}{m_m}$$

Ecuación 11. Fracción de masa para el Oxígeno

$$f_{mO} = \frac{O\%}{m_m}$$

Ecuación 12. Fracción de masa para el Nitrógeno

$$f_{mN} = \frac{N\%}{m_m}$$

Si se divide la Ecuación 6. entre m_m , como resultado la suma de las fracciones de masa es igual a 1.

Ecuación 13. Suma de fracciones de masa

$$\sum_{i=1}^k f_{m_i} = 1$$

Si se divide la Ecuación 7. entre N_m y se concluye que la suma de las fracciones de moles es igual a 1.

Ecuación 14. Suma de fracciones molares.

$$\sum_{i=1}^k y_i = 1$$

La masa de una sustancia en (g), puede expresarse en términos del número de moles N y la masa molar M en ($\frac{g}{Mol}$) como:

Ecuación 15. Masa de una sustancia

$$m = N * M$$

Por lo tanto, el número de moles de cada elemento es:

Ecuación 16. Numero de moles para el Carbono

$$N_C = \frac{m_{biomasa} * fmC}{M_C}$$

Ecuación 17. Número de moles para el Hidrógeno

$$N_H = \frac{m_{biomasa} * fmH}{M_H}$$

Ecuación 18. Número de moles para el Oxígeno

$$N_O = \frac{m_{biomasa} * fmO}{M_O}$$

Ecuación 19. Numero de moles para el Nitrógeno

$$N_N = \frac{m_{biomasa} * fmN}{M_N}$$

El comportamiento $P - v - T$ de un gas se expresa mediante la Ecuación 20., y recibe el nombre de ecuación de estado de gas ideal.

Ecuación 20. Ecuación de estado de un gas ideal.

$$P * v = (n) * R * T$$

Se reemplaza el número de moles

$$P * v = \left(\frac{m}{M}\right) * R * T$$

$$P * M = \frac{m}{v} * R * T$$

$$\frac{P * M}{R * T} = \frac{m}{v}$$

Donde la densidad es:

Ecuación 21. Densidad

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Se concluye que la densidad de los gases de combustión se determina de la siguiente manera (véase Ecuación 22.):

Ecuación 22. Densidad de los gases de combustión

$$\rho = \frac{P * M}{R * T_{gs}}$$

Donde:

$P =$ Presión atmosférica [Pa]

$M =$ Masa molar de la mezcla [$\frac{g}{Mol}$]

$R =$ Constante universal de los gases [$8,31448 \frac{J}{Mol * ^\circ K}$]

$T_{gs} =$ Temperatura de los gases de combustión [$^\circ K$]

Finalmente, con los valores de la densidad de los gases se obtiene el flujo volumétrico de los gases de combustión (véase Ecuación 23.):

Ecuación 23. Flujo volumétrico de los gases de combustión

$$\dot{v} = \frac{M}{\rho * \Delta t}$$

Donde:

$$v = \text{Flujo volumétrico} \left[\frac{m^3}{min} \right]$$

$$M = \text{Masa de los productos} [Kg]$$

$$\rho = \text{Densidad ideal} \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\Delta t = \text{Tiempo de combustión} [min]^{42}$$

Mediante la ejecución de una tabla paramétrica en el software EES(véase Tabla 26.), al variar el Δ_t se puede observar que el flujo máximo de los gases se obtiene en los primeros minutos de la combustión.

Tabla 26. Variación de tiempo en los primeros minutos de la combustión.

1.10	Dt [Min]	Fluj [m3/Min]	Flujom _{bio} [kg/Min]
Run 1	10	0,4968	0,05
Run 2	20	0,2484	0,025
Run 3	30	0,1656	0,01667
Run 4	40	0,1242	0,0125
Run 5	50	0,09935	0,01
Run 6	60	0,08279	0,008333
Run 7	70	0,07096	0,007143
Run 8	80	0,06209	0,00625
Run 9	90	0,05519	0,005556
Run 10	100	0,04968	0,005

⁴² CENGEL, Yunus; BOLES, Michael; Termodinámica. Séptima Edición: Editorial Mc Graw Hill, 2012. p.700

En resumen, con los valores obtenidos del análisis estequiométrico se obtiene el flujo volumétrico máximo de los gases de combustión (véase Tabla 27. y Tabla 28. y Anexo A.).

Tabla 27. Flujo volumétrico de los gases de combustión para 500 g de Biomasa.

BIOMASA	FLUJO VOLUMÉTRICO m³/min
Cisco de café	0,4968
Cascarilla	0,3748
Paja	0,4655
Cacota a la intemperie	0,4816
Cacota dentro del laboratorio	0,482
Borra de café	0,4928

Tabla 28. Flujo volumétrico de los gases de combustión para 100 g de Biomasa.

BIOMASA	FLUJO VOLUMÉTRICO m³/min
Cisco de café	0,09917
Cascarilla	0,07497
Paja	0,0931
Cacota a la intemperie	0,09631
Cacota dentro del laboratorio	0,0964
Borra de café	0,09855

El cisco de café fue la biomasa que obtuvo el mayor flujo volumétrico en el análisis estequiométrico. Con base en estos resultados, se infiere que este tipo de biomasa es la más crítica para realización de experimentos y pruebas en el laboratorio de combustión. A continuación, en el proceso de cálculos del sistema de extracción se utilizará para hallar el caudal de aspiración y así enriquecer el proceso de diseño.

6.2 CÁLCULOS DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN.

Los cálculos pertinentes al sistema de extracción de gases del laboratorio y los cálculos del prototipo del sistema de extracción se explicarán paso a paso a continuación. Serán resueltos por medio del software EES y estarán adjuntos en el Anexo B. y Anexo C.

6.2.1 Cálculo del caudal de aspiración y caudal de ambiente de trabajo. Los gases nocivos provenientes de los diferentes procesos de conversión de biomasa necesitan ser expulsados del recinto, para esto se procede a calcular el caudal de aspiración conociendo el caudal de la fuente de gases, el área de captación y la velocidad de captación (véase Ecuación 24. y Ecuación 25.):

Ecuación 24. Caudal de Aspiración.

$$Q_{\text{aspiración}} = Q_{\text{fuente}} + Q_{\text{ambiente}}$$

Ecuación 25. Caudal del ambiente de trabajo.

$$Q_{\text{ambiente}} = V_{\text{captación}} * A_{\text{campana}}$$

Donde:

$$Q_{\text{aspiración}} = \text{Caudal de aspiración} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$Q_{\text{fuente}} = \text{Caudal de la fuente} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

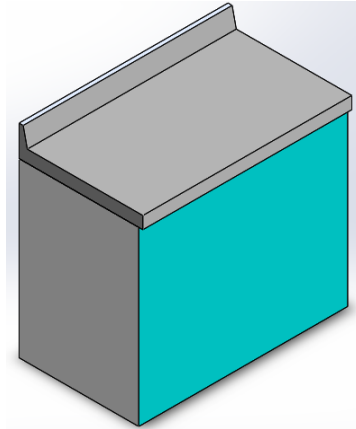
$$Q_{\text{ambiente}} = \text{Caudal del ambiente} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$V_{\text{captación}} = \text{Velocidad de captación de la campana} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

$$A_{\text{campana}} = \text{Área de la sección transversal de la campana} [m]$$

6.2.2 Área de captación. Para el área de captación se toma como patrón de medida la sección transversal de la mesa de trabajo (véase Figura 27.), donde se ubica el horno tipo mufla. Con este implemento se desarrollan diferentes pruebas y análisis de biomasa.

Figura 27. Mesa de trabajo

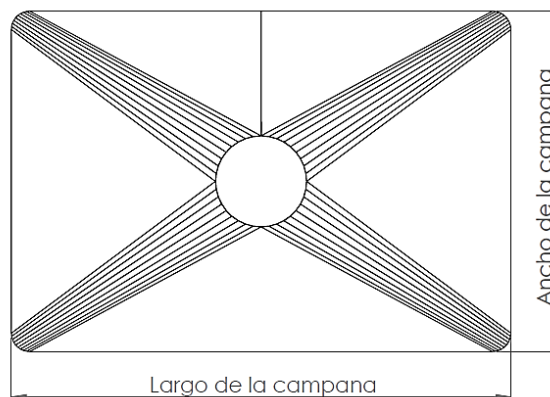


La mesa de trabajo posee las siguientes medidas:

$$\begin{aligned} \text{Largo} &= 1,013m \\ \text{Ancho} &= 0,6m \end{aligned}$$

Con base a las medias anteriormente descritas, el modelo de la campana tendrá las siguientes dimensiones (véase Figura 28.):

Figura 28. Medidas de la campana de extracción



$$L = 1.1[m]$$
$$W = 0.75[m]$$

Donde:

L = Largo de la campana [m]

W = Ancho de la campana [m]

Por consiguiente, el área de la sección transversal de la campana se halla mediante la siguiente ecuación (véase Ecuación 26.):

Ecuación 26. Área de la sección transversal de la campana

$$A_{campana} = L * W$$

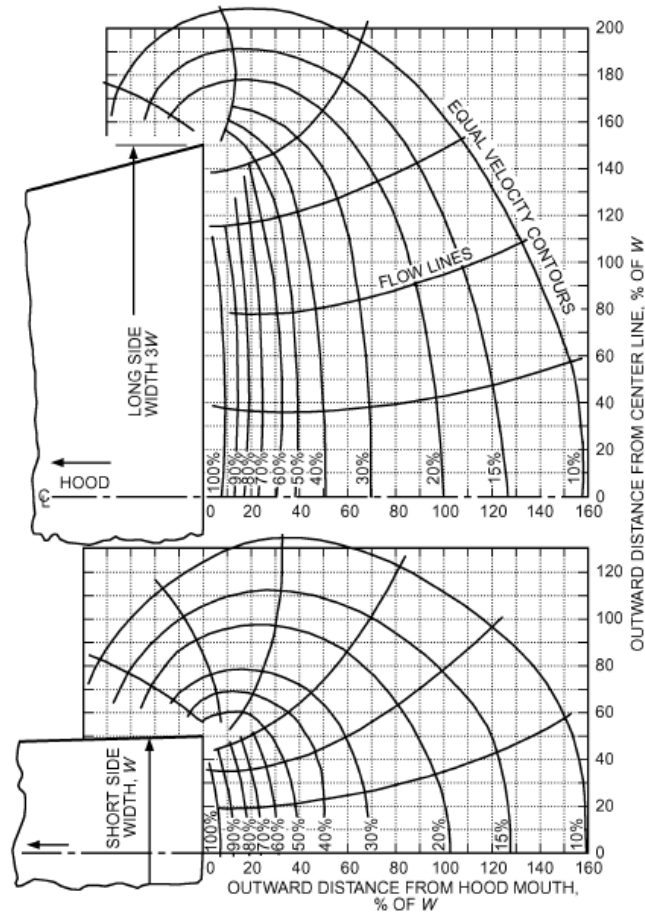
La forma de la campana determina parcialmente el caudal de aire necesario para captar los contaminantes y está directamente relacionada por la naturaleza de la fuente a ser controlada. Factores como la temperatura y la composición de los contaminantes son determinantes a la hora del diseño.

6.2.3 Efecto de pestañas. Las pestañas son superficies situadas en la boca de la campana que sobresalen hacia el exterior. Impiden que el flujo de corrientes de aire procedentes de diferentes direcciones ingrese a través de la geometría de la campana. Por tal razón, se diseña en la boca de succión una pestaña de 50 [mm].

En la Figura 29., se representa el comportamiento del flujo de una sección rectangular.⁴³ Las líneas de velocidad poseen una trayectoria elíptica hacia las zonas más alejadas de la abertura de succión.

⁴³ ASHRAE Handbook- HVAC Applications (SI); 2011

Figura 29. Contornos de velocidad para una campana rectangular



Fuente. ASHRAE Handbook- HVAC Applications (SI); 2015.

6.2.4 Velocidad de captación. La velocidad de captación es la velocidad mínima del aire, inducida cerca de la campana, es fundamental para capturar y dirigir hacia ella los gases de combustión. Ésta es función del caudal de aire succionado y de la geometría de la misma.

La campana funciona de manera correcta cuando recoge los gases con la mínima succión de aire sin inferir en los procesos que son llevados a cabo en el laboratorio.

En la Tabla 29., se presentan el rango de velocidades de captura para diferentes aplicaciones, dependiendo de la manera en la que se dispersa el contaminante.

Tabla 29. Rango de velocidades de captura.

Condiciones de dispersión del contaminante	Ejemplos	Velocidad de captación [m/s]
Liberado casi sin velocidad en aire tranquilo.	Evaporación en tanques, desengrase.	0,3-0,5
Liberado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo.	Cabinas de pintura, llenado intermitente de tanques , soldadura , baños electrolíticos, decapado.	0,5-1,0
Generación activa en una zona de rápido movimiento de aire.	Aplicación de pintura con pistola, llenado de recipientes, trituración.	1,0-2,5
Liberado con alta velocidad en una zona de movimiento muy rápido del aire.	Pulido, operaciones de abrasión en general, esmerilado, desmolde en fundiciones.	2,5-10

Fuente. ASHRAE Handbook- HVAC Applications (SI): 2011.

Dado que no es posible escoger la velocidad real de captación mediante un valor promedio del rango o de manera iterativa, se realizaron pruebas en una campana de extracción en el laboratorio de procesos de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander (véase Figura 30.), lo anterior con el fin de obtener un valor lógico y acorde a las exigencias del sistema

Figura 30. Campana de extracción, Laboratorio de procesos Ingeniería Química



La prueba realizada mediante un anemómetro digital (véase Figura 31.), consiste en colocar el instrumento a una distancia de 5 cm del borde la campana con el fin de tomar datos de la velocidad de captación a la entrada de ésta. (véase Figura 32.).

Figura 31. Anemómetro digital Extech

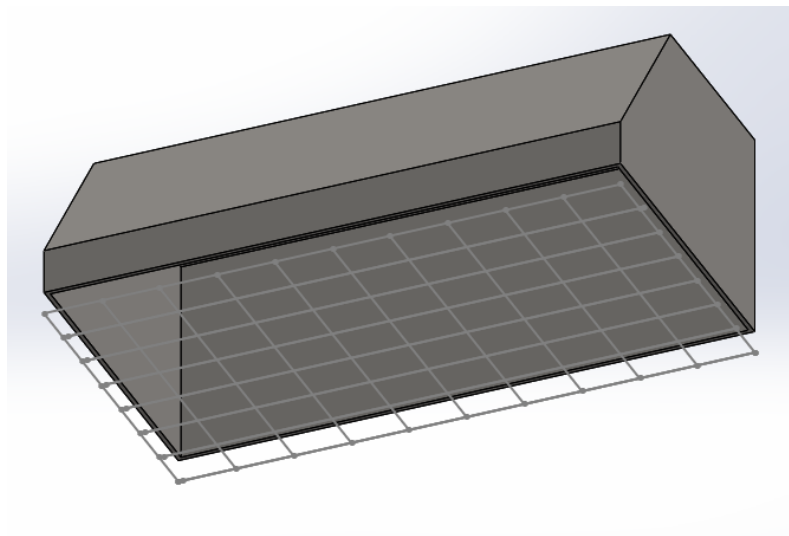


Figura 32. Distancia de toma de datos.



Se procede a dividir la sección transversal de la campana en secciones de igual área para la toma de datos. El largo de la campana se divide en 10 secciones y el ancho en 7 secciones (véase Figura 33.)

Figura 33. División de sección transversal de la campana



Los resultados de las velocidades se muestran a continuación (véase Tabla 30.)

0.29 m/s	0.31 m/s	0.38 m/s	0.36 m/s	0.36 m/s	0.31 m/s	0.31 m/s	0.36 m/s	0.34 m/s	0.29 m/s
0.31 m/s	0.34 m/s	0.36 m/s	0.36 m/s	0.34 m/s	0.34 m/s	0.34 m/s	0.36 m/s	0.34 m/s	0.29 m/s
0.29 m/s	0.36 m/s	0.34 m/s	0.34 m/s	0.36 m/s	0.34 m/s	0.36 m/s	0.38 m/s	0.29 m/s	0.29 m/s
0.29 m/s	0.38 m/s	0.36 m/s	0.34 m/s	0.43 m/s	0.45 m/s	0.52 m/s	0.41 m/s	0.29 m/s	0.29 m/s
0.31 m/s	0.31 m/s	0.42 m/s	0.36 m/s	0.45 m/s	0.41 m/s	0.41 m/s	0.43 m/s	0.29 m/s	0.31 m/s
0.31 m/s	0.29 m/s	0.43 m/s	0.34 m/s	0.36 m/s	0.38 m/s	0.38 m/s	0.36 m/s	0.31 m/s	0.31 m/s
0.29 m/s	0.31 m/s	0.29 m/s	0.29 m/s	0.34 m/s	0.31 m/s	0.29 m/s	0.29 m/s	0.31 m/s	0.29 m/s

Tabla 30. Velocidades en la boca de succión de la campana

Calculando la velocidad promedio de la toma de datos se obtiene (Véase Anexo D.):

Ecuación 27. Cálculo de velocidad promedio

$$V_{promedio} = \frac{\sum V_i}{N_i}$$

Donde:

V_i = Velocidad en cada sección

N_i = Número total de secciones

$$V_{captación\ promedio} = 0.34 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Conociendo el valor de la velocidad de captación se procede a hallar el caudal de aspiración, con las formulas mencionadas anteriormente.

6.2.5 Dimensionamiento de los conductos. El segundo componente de un sistema de ventilación es el conducto a través del cual se va a transportar los gases de combustión producidos en el laboratorio. Para este diseño se prefieren los conductos redondos ya que ofrecen una velocidad más uniforme. De igual manera soportan presiones estáticas más altas y su manufactura es más sencilla.

La velocidad mínima de transporte es la requerida para transportar partículas sin asentarse. En la Tabla 31., se enumeran algunos valores aceptados de velocidades de transporte en función de la naturaleza de los contaminantes.⁴⁴

Tabla 31. Velocidad mínima de transporte para algunos contaminantes

Contaminante	Ejemplo	$V_t \left[\frac{m}{s} \right]$
Vapores, gases, humos de combustión	Todos los vapores, gases y humos	5-10
Humos de soldadura	Soldadura	10-13
Partículas muy finas y ligeras	Partículas de algodón , aserrín , talco	13-15
Partículas finas y secas	Partículas de caucho , baquelita , algodón, virutas(ligeras), detergente, cuero.	15-20
Partículas industriales	Partículas de café, cuero, sílice, ladrillo, arcilla, fundiciones, caliza.	18-20
Partículas pesadas	Partículas de viruta metálica , moldes de fundición, madera	20-23
Partículas pesadas y húmedas	Partículas de cemento	>23

Fuente. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH ®), Industrial Ventilation; A Manual of Recommended Practice, 27 ed; 2010.

⁴⁴ ASHRAE Handbook- HVAC Applications (SI): p.424: 32.6: 2011.

Para gases y vapores se adopta velocidad mínima de $10 \left[\frac{m}{s} \right]$ ⁴⁵. (Véase Anexo E.)

Conocido el caudal de aspiración y la velocidad de transporte se procede a hallar el diámetro del conducto a partir del área de sección transversal

$$Q_{aspiración} = V_{transporte} * A_{ducto}$$

El área circular del ducto está dada por la siguiente ecuación:

Ecuación 28. Área del ducto

$$A_{ducto} = \frac{\pi d^2}{4}$$

Donde:

A_{ducto} = Área del ducto [m^2]

d = Diámetro del ducto [m]

Por lo tanto, reemplazando el área en la Ecuación 24. se obtiene:

$$Q_{aspiración} = V_{transporte} * \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)$$

Despejando el diámetro del ducto se obtiene (véase Ecuación 29.):

Ecuación 29. Diámetro del conducto

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q_{aspiración}}{V_{transporte} * \pi}}$$

Reemplazando los valores anteriormente hallados:

⁴⁵ Manual práctico de ventilación: Soler & Palau, 2012. p.25:

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,2558 [m^3/s]}{10 [m/s] * \pi}}$$

$$d = 0,18[m]$$

Para optimización del diseño del conducto se procede a aumentar el diámetro ya que, a mayor tamaño del conducto, menor será la velocidad del paso del aire influyendo directamente en el aumento del ruido y las pérdidas de carga del sistema de extracción. Por ende, se opta por aumentar el diámetro de 0,18 [m] a 0,2 [m].

A partir de la Ecuación 30., se recalcula la velocidad de transporte en el conducto

Ecuación 30. Velocidad real de transporte en el conducto

$$V_{real\ ducto} = \frac{4 * Q_{aspiración}}{\pi * d^2}$$

$$V_{real\ ducto} = \frac{4 * 0,2558 [m^3/s]}{\pi * (0.2 [m])^2}$$

$$V_{real\ ducto} = 8,14 [m/s]$$

6.2.6 Cálculo de la altura del plenum. El plenum es la longitud de campana desde la boca de aspiración hasta la unión de entrada del conducto y su función es proporcionar una velocidad del aire uniforme en toda la boca de aspiración.⁴⁶ Partiendo de la Ecuación 31., se calcula la altura del plenum adoptando un ángulo de inclinación de 45° (véase Figura 34.).

⁴⁶ JIMENEZ, Álvaro. Análisis y evaluación de riesgo de una empresa de vulcanizados. Diseño de un sistema de extracción localizado, Tesis de pregrado en Ingeniería Química: Universidad de Cádiz: 2013.

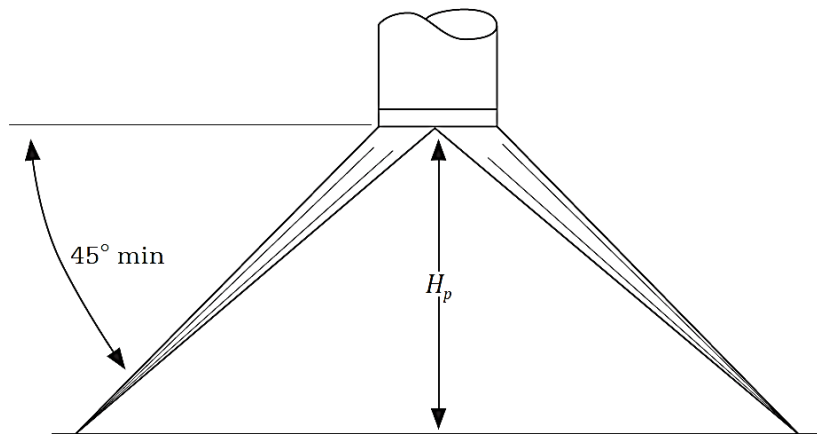
Ecuación 31. Altura del plenum

$$H_p = \frac{L - d}{2}$$

$$H_p = \frac{1,1[m] - 0,2[m]}{2}$$

$$H_p = 0,45[m]$$

Figura 34. Altura del plenum



Fuente. ECHEVERRY, Carlos; Ventilación Industrial; Universidad de Medellín; 2001.

6.2.7 Pérdidas de carga en el sistema. La pérdida de carga es una medida de la energía mecánica disipada mediante la fricción de fluido interna, es usualmente indeseable porque representa la energía mecánica perdida.⁴⁷

Las pérdidas de carga en el sistema de extracción son las siguientes:

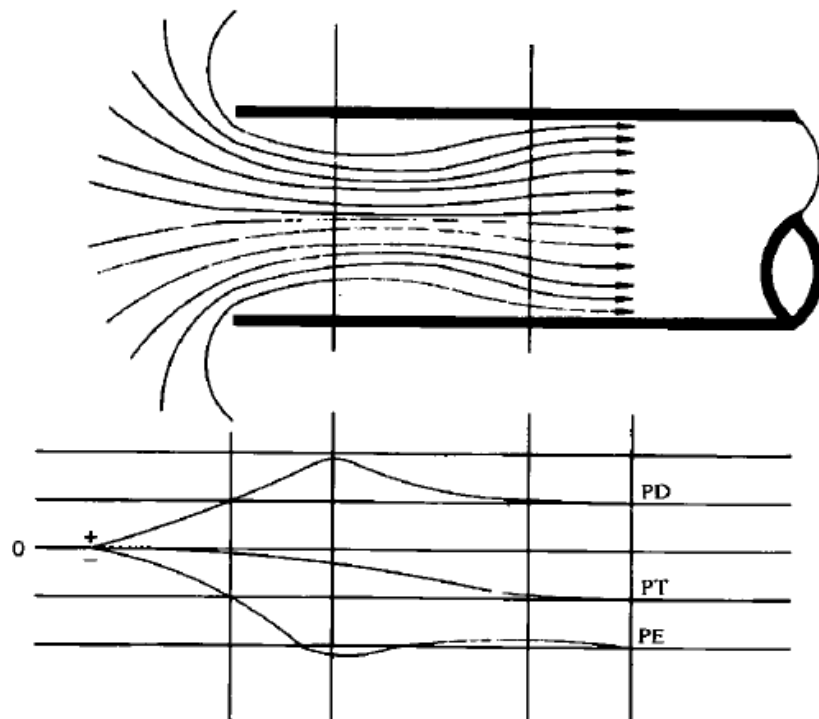
- Pérdidas de carga en la campana
- Pérdidas de carga en los ductos

⁴⁷ CENGEL, Yunus; CIMBALA, John. Mecánica de fluidos, Fundamentos y Aplicaciones; Séptima Edición: Editorial Mc Graw Hill, 2012. p.733.

- Pérdidas de carga en los accesorios
- Pérdidas de carga en el filtro

6.2.7.1 Pérdidas de carga en la campana. Las pérdidas en la campana se deben a la expansión que sufre la “vena contracta” el punto en el cual las líneas de flujo se hacen paralelas (ver Figura 35.). Después de la vena contracta, la velocidad del aire disminuye a medida que el aire se expande en el ducto. Esta expansión del aire causa una pérdida de presión. A medida que el aire entra en el ducto se convierte la presión dinámica (PD) en presión estática (PE).

Figura 35. Distribución del fluido en la vena contracta



Fuente. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH ®), Industrial Ventilation; A Manual of Recommended Practice, 20 ed; 1998.

Las pérdidas de entrada de la campana (H_{ec}), se puede expresar en términos del factor de pérdida de la campana F y la presión dinámica del conducto PD_c (véase Ecuación 32.):

Ecuación 32. Pérdidas de entrada en la campana

$$Hec = F * PD_c$$

Donde:

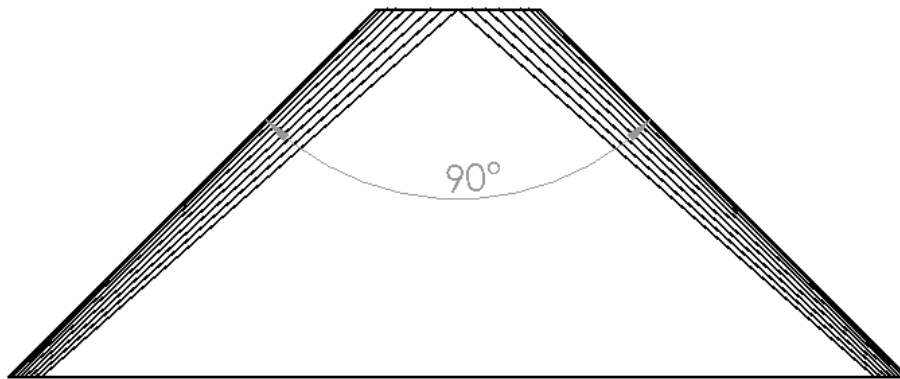
Hec = Pérdidas de entrada en la campana [$mmcda$]

F = Factor de pérdida en la campana

PD_c = Presión dinámica en el conducto [$mmcda$]

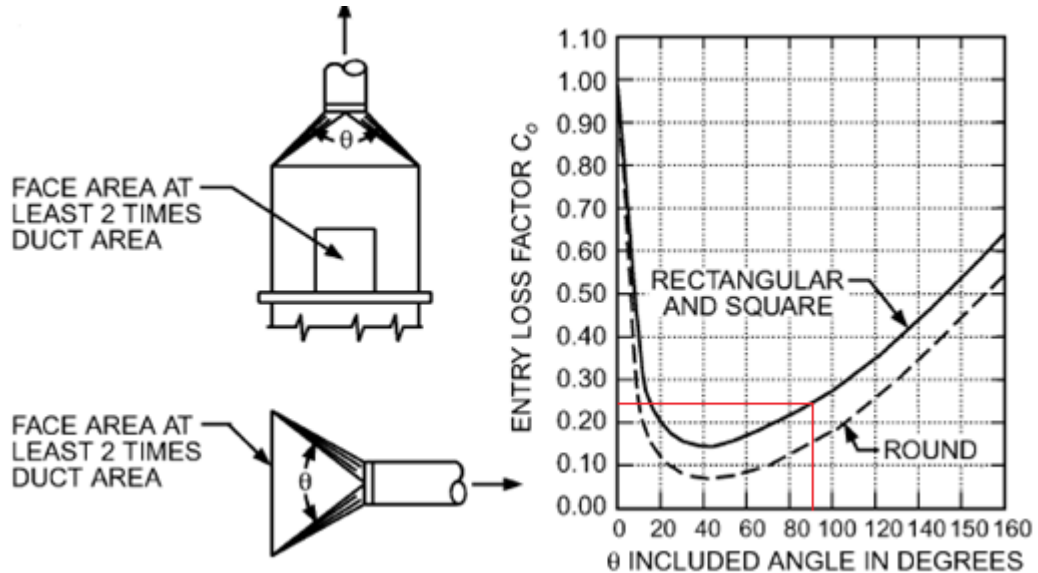
Según la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)⁴⁸, los valores de F se pueden hallar utilizando el ángulo interior de la campana correspondiente a 90° . Cuanto mayor sea este ángulo, menor es la entrada a la campana y mayor la pérdida de carga que aporta al sistema (véase Figura 36.). Para este caso Co es igual a F (véase Figura 37.).

Figura 36. Ángulo de entrada de la campana



⁴⁸ ASHRAE Handbook- HVAC Applications (SI), 32.6: 2011.

Figura 37. Perdidas a la entrada de la campana y coeficiente de entrada



Fuente. ASHRAE Handbook- HVAC Applications (SI); 2011.

Para $\theta = 90^\circ$ y tomando como referencia la curva de boca rectangular y cuadrada se llega a la conclusión que el factor de pérdida de la entrada de la campana (F) es de 0,25.

6.2.7.2 Presión estática en la campana. La presión necesaria para acelerar el aire en reposo hasta la velocidad de captura sugerida es denominada como la presión estática, a su vez ésta compensa las pérdidas a la entrada de la campana. Se expresa de la siguiente manera (véase Ecuación 33.):

Ecuación 33. Presión estática en la campana

$$PE_c = H_{ec} + PD_c$$

En la cual:

PE_c = Presión Estática en la campana [mmcda].

H_{ec} = Perdidas de entrada en la campana [mmcda].

PD_c = Presión dinámica en el conducto [*mmcda*].

6.2.8 Diseño del subsistema de circulación. Una vez que los gases de combustión son capturados por la campana, se transportan mediante el subsistema de circulación, que incluye: conductos rectos, accesorios tales como; codos, conductos de transición los cuales deben cumplir las siguientes funciones:

- Verificar que la campana capte el caudal requerido.
- Asegurar la velocidad de transporte correcta para que los gases no se depositen y tapen el conducto.
- Mantener el sistema en equilibrio.

6.2.8.1 Pérdida de carga en conductos. Existen dos componentes de la pérdida global de presión total en un tramo de conductos: la pérdida de carga en los tramos rectos y la pérdida de carga en los puntos especiales (codos, uniones, etc.)

• **Pérdida de carga en tramos rectos.** La pérdida de carga en los tramos rectos es una función compleja de la velocidad de aire, del diámetro del ducto, de la densidad y viscosidad del aire, y de la rugosidad superficial del conducto. Estos se combinan en el número de Reynolds (Re), que se define a continuación (véase Ecuación 34.), con el fin de conocer el comportamiento del flujo a lo largo del conducto.⁴⁹

Ecuación 34. Numero de Reynolds

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu}$$

En la cual:

⁴⁹ American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH ®), Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice, 20 ed; 1998.

ρ = Densidad de la corriente de aire $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

D = Diámetro del conducto $[m]$

V = Velocidad de la corriente de aire a través del conducto $\left[\frac{m}{s}\right]$

μ = Viscosidad de la corriente de aire $\left[\frac{Kg}{m*s}\right]$

Por tal razón, se analizan los siguientes parámetros de diseño con base a las condiciones del entorno y así poder hallar la densidad del aire.

A continuación, se realiza la descripción de las condiciones atmosféricas estándar (véase Tabla 32.).

Tabla 32. Condiciones atmosféricas estándar

CONDICIONES ATMOSFERICAS ESTÁNDAR	
DENSIDAD	1,2 Kg/m ³
TEMPERATURA	20°C
ALTITUD	0 msnm
PRESION ATMOSFÉRICA	101,325 KPa

Cuando se tienen diferentes condiciones como en el caso de la ciudad de Bucaramanga es necesario hallar parámetros como la densidad que varían dependiendo de la presión atmosférica, la temperatura y su posición geográfica.

A continuación, se exponen las condiciones atmosféricas conocidas de la ciudad de Bucaramanga (Véase Tabla 33.).

Tabla 33. Condiciones atmosféricas de Bucaramanga.

CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE BUCARAMANGA	
TEMPERATURA	27°C
ALTITUD	959 <i>msnm</i>
PRESION ATMOSFÉRICA	690 <i>mmHg</i> \approx 91,99 <i>KPa</i>

El dato exacto de la presión atmosférica se puede apreciar a continuación (véase Figura 38.)

Figura 38. Barómetro Change



De acuerdo a la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), la densidad para condiciones diferentes a la estándar se puede hallar mediante la Ecuación 35.:

Ecuación 35. Densidad para condiciones diferentes a las estándar

$$\rho_{\text{aire Bucaramanga}} = (\rho_{\text{aire estándar}}) * \left(\frac{P_{\text{aire Bucaramanga}}}{P_{\text{aire estándar}}} \right) * \left(\frac{T_{\text{aire estándar}}}{T_{\text{aire Bucaramanga}}} \right)$$

Donde:

$\rho_{\text{aire Bucaramanga}}$ = Densidad del aire de Bucaramanga.

$\rho_{\text{aire estándar}}$ = Densidad a condiciones estándar.

$P_{\text{aire Bucaramanga}}$ = Presión atmosférica de Bucaramanga.

$P_{\text{aire estándar}}$ = Presión a condiciones estándar.

$T_{\text{aire estándar}}$ = Temperatura a condiciones estándar.

$T_{\text{aire Bucaramanga}}$ = Temperatura ambiente en Bucaramanga.

Aplicando los valores anteriormente conocidos se obtiene:

$$\rho_{\text{aire Bucaramanga}} = 1,2 \text{ Kg/m}^3 * \left(\frac{91,99 \text{ KPa}}{101,325 \text{ KPa}} \right) * \left(\frac{20 + 273[\text{°K}]}{27 + 273[\text{°K}]} \right)$$

$$\rho_{\text{aire Bucaramanga}} = 1,064 \text{ Kg/m}^3$$

Para el cálculo del Reynolds se necesita conocer el valor de la viscosidad dinámica (ver Anexo F.), se sabe por definición que ésta no depende de la presión, pero sí de la temperatura. Para una temperatura de 27°C se halla mediante la siguiente iteración:

Tabla 34. Tabla de viscosidad dinámica

Temperatura [°C]	Viscosidad [$N * s/m^2$]
20	$1,81 \times 10^{-5}$
27	X
30	$1,86 \times 10^{-5}$

Fuente. POTTER, Merle; WIGGERT, David; Mecánica de fluidos; Tercera edición; Editorial Thomson; 2002.

$$X = 1,845 \times 10^{-5} [N * s/m^2]$$

Una vez hallado del valor de la densidad del aire de Bucaramanga y la viscosidad dinámica se resuelve la Ecuación 34. para el cálculo del Reynolds así:

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu}$$
$$Re = \frac{1,064 \text{ Kg/m}^3 * 8,14 [m/s] * 0,2[m]}{1,845 \times 10^{-5} [N * s/m^2]}$$

$$Re = 93885$$

Para valores de Reynolds menores a 2100 ($Re < 2100$) el flujo en conductos es laminar. El flujo es turbulento para valores mayores a 4000 ($Re > 4000$) y valores entre 2100 y 4000 ($2100 < Re < 4000$) se encuentra una región de transición en la que el tipo de flujo puede ser laminar o turbulento.⁵⁰

6.2.8.2 Diseño del sistema de conductos. Para realizar el diseño se debe identificar el esquema general del subsistema de circulación, identificando los conductos principales y los secundarios. Se diseñan 5 tramos diferentes en el subsistema de circulación, incluyendo en estos la campana, los conductos, codos, uniones

- Tramo nº 1: conducto salida de la campana
- Tramo nº 2: conducto entrada al subsistema de filtración.
- Tramo nº 3: conducto salida del subsistema de filtración y entrada al ventilador
- Tramo nº 4: conducto de descarga I

⁵⁰ ECHEVERRY. Op. cit., p.81.

- Tramo nº 5: conducto de descarga II

El diseño se desarrolla en dos etapas:

- Cálculo de pérdida de carga en los conductos.
- Cálculo de pérdidas en los accesorios (codos, uniones, conducto de transición y sobrete).

Para determinar estas pérdidas la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) emplea los métodos de presión dinámica y longitud equivalente, así mismo la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) recomienda el uso de las ecuaciones de Darcy y Colebrook para determinar la pérdida de presión del fluido en el interior de un ducto.

- **Método de la presión dinámica.** Todas las pérdidas de carga son directamente proporcionales a la presión dinámica. Este método es más corto beneficiando el proceso de diseño y rediseño de las dimensiones de los conductos.

Ecuación 36. Cálculo de la presión dinámica

$$PDC = \rho_{Bucaramanga} * \left(\frac{V_{real_{ducto}}}{4,43} \right)^2$$

Donde:

PDC = Presión dinámica [$mmcda$]

$\rho_{Bucaramanga}$ = Densidad de Bucaramanga [Kg/m^3]

$V_{real_{ducto}}$ = Velocidad real del ducto [m/s]

4,43 = Factor de conversión.

- **Cálculo de pérdidas en los conductos.** El procedimiento recomendado por el ASHRAE para determinar la caída de presión de los ductos y accesorios en el

diseño de conductos, emplea la ecuación de Darcy y el coeficiente de Colebrook que se expresan a continuación:

La ecuación de Darcy para conductos se define así (véase Ecuación 37.):

Ecuación 37. Ecuación de Darcy

$$h = (f_{cir}) * \left(\frac{L_{tramo}}{D \text{ conducto}} \right) * PD$$

Donde:

h = Pérdida de carga en el conducto [mmcda]

f_{cir} = Coeficiente de rozamiento

L_{tramo} = Longitud del conducto [m]

$D \text{ conducto}$ = Diámetro del conducto [m]

PD = Presión dinámica [mmcda]

El coeficiente de rugosidad necesario mediante la ecuación de Darcy para conductos se obtiene de la ecuación de Colebrook (véase Ecuación 38.)

Ecuación 38. Ecuación de Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{Log} \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D \text{ conducto}} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Donde:

f = Coeficiente de rozamiento

ε = Rugosidad absoluta del material del ducto [m]

$D \text{ conducto}$ = Diámetro del conducto [m]

Re = Número de Reynolds

Para el diseño de los conductos se emplea acero galvanizado calibre 16 (véase Anexo G.), siendo un material rígido que presenta porcentaje de elongación.

• **Rugosidad absoluta.** Se define como la altura media para un material determinado, y el diámetro del conducto. Algunos materiales típicos de rugosidad absoluta se muestran a continuación (véase Tabla 35.):

Tabla 35. Rugosidad Absoluta

MATERIAL	RUGOSIDAD ABSOLUTA (ε) [mm]
Acero al carbono	0,08
Acero comercial y acero inoxidable	0,015
Acero galvanizado	0,15
Aluminio	0,015
Cobre	0,0015
Concreto	1,2
Conducto flexible con recubrimiento	0,03
Conducto flexible sin recubrimiento	0,03
Fibra de vidrio	0,03
Fibrocemento	0,025
Galvanizada en espiral	0,03
Latón	0,0015
Plástico (PE, PVC, ABS)	0,0015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01
Vidrio	0,0015

Fuente: ECHEVERRI, Carlos; Ventilación Industrial; 1ª edición; Universidad de Medellín; p.100; 2011.

Por consiguiente, la rugosidad para el acero galvanizado es:

$$\varepsilon = 0,00015 [m]$$

6.2.9 Cálculo de pérdidas en los accesorios. Los accesorios de un conducto también producen pérdidas de presión total. En el método de presión dinámica las pérdidas de los accesorios se expresan mediante el coeficiente de pérdida (n) multiplicado por la presión dinámica en el conducto.⁵¹ (véase Ecuación 39.):

Ecuación 39. Perdidas en accesorios

⁵¹ Industrial Ventilation; A Manual of Recommended Practice; American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH); 27 Edition; p.1-19; 2010.

$$h = n * PDc$$

Donde:

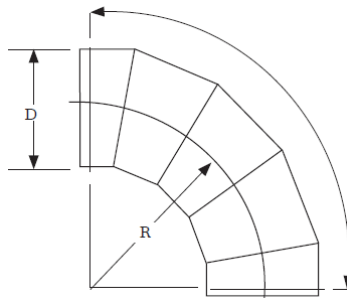
h = Pérdida de en el accesorio [mmcda]

n = Factor de pérdidas de carga.

PDc = La presión dinámica en el conducto [mmcda]

6.2.9.1 Pérdida de carga en codos. Los accesorios a utilizar en el sistema de extracción son los codos 90° (véase Figura 39.). Estos sirven para cambiar la dirección de la corriente de aire, normalmente en 30°, 45°, 60°, o 90°, aunque igual pueden diseñarse para otros ángulos.

Figura 39. Codo 90°



Fuente. ECHEVERRI, Carlos; Ventilación Industrial; 1ª edición; Universidad de Medellín; p.89; 2011.

El codo de 90° es el accesorio más utilizado en el sistema para el control de la contaminación del aire, este se diseña por medio de cuatro segmentos para facilitar el proceso de fabricación. Los valores de los coeficientes de pérdida de carga para codos varían según el diámetro y radio de curvatura (R). El radio de curvatura es 1,5 veces el diámetro del codo. (véase en Anexo H.)

A mayor radio de curvatura, menor es la pérdida. Por tal razón, el cambio de dirección de la corriente de aire es gradual.⁵²

⁵² ECHEVERRY. Op. Cit., p.124.

Ecuación 40. Relación radio de curvatura y diámetro de entrada

$$\frac{R}{D}$$

Donde:

R= Radio de curvatura

D=Diámetro de entrada

• **Pérdida de carga en conductos no circulares.** Los conductos de sección circular son los más utilizados en las instalaciones de extracción localizada en la industria ya que soportan valores elevados de presión estática. No obstante, existen situaciones donde diseñador debe utilizar otros tipos de sección en los conductos.

6.2.9.2 Transformaciones (reducciones o expansiones). De acuerdo con las normas planteadas por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) se emplean transformaciones para unir dos conductos de diferente sección transversal. Es importante afirmar que, para una misma pérdida de carga el área del conducto rectangular o cuadrado es mayor que la del conducto circular equivalente, por consiguiente, la velocidad de transporte será menor y hay que conservarla.⁵³

Según la recomendación de la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), el rozamiento en los conductos de sección rectangular se calcula con la ecuación de Huebscher (véase Ecuación 41.) (1948), quien desarrolló la relación entre conductos rectangulares y redondos que se utiliza para determinar la equivalencia de tamaño en conductos manteniendo los mismos valores de pérdida de carga y caudal.⁵⁴

⁵³ ACGIH. Op. Cit., p.1-19.

⁵⁴ ASHRAE. Op. Cit., p.21.8.

Ecuación 41. Ecuación de Huebscher

$$Deq = \frac{1,30(a + b)^{0,625}}{(a + b)^{0,250}}$$

Donde:

Deq = Diámetro equivalente circular del conducto rectangular. [mm]

a = Longitud de un lado del conducto [mm]

b = Longitud del lado adyacente del conducto [mm]

Con el diámetro equivalente se procede a determinar la siguiente relación de área (véase Ecuación 42.) para así dar solución al factor de pérdidas n (véase Anexo I.).

Ecuación 42. Relación de áreas circular y cuadrada del conducto

$$\frac{A_0}{A_1}$$

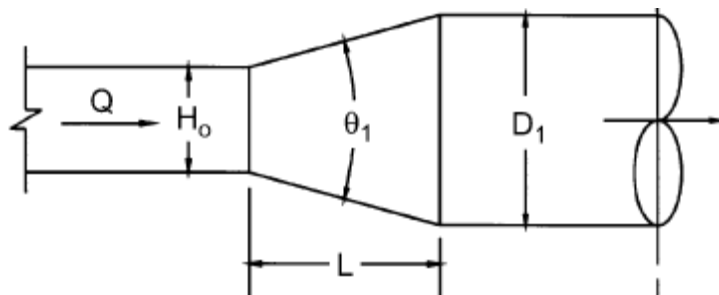
Donde:

A_0 = Área sección transversal rectangular del conducto

A_1 = Área sección transversal circular del conducto

Como se muestra en la siguiente Figura 40.

Figura 40. Sistemas de transición, rectangulares a circulares



Fuente. ASHRAE Handbook- HVAC Applications (SI); p.34.59; 2017.

6.2.9.3 Sombreros. El sombrero o sombrero chino (véase Figura 41.) es un accesorio que se adapta al final del sistema de extracción, permitiendo evacuar los

gases de combustión a la atmósfera. Previene la entrada de agua y aire al interior del sistema, y sobre todo los daños producidos por las filtraciones de las precipitaciones atmosférica.

Figura 41. Sombrete



Fuente. Catálogo SPIRO ® system; p.154.

- **Selección de sombrete.** Para la correcta selección de este accesorio se utiliza el catálogo SPIRO ® system, hallando la pérdida de carga con valores de diámetro [mm] y caudal de aire en [m^3/h] (véase Anexo J).

6.2.9.4 Sistema de control de emisiones. De acuerdo con los numerales 2, 10,11,14 y 25 del artículo 5 de la ley 99 de 1993, es función del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establecer las normas ambientales y las regulaciones aplicables a las actividades que generen de manera directa o indirecta

daños ambientales, así como controlar y reducir la contaminación atmosférica en el territorio nacional, de igual manera establecer los límites de emisión de gases que afecten el medio ambiente⁵⁵.

- **Filtración.** El subsistema de filtración permite retener el material particulado que pueda generarse en cualquiera de los procesos de transformación de biomasa que se realicen en el laboratorio.

Los filtros de aire están disponibles en una gran variedad de diseños y capacidades con la finalidad de tratar gases nocivos para evitar la contaminación atmosférica y los daños en la salud de los individuos.

De acuerdo con Guía de bolsillo de la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)⁵⁶ para aire acondicionado, calefacción ventilación y refrigeración, y siguiendo las pautas a la norma 52.1 y norma 52.2 de filtración de aire, contiene el procedimiento para comparar la eficiencia de remoción del filtro por tamaño de partícula y pautas de aplicación.

- **Selección de filtro.** De acuerdo a la NTC 5183⁵⁷, para la remoción de materia particulado se deberán colocar filtros de aire con un valor de eficiencia mínima reportado (MERV) no inferior a 6, cuando están calibrados de acuerdo a la norma ASHREA 52.2-1999, en la dirección de flujo hacia arriba de todas las bobinas de

⁵⁵ Ley 99 de 1993, Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. República de Colombia.

⁵⁶ Guía de Bolsillo de ASHRAE para Aire Acondicionado, Calefacción, Ventilación Refrigeración: Edición I-P y SI): Estados Unidos de América: 2013: p.47.

⁵⁷ NTC 5183, Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores.

enfriamiento y otros dispositivos con superficies húmedas a través del cual fluya el aire hacia a un sitio o que se pueda ocupar.

Valor de eficiencia mínima a informar (MERV) por sus siglas en inglés, es una clasificación de la norma ASHRAE 52.2⁵⁸ donde se asigna un número a un filtro para determinar el desempeño mínimo respecto a la eliminación de partículas del caudal de aire. Cuanto más alta sea la clasificación, más partículas captará el filtro.

Para tomar la decisión acertada sobre el tipo de filtro a utilizar en el sistema de extracción se verifica la información que éste ofrece, ya que la selección se basa en la eficiencia, capacidad de acumulación de contaminante y pérdida de carga (véase Anexo K.).

De acuerdo a la gama de contaminantes controlados y con el propósito de retener las partículas producidas en los procesos de transformación de biomasa, se selecciona un Filtro MERV 11, como el más indicado para el sistema (véase Anexo L.).

Una vez seleccionada la clasificación MERV, el proveedor más adecuado es American Air Filter (AAF), ya que cumple con los parámetros anteriormente mencionados. Se especifican las pérdidas de carga en la entrada y salida del filtro con el valor del caudal total de succión en (*FPM*). (véase Anexo M.).

⁵⁸ ASHRAE. Op. Cit., p.47.

6.2.10 Resultados cálculos del diseño en detalle del sistema de extracción. A partir de la siguiente tabla (véase Tabla 36.), se muestran los resultados obtenidos del diseño en detalle, para luego con las pérdidas generadas por el sistema seleccionar el correspondiente ventilador que moverá los gases nocivos a la atmósfera.

Tabla 36. Resultados obtenidos del diseño en detalle

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL Y VELOCIDAD		
Caudal de succión	$Q_{aspiración}$	0,2558 [m^3/s]
Caudal del ambiente	$Q_{ambiente}$	0,2475 [m^3/s]
Caudal de la fuente	Q_{fuente}	0,00828 [m^3/s]
Velocidad de captación promedio	$V_{captación\ promedio}$	0,3 [m/s]
CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE EL SISTEMA		
Densidad estándar	$\rho_{aire\ estándar}$	1,2 Kg/m^3
Temperatura estándar	$T_{aire\ estándar}$	20°C \approx 293[°K]
Presión atmosférica estándar	$P_{aire\ estándar}$	101,325 [KPa]
Temperatura de Bucaramanga	$T_{aire\ Bucaramanga}$	27°C \approx 300 [°K]
Altitud de Bucaramanga	$Alt_{Bucaramanga}$	959[msnm]
Presión atmosférica de Bucaramanga	$P_{aire\ Bucaramanga}$	690 mmHg \approx 91,99 KPa
Viscosidad dinámica	μ	$1,845 \times 10^{-5}$ [$N * s/m^2$]

Tabla 36. (Continuación).

SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN		
Largo campana	L	1,1 [m]
Ancho campana	W	0,75 [m]
Área campana	$A_{campana}$	0,825 [m ²]
Altura del plenum	H_p	0,45 [m]
Diámetro conducto (<i>Tramo 1 y 2</i>)	$D_{conducto}$	0,2 [m]
Área conducto (<i>Tramo 1 y 2</i>)	$A_{conducto}$	0,03142 [m ²]
Velocidad de transporte conducto (<i>Tramo 1 y 2</i>)	$V_{transporte}$	8,142 [m/s]
Factor de pérdida en la campana	F_c	0,25
Factor de aceleración campana	F_a	1
Pérdida entrada en la campana	H_{ec}	4,488 [mmcda]
SUBSISTEMA DE CIRCULACIÓN		
Longitud <i>Tramo 1</i>	L_{tramo1}	0,08[m]
Longitud <i>Tramo 2</i>	L_{tramo2}	0,84[m]
Longitud <i>Tramo 3</i>	L_{tramo3}	0,5[m]
Longitud <i>Tramo 4</i>	L_{tramo4}	0,4[m]
Longitud <i>Tramo 5</i>	L_{tramo5}	2,5[m]
Presión dinámica en el conducto (<i>Tramo 1 y 2</i>)	PD_c	3,59 [mmcda]
Reynolds (<i>Tramo 1 y 2</i>)	Re	30956
Diámetro conducto (<i>Tramo 3</i>)	$D_{conducto3}$	0,18 [m]
Área conducto (<i>Tramo 3</i>)	$A_{conducto3}$	0,02545 [m ²]
Velocidad (<i>Tramo 3</i>)	$V_{conducto3}$	10,05 [m/s]
Presión dinámica en el conducto (<i>Tramo 3</i>)	$PD_{conducto3}$	5,472[mmcda]

Tabla 36. (Continuación).

Reynolds sección de descarga (Tramo 3)	$Re_{conducto3}$	104229
Diámetro equivalente (Tramo 4 y 5)	$Deq = D_{descarga}$	0,142[m]
Área de descarga (Tramo 4 y 5)	$A_{descarga}$	0,01584 [m ²]
Velocidad de descarga (Tramo 4 y 5)	$V_{ducto\ descarga}$	16,15[m/s]
Presión dinámica en el conducto (Tramo 4 y 5)	$PD_{descarga}$	14,13[mmcda]
Reynolds sección de descarga (Tramo 4 y 5)	$Re_{descarga}$	132121
ACCESORIOS		
Rugosidad absoluta	ε	0,00015 m
Factor de pérdida de carga (Codo 90° con $D_{conducto}$)	n_1	0,27
Factor de pérdida de carga (Codos 90° con $D_{descarga}$)	n_2	0,2378
Factor de pérdida (Ducto de transición)	$n_{transición}$	0,08675
Factor de fricción (Diámetro 0.2 m)	$f_{0.2}$	0,021444
Factor de fricción (Diámetro 0.18 m)	$f_{0.18}$	0,02150
Factor de fricción (Diámetro 0.142 m)	$f_{0.142}$	0,02184
PÉRDIDAS		
Pérdida en la campana	PE_c	4,488 [mmcda]
Pérdida Codo de 90° $D = 0,075$	h_{codoD}	0,9693 [mmcda]
Pérdida 2 Codos de 90° $Deq = 0,142$	$h_{codoDeq}$	3,36 * 2 [mmcda]
Pérdida de carga (Ducto de transición)	$h_{transición}$	1,226 [mmcda]

Tabla 36. (Continuación).

Pérdida (<i>Conducto tramo 1</i>)	h_{tramo1}	0,03084 [mmcda]
Pérdida (<i>Conducto tramo 2</i>)	h_{tramo2}	0,3233 [mmcda]
Pérdida (<i>Conducto tramo 3</i>)	h_{tramo3}	0,3268 [mmcda]
Pérdida (<i>Conducto tramo 4</i>)	h_{tramo4}	0,8692 [mmcda]
Pérdida (<i>Conducto tramo 5</i>)	h_{tramo5}	5,432 [mmcda]
Pérdida entrada <i>filtro Varicel</i>	$h_{\text{entFiltro}}$	7,874 [mmcda]
Pérdida salida <i>filtro Varicel</i>	$h_{\text{salFiltro}}$	38,1 [mmcda]
Pérdida <i>sombrete</i>	h_{sombrete}	28,55 [mmcda]
PÉRDIDAS TOTALES		94,91 [mmcda]

6.2.11 Selección del ventilador. Una vez calculadas todas las pérdidas del sistema se procede a seleccionar el ventilador correcto para expulsar los gases de combustión del recinto de manera adecuada.

Antes de seleccionar el ventilador se sabe que las pérdidas de carga del sistema son halladas bajo condiciones atmosféricas de Bucaramanga. Normalmente cualquier catálogo de selección maneja condiciones estándar, esto conlleva a convertir las pérdidas de carga de Bucaramanga a condiciones estándar, ya que estas, están dadas para cierta temperatura, presión y altitud diferentes a las que se maneja en la ciudad donde se instala el sistema de extracción.

Mediante el uso de la ley de los ventiladores es posible determinar, con buena precisión, las nuevas prestaciones a partir de curvas características dadas a condiciones estándar.⁵⁹

6.2.11.1 Variación de la densidad

Ecuación 43. Pérdida de carga a condiciones de Bucaramanga

$$\text{Presión: } P_F = P_{Fo} * \left(\frac{\rho}{\rho_o} \right)$$

Donde:

P_F = Pérdida de carga a condiciones de Bucaramanga

P_{Fo} = Pérdida de carga a condiciones estándar

ρ = Densidad de aire a condiciones de Bucaramanga

ρ_o = Densidad de aire a condiciones estándar

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente y despejando P_{Fo} (véase Ecuación 44.):

Ecuación 44. Pérdida de carga a condiciones estándar mediante uso de ley de ventiladores.

$$P_{Fo} = P_F * \left(\frac{\rho_o}{\rho} \right)$$

$$P_{Fo} = 95,19 \text{ [mmcda]} * \left(\frac{1,2 \text{ Kg/m}^3}{1,064 \text{ Kg/m}^3} \right)$$

$$P_{Fo} = 107,35 \text{ [mmcda]}$$

⁵⁹ Manual Práctico de ventilación Salvador Escoda S.A.: Segunda edición: p.9.

Mediante la igualación del flujo másico de Bucaramanga y el flujo másico estándar y conociendo la ecuación de un gas ideal, se procede a la corrección del caudal de succión del sistema (véase Ecuación 45.):

Ecuación 45. Igualación del flujo másico de Bucaramanga y el flujo másico estándar

$$\dot{m}_{Bucaramanga} = \dot{m}_{estandar}$$

Donde:

$\dot{m}_{Bucaramanga}$ = Flujo másico a condiciones de Bucaramanga

$\dot{m}_{estandar}$ = Flujo másico a condiciones estándar

$$\frac{T_{estandar}}{P_{estandar} * Q_{succión_{estandar}}} = \frac{T_{Bucaramanga}}{P_{Bucaramanga} * Q_{succión_{Bucaramanga}}}$$

$$Q_{succión_{estandar}} = \frac{T_{estandar} * P_{Bucaramanga} * Q_{succión_{Bucaramanga}}}{P_{estandar} * T_{Bucaramanga}}$$

$$Q_{succión_{estandar}} = \frac{293 [K^{\circ}] * 91,99 [Kpa] * 0,2558 [m^3/s]}{101,325 [Kpa] * 300 [K^{\circ}]}$$

$$Q_{succión_{estandar}} = 0,2268 [m^3/s]$$

Los parámetros de selección del ventilador se indican a continuación (véase Tabla 37.)

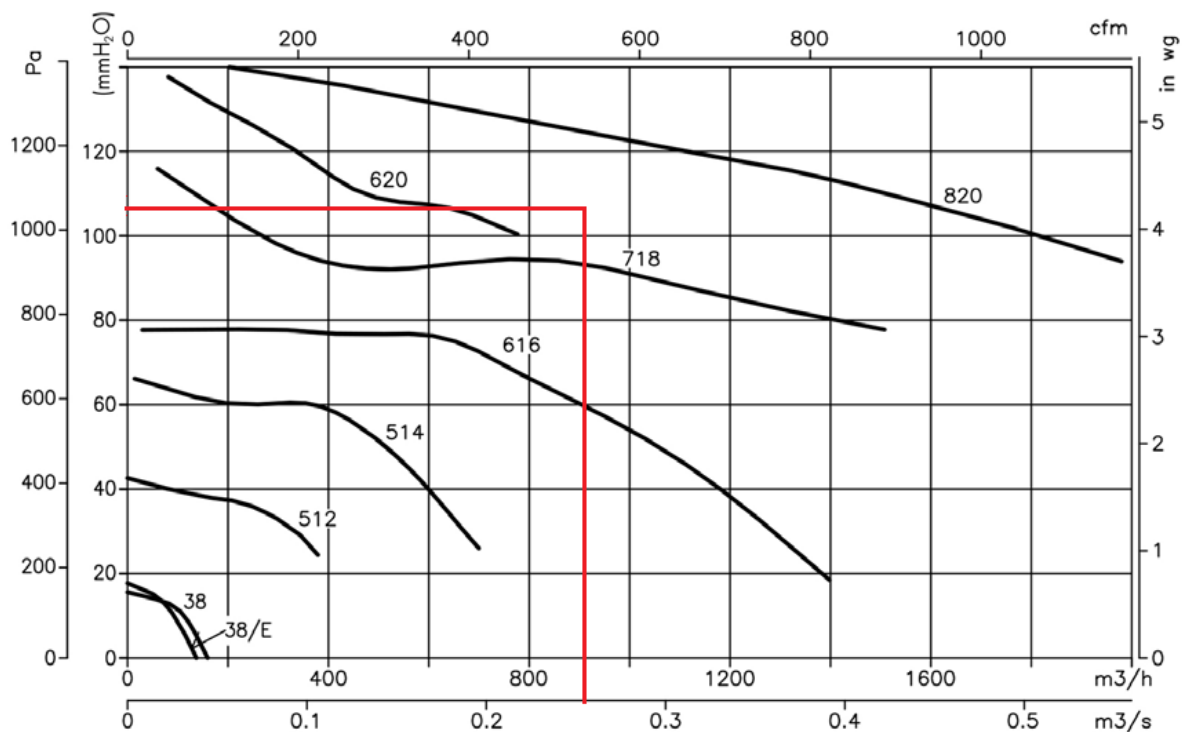
Tabla 37. Características de selección del ventilador

Perdida de carga total en el sistema	107,35 [mmcda] \cong 1052.743 [Pa]
Caudal de succión	0,2268 [m ³ /s] \cong 920,88 [m ³ /h]
Densidad del aire	1,064 [Kg/m ³]

Fuente. Elaboración de los autores

Se determina gráficamente el tipo de ventilador centrífugo que se empleará en el sistema de extracción (véase Figura 42.).

Figura 42. Curva característica ventilador centrífugo SODECA



Fuente. Catálogo de ventiladores Centrífugos y extractores en líneas para conductos. SODECA.

De acuerdo a la gráfica anterior (véase Figura 42.), se determina el ventilador a usar en el sistema de extracción:

Tabla 38. Marca y modelo de ventilador a emplear

Marca	Modelo
SODECA	CPM-718-2M-60 Hz

Fuente. Elaboración de los autores.

En el Anexo N., se encuentra la ficha técnica completa del ventilador a instalar en el sistema de extracción

Las características de operación del ventilador son las siguientes (véase Tabla 39.):

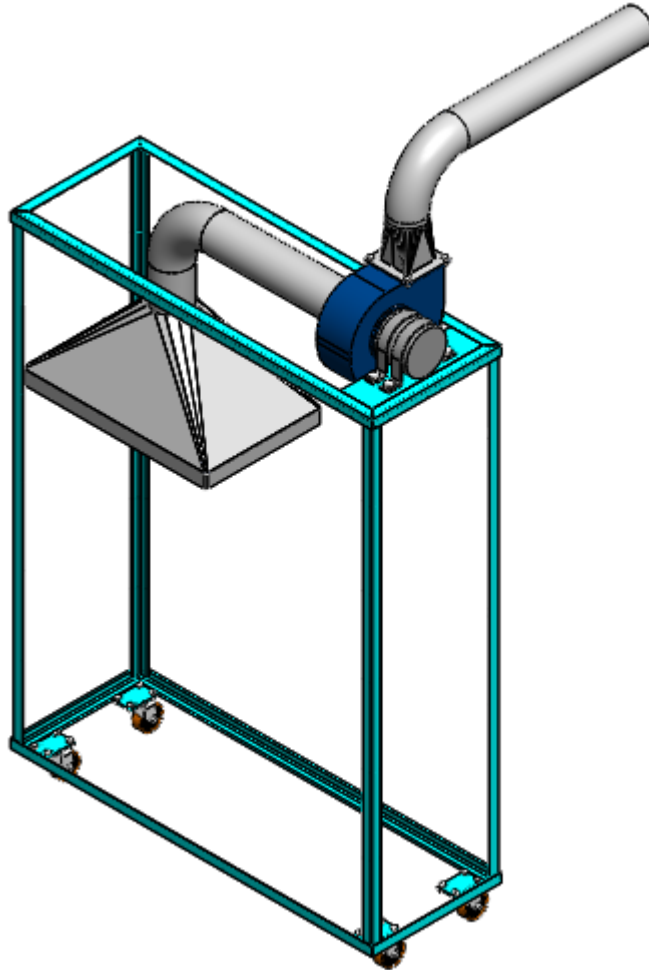
Tabla 39. Características de operación del ventilador

Potencia del ventilador	0.75 KW
Nivel de presión Sonoro	70 dB
Velocidad de giro	2810 rpm
Peso	12,8 kg

Fuente. Catálogo de ventiladores Centrífugos y extractores en líneas para conductos. Sodeca.

6.3 PROTOTIPO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES

Figura 43. Prototipo sistema de extracción

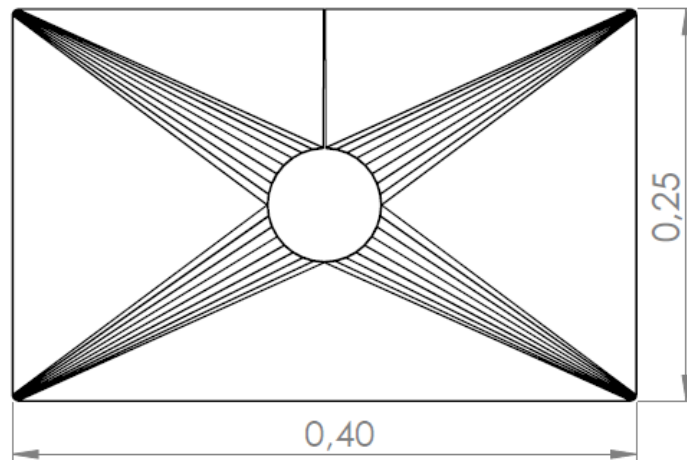


Mediante la misma metodología de cálculo se procede a diseñar y construir un prototipo que cumpla con las siguientes especificaciones:

- Masa de biomasa: 100 gr
- Flujo de operación: 0,07 – 0,10 m³/min

6.3.1 Dimensionamiento del sistema de captación. El dimensionamiento de la campana se realiza de la siguiente manera (véase Figura 44.), cabe resaltar que las medidas están dadas en $[m]$:

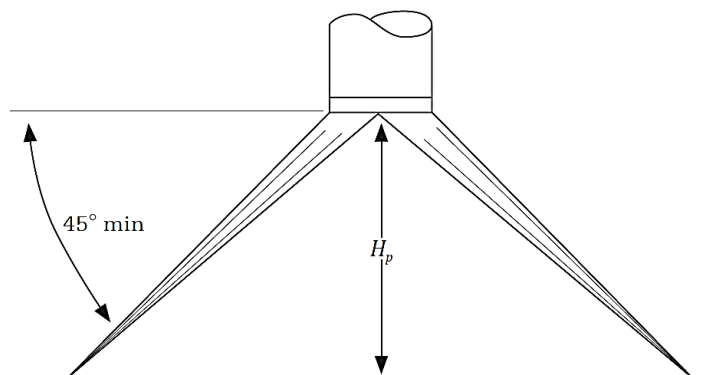
Figura 44. Vista Superior Prototipo sistema de extracción



Fuente. Elaboración de los autores

Con un diámetro de 0,072m se diseña el sistema de circulación, por consiguiente, se halla la altura del plenum de la campana de la siguiente manera (véase Figura 45.):

Figura 45. Altura del plenum



Fuente. ECHEVERRY, Carlos; Ventilación Industrial; Universidad de Medellín; 2001.

Ecuación 46. Altura del plenum prototipo sistema de extracción

$$H_{p_{Prototipo}} = \frac{L - d}{2}$$

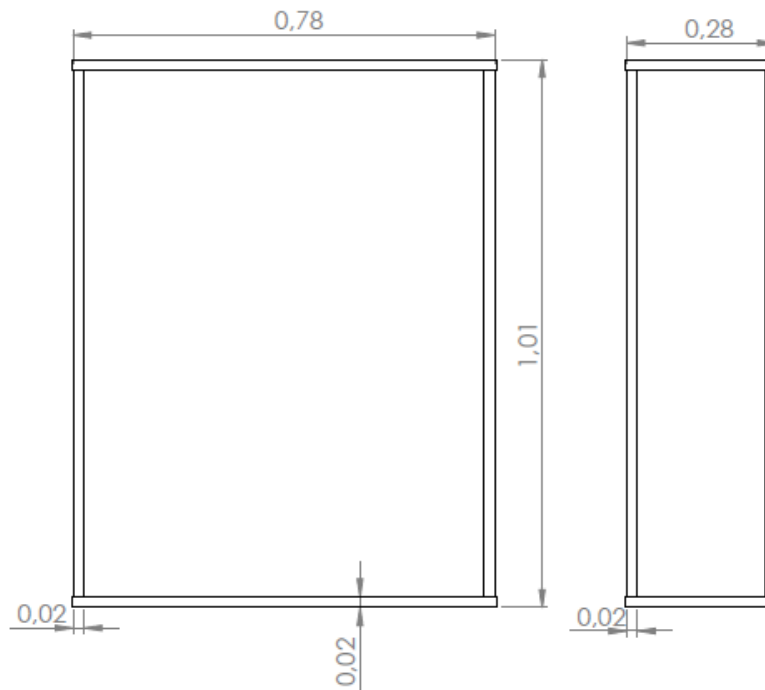
$$H_{p_{Prototipo}} = \frac{0,4[m] - 0,072[m]}{2}$$

$$H_{p_{Prototipo}} = 0,164[m].$$

El material elegido para llevar a cabo el proceso de construcción del prototipo es Acero SAE 1010 calibre 18 (véase Anexo O.).

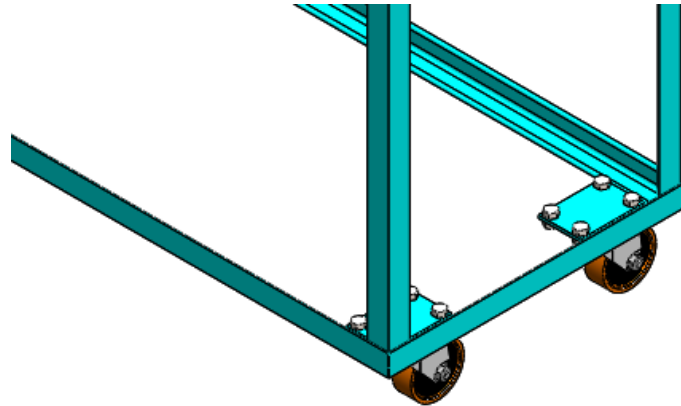
El bastidor elegido para sostener el prototipo tiene las siguientes dimensiones que están expresadas en [m] (véase Figura 46.):

Figura 46. Bastidor del prototipo.



El bastidor posee 4 ruedas que se unen a él por medio de tornillos y tuercas M6X1X8, facilitando el desplazamiento en el interior del laboratorio (véase Figura 47.).

Figura 47. Ruedas que permiten el movimiento del prototipo



Los resultados obtenidos de los cálculos del prototipo se muestran de manera simplificada a continuación (véase Tabla 40.):

Tabla 40. Resultados cálculos del prototipo del sistema de extracción

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL Y VELOCIDAD		
Caudal de aspiración	$Q_{aspiración}$	0,03165 [m^3/s]
Caudal del ambiente	$Q_{ambiente}$	0,03 [m^3/s]
Caudal de la fuente	Q_{fuente}	0,001653 [m^3/s]
Velocidad de captación promedio	$V_{captación\ promedio}$	0,3 [m/s]
CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE EL SISTEMA		
Densidad estándar	$\rho_{aire\ estándar}$	1,2 Kg/m^3
Temperatura estándar	$T_{aire\ estándar}$	20°C \approx 293[°K]
Presión atmosférica estándar	$P_{aire\ estándar}$	101,325 [KPa]

Tabla 40. (Continuación)

Temperatura de Bucaramanga	$T_{aire\ Bucaramanga}$	$27^{\circ}C \approx 300 [^{\circ}K]$
Altitud de Bucaramanga	$T_{aire\ Bucaramanga}$	$959[msnm]$
Presión atmosférica de Bucaramanga	$P_{aire\ Bucaramanga}$	$690\ mmHg$ $\approx 91,99\ KPa$
Viscosidad dinámica	μ	$1,845 \times 10^{-5} [N * s/m^2]$
SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN		
Largo de la campana	L	$0,4 [m]$
Ancho de la campana	W	$0,25 [m]$
Área de la campana	$A_{campana}$	$0,1 [m^2]$
Altura del plenum	H_p	$0,1625 [m]$
Diámetro de conducto (tramo 1 y 2)	$D_{conducto}$	$0,075 [m]$
Área del conducto (tramo 1 y 2)	A_{ducto}	$0,004417 [m^2]$
Velocidad de transporte conducto (tramo 1 y 2)	$V_{transporte}$	$7,165 [m/s]$
Factor de pérdida en la campana	F	$0,25$
Pérdida entrada en la campana	H_{ec}	$0.81825 [mmcda]$
SUBSISTEMA DE CIRCULACIÓN		
Longitud Tramo 1	L_{tramo1}	$0,08[m]$
Longitud Tramo 2	L_{tramo2}	$0,3[m]$
Longitud Tramo 3	L_{tramo3}	$0,4[m]$
Presión dinámica en el conducto (tramo 1 y 2)	PD_c	$2,78 [mmcda]$
Reynolds tramo 1 y 2	Re	30956
Diámetro equivalente	$Deq = D_{descarga}$	$0,066[m]$

Tabla 40. (Continuación)

Área de descarga	$A_{descarga}$	0,003379 [m ²]
Velocidad ducto de descarga	$V_{ducto\ descarga}$	9,368[m/s]
Reynolds sección de descarga	$Re_{descarga}$	35397
ACCESORIOS		
Rugosidad absoluta	ε	0,00015 m
Factor de pérdida de carga en codos de 90°	n_1	0,3005
Factor de pérdida de carga en codos de 90°	n_2	0,27
Factor de pérdida en el ducto de transición	$n_{transición}$	0,09
Factor de fricción para diámetro de 0.072m	$f_{0.075}$	0,02798
Factor de fricción para diámetro de 0.066m	$f_{0.066}$	0,02807
PÉRDIDAS		
Pérdida en la campana	PE_c	3,475 [mmcda]
Pérdida de carga para codo de 90° $D = 0,075$	h_{codo1}	0,8354 [mmcda]
Pérdida de carga para codo de 90° $Deq = 0,066$	h_{codo2}	1,428 [mmcda]
Pérdida de carga del conducto de transición	$h_{transición}$	0,4278 [mmcda]

Tabla 40. (Continuación)

Pérdida de lo conducto tramo 1	h_{tramo1}	0,08298 [mmcda]
Pérdida de lo conducto tramo 2	h_{tramo2}	0,3112 [mmcda]
Pérdida de lo conducto tramo 3	h_{tramo3}	0,8136 [mmcda]
PÉRDIDAS TOTALES		8,228 [mmcda]

6.3.2 Selección del ventilador para el prototipo del sistema de extracción.

Como anteriormente fue expuesto mediante el uso de la ley de los ventiladores se determinan las nuevas prestaciones a partir de curvas características dadas a condiciones estándar (véase Ecuación 43.):

$$\text{Presión: } P_F = P_{Fo} * \left(\frac{\rho}{\rho_o} \right)$$

Donde:

P_F = Pérdida de carga a condiciones de Bucaramanga.

P_{Fo} = Pérdida de carga a condiciones estándar.

ρ = Densidad de aire a condiciones de Bucaramanga.

ρ_o = Densidad de aire a condiciones estándar.

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente (véase Ecuación 44.):

$$P_{Fo} = P_F * \left(\frac{\rho_o}{\rho} \right)$$

$$P_{Fo} = 8,228 \text{ [mmcda]} * \left(\frac{1,2 \text{ Kg/m}^3}{1,064 \text{ Kg/m}^3} \right)$$

$$P_{Fo} = 9,2796 \text{ [mmcda]}$$

Utilizando la Ecuación 45., al igualar el flujo másico de Bucaramanga y el flujo másico estándar se procede a la corrección del caudal de succión del sistema:

$$\dot{m}_{Bucaramanga} = \dot{m}_{estandar}$$

Donde:

$\dot{m}_{Bucaramanga}$ = Flujo másico a condiciones de Bucaramanga

$\dot{m}_{estandar}$ = Flujo másico a condiciones estándar

$$\frac{T_{estandar}}{P_{estandar} * Q_{succión_{estandar}}} = \frac{T_{Bucaramanga}}{P_{Bucaramanga} * Q_{succión_{Bucaramanga}}}$$

$$Q_{succión_{estandar}} = \frac{T_{estandar} * P_{Bucaramanga} * Q_{succión_{Bucaramanga}}}{P_{estandar} * T_{Bucaramanga}}$$

$$Q_{succión_{estandar}} = \frac{293 [K^{\circ}] * 91,99 [Kpa] * 0,03165 [m^3/s]}{101,325[Kpa] * 300 [K^{\circ}]}$$

$$Q_{succión_{estandar}} = 0,02807 [m^3/s]$$

La selección del ventilador se realiza mediante los siguientes parámetros (véase Tabla 41.):

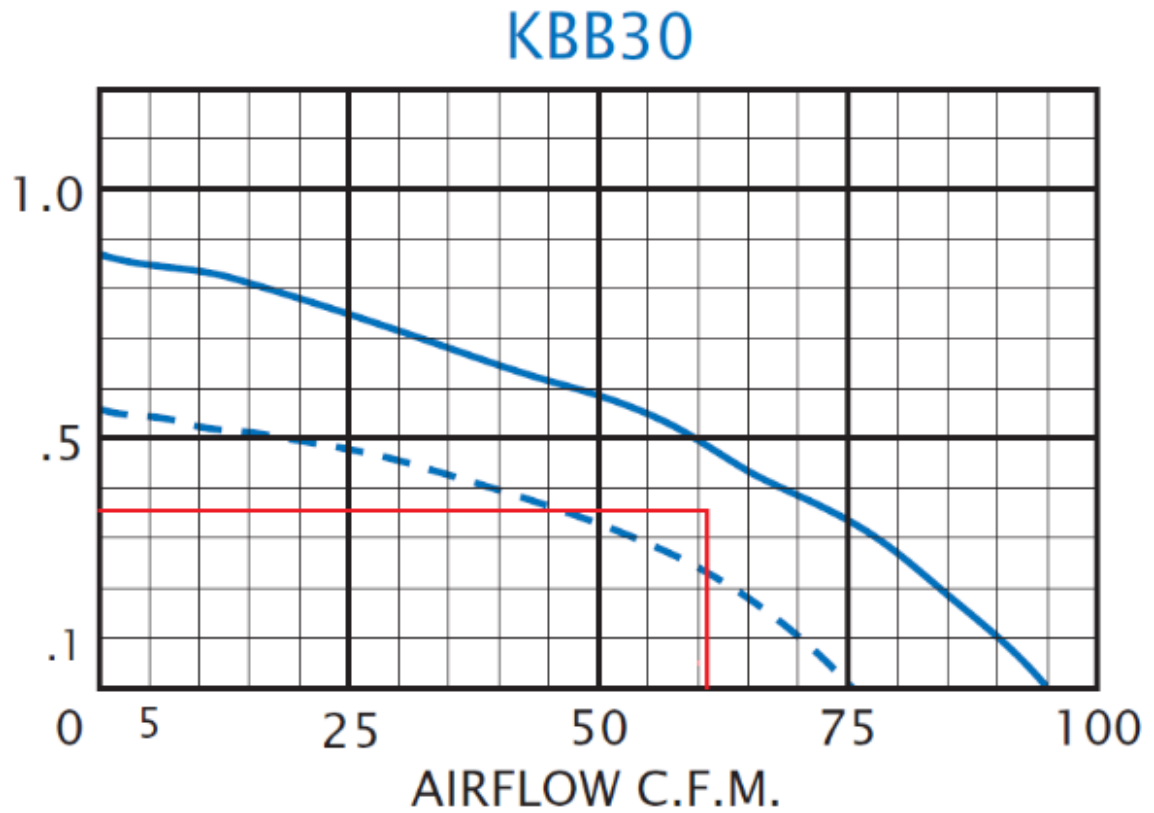
Se procede a cambiar a unidades del sistema inglés para la correspondiente selección del ventilador

Tabla 41. Condiciones de selección para ventilador Kooltronic

Perdida de carga total en el sistema	9,2796 [mmcda] \cong 0,3653[inH ₂ O]
Caudal de aspiración	0,02807 [m ³ /s] \cong 59,328 [ft ³ /min]
Densidad del aire	1.064[Kg/m ³]

La selección del ventilador del prototipo se determina gráficamente mediante el catálogo de KOOLTRONIC (véase Figura 48.).

Figura 48. Curva Característica ventilador Kooltronic



Fuente. Catálogo Kooltronic; Ventiladores Centrífugos Simples; p.118.

La correspondiente ficha técnica del ventilador seleccionado se encuentra en el Anexo P.

7. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES

En este capítulo se muestra de manera simplificada la construcción del prototipo del sistema de extracción de gases (véase Tabla 42.), realizada en un taller ubicado en el área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga, ajeno a la Universidad Industrial de Santander.

Tabla 42. Construcción prototipo sistema de extracción.

Figura 49. Soldadura aplicada a campana de extracción	Figura 50. Construcción del bastidor del sistema
	

Tabla 42. (Continuación)





<p>Figura 51. Bastidor, ductos y codos del sistema de extracción</p>	<p>Figura 52. Aplicación de Masilla a la campana de extracción</p>
	
<p>Figura 53. Aplicación de anticorrosivo a todas las piezas</p>	<p>Figura 54. Aplicación de pintura al bastidor</p>
	

Tabla 42. (Continuación)

<p data-bbox="386 338 829 432">Figura 55. Bastidor con pintura aplicada</p>	<p data-bbox="902 338 1433 432">Figura 56. Campana de extracción, ductos y codos con pintura aplicada</p>
	
<p data-bbox="347 1094 867 1136">Figura 57. Abrazadera del ventilador</p>	<p data-bbox="943 1094 1398 1136">Figura 58. Ventilador Kooltronic</p>
	

Tabla 42. (Continuación)

<p>Figura 59. Ensamble componentes sistema de extracción de gases</p>	<p>Figura 60. Placa con nombres de los autores del proyecto</p>
	
<p>Figura 61. Vista frontal prototipo sistema de extracción de gases</p>	<p>Figura 62. Vista lateral prototipo sistema de extracción de gases</p>
	

8. COSTOS DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y PROTOTIPO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

Con la lista de piezas y sus respectivos planos, se solicitó la cotización a diferentes empresas especializadas en la fabricación y montaje de sistemas de extracción de gases. Se obtuvo respuesta de dos empresas: Industrias y metales DJ y Grupo Empresarial Servicios de Ingeniería y Metalmecánica S.A.S (véase Anexo Q. y Anexo R.). Los planos del sistema de extracción y del prototipo se pueden observar en el Anexo S. y Anexo T.

8.1 PARÁMETROS A EVALUAR

Con el fin de seleccionar una empresa que realice el proceso de construcción e instalación del sistema de extracción y la elaboración del prototipo, se realiza un despliegue de parámetros para escoger la mejor opción para llevar a cabo las tareas anteriormente mencionadas.

Los parámetros a evaluar tendrán una puntuación máxima de 5 puntos y una mínima de 1 punto. Cada puntuación se evaluará de la siguiente manera:

1=Deficiente.

2=Regular.

3= Promedio.

4= Sobre promedio.

5= Excelente.

Los parámetros a evaluar son los siguientes:

- Experiencia en la fabricación de sistemas de extracción.
- Economía.
- Instalación.
- Mantenimiento.

- Tiempo de entrega.

Tabla 43. Selección de la empresa encargada a realizar la construcción del prototipo.

EMPRESA	Experiencia	Economía	Instalación	Mantenimiento	Tiempo de entrega	TOTAL
INDUSTRIAS Y METALES DJ	5	5	5	5	5	25
GRUPO EMPRESARIAL SERVICIOS DE INGENIERIA Y METALMECANICA S.A.S	5	3	5	5	5	23

Según la Tabla 43., la empresa seleccionada para realizar la construcción del sistema de extracción y del prototipo es Industrias y Metales DJ.

8.2 COSTOS DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

Para determinar los costos de fabricación del sistema, es necesario identificar cada pieza con sus respectivas características y cantidades. En la Tabla 44., se muestra una lista en detalle de todos los elementos que forman el sistema de extracción.

Tabla 44. Lista de piezas del sistema de extracción

NOMBRE	CANT	CARACTERÍSTICAS	V/r Unit.	Total
Campana de extracción	1	Lámina de acero galvanizado: Calibre 16. Altura del plenum: 450[mm]. Sección rectangular:1100 * 750 [mm]. Diámetro sección circular : 200 [m]. Soldadura 6010 para la unión de campana con conducto 1.	\$840.000	\$840.000
Soporte en (L)	4	Lámina de acero galvanizado: Calibre 12. Medidas:65 * 75 [mm]. Diámetro: 1,1 [mm]. Soldadura 6010 para uniones.	\$45.000	\$180.000
Conducto 1	1	Lámina de acero galvanizado: Calibre 16. Diámetro interno: 200 [mm]. Longitud de tramo: 80,12 [mm]. La unión del conducto 1 con el codo de 90° será con manguito de unión hembra de θ : 203 [mm].	\$160.000	\$160.000

Tabla 44. (Continuación)

Manguito de unión hembra θ : 203 [mm]	2	Lámina de acero galvanizado: Calibre 16. Diámetro externo: 206 [mm]. Longitud: 90 [mm].	\$47.000	\$94.000
Codo 90° θ : 200 [mm]	1	Lámina de acero galvanizado: Calibre 16. Diseño en 4 segmentos. Diámetro interno: 200 [mm]. Diámetro externo: 203 [mm]. Radio de giro: 300 [mm].	\$160.000	\$160.000
Conducto 2	1	Lámina de acero galvanizado: Calibre 16. Diámetro interno: 200 [mm]. Longitud de tramo: 840 [mm]. La unión del conducto 2 con la caja de filtración será con manguito de unión hembra de θ : 203 [mm].	\$280.000	\$280.000
Caja de filtración	1	Lámina de acero inoxidable: Calibre 16. Caja interna, sección cuadrada: 333,2 * 333,2 [mm]. Diámetro interno de ingreso: 203 [mm]. Diámetro interno de salida: 177 [mm].	\$170.000	\$170.000

Tabla 44. (Continuación)

Filtro	1	Esta pieza es seleccionada del Catálogo VariCel® Filtres, (véase Anexo M.). Merv 11. Medidas: 12 * 12 * 4 [in].	\$237.157	\$237.157
Conducto 3	1	Lámina de acero galvanizado: Calibre 16. Diámetro interno: 180 [mm]. Longitud de tramo: 500 [mm]. La unión del conducto 3 con la entrada a el ventilador será con una brida circular que estará soldada a un extremo, con las siguientes especificaciones: Diámetro interno de la brida: 183 [mm] Diámetro externo de la brida: 238 [mm]. Se recomienda soldadura 6010 para la unión de la brida circular en el extremo del conducto 3.	\$300.000	\$300.000
Ventilador centrifugo	1	Es seleccionado del Catálogo SODECA®, ventiladores centrifugos, turbina en chapa de acero CMP (véase Anexo N.). Modelo: CMP-718-2M. (2900 r/min 50 Hz – Monofásico).	1'580.237	1'580.237

Tabla 44. (Continuación)

<p>Ducto de transición</p>	<p>1</p>	<p>Lámina de acero galvanizado: Calibre 16. Medidas sección rectangular: 146 * 115 [mm]. Diámetro interno sección circular: 142 [mm]. La unión del ducto de transición con la salida del ventilador será con una brida rectangular que estará soldada en el extremo de la sección, con las siguientes especificaciones: Medidas de la brida rectangular: 192 * 169 [mm]. Se recomienda soldadura 6010 para la unión de la brida rectangular en el extremo de la sección del ducto de transición.</p>	<p>\$300.000</p>	<p>\$300.000</p>
<p>Manguito de unión hembra θ: 145 [mm]</p>	<p>4</p>	<p>Lámina de acero galvanizado: Calibre 16. Diámetro externo: 148 [mm]. Longitud: 60 [mm].</p>	<p>\$42.000</p>	<p>\$168.000</p>
<p>Codo 90° θ: 142 [mm]</p>	<p>2</p>	<p>Lámina de acero galvanizado: Calibre 16. Diseño en 4 segmentos. Diámetro interno: 142 [mm]. Diámetro externo: 145 [mm]. Radio de giro: 300 [mm].</p>	<p>\$140.000</p>	<p>\$280.000</p>

Tabla 44. (Continuación)

Conducto 4	1	Lámina de acero galvanizado: Calibre 16. Diámetro interno: 142 [mm]. Longitud de tramo: 400 [mm]. Las uniones del conducto 4 son dos manguitos hembra de θ : 145 [mm] en cada extremo.	\$280.000	\$280.000
Conducto 5	1	Lámina de acero galvanizado: Calibre 16. Diámetro interno: 142 [mm]. Longitud de tramo: 2500[mm]. La unión en un extremo del conducto 5 es con manguito hembra de θ : 145 [mm]. El otro extremo del conducto es unido con el sombrero chino.	\$500.000	\$500.000
Sombrero chino	1	Chapa de acero galvanizado: Calibre 16. Esta pieza es seleccionada del Catálogo SPIRO® system de acuerdo a la pérdida de carga de Sombreros VH (véase Anexo J).	\$300.000	\$300.000
Soporte de pared	2	Esta pieza es seleccionada del Catálogo SPIRO® system, soportes de pared VK4 Electro galvanizados (véase Anexo U.).	\$ 40.000	\$ 80.000

Tabla 44. (Continuación).

Abrazaderas conducto de descarga	2	Acero perfilado y galvanizado por inmersión en caliente.	\$ 130.000	\$ 260.000
Mano de obra			\$2'000.000	\$2'000.000
Transporte de las piezas a la Escuela de Ingeniería Mecánica			\$ 350.000	\$ 350.000
Instalación			\$ 650.000	\$ 650.000
TOTAL				\$9'169.394

8.3 COSTOS DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

Para determinar los costos de fabricación del prototipo, es necesario identificar cada pieza con sus respectivas características y cantidades. En la Tabla 45. Se muestra una lista en detalle de todos los elementos que forman el sistema de extracción.

Tabla 45. Lista de piezas del prototipo sistema de extracción.

NOMBRE	CANT	CARACTERÍSTICAS	V/R UNIT	TOTAL
Campana de extracción	1	Lámina de acero SAE 1010: Calibre 18. Altura del plenum: 164 [mm]. Sección rectangular: 400 * 250 [mm]. Diámetro sección circular : 72 [m]. Soldadura 6010 para la unión de campana con el conducto primario.	\$240.000	\$240.000
Conducto primario	1	Lámina de acero SAE 1010: Calibre 18. Diámetro interno: 72 [mm]. Longitud de tramo: 80 [mm]. La unión del conducto 1 con el codo de 90° deberá de ser soldado (soldadura de 6010).	\$20.000	\$20.000

Tabla 45. (Continuación)

Codo 90° θ: 72 [mm]	1	Lámina de acero SAE 1010: Calibre 18. Diámetro interno: 72 [mm]. Diámetro externo: 75 [mm]. Radio de giro: 100 [mm].	\$45.000	\$45.000
Conducto secundario	1	Lámina de acero SAE 1010: Calibre 18. Diámetro interno: 72 [mm]. Longitud de tramo: 300 [mm]. La unión del conducto secundario con la entrada al ventilador será por medio de una empaquetadura de diámetro interior de 75 [mm]. El material a emplear deberá soportar temperaturas hasta 300 °C.	\$40.000	\$40.000
Ventilador centrífugo	1	Es seleccionado del Catálogo KOOLTRONIC®, sopladores centrífugos simples (véase Anexo P.). Modelo: KBB30. (115V 50/60 Hz 1A-3000rpm)	\$600.000	\$600.000
Ducto de transición	1	Lámina de acero SAE 1010: Calibre 18. Medidas sección cuadrada: 65 * 65[mm].		

Tabla 45. (Continuación)

Ducto de transición	1	<p>Diámetro interno sección circular: 66 [mm].</p> <p>La unión del ducto de transición con la salida del ventilador será con una brida rectangular que estará soldada en el extremo de la sección, con las siguientes especificaciones:</p> <p>Medidas de la brida rectangular: 95 * 95 [mm].</p> <p>Se recomienda soldadura 6010 para las uniones de la brida rectangular en el extremo de la sección del ducto de transición y el codo de 90° de θ: 66[mm]</p>	\$120.000	\$120.000
Codo 90° θ : 66 [mm]	1	<p>Lámina de acero SAE 1010: Calibre 18.</p> <p>Diámetro interno: 66 [mm].</p> <p>Diámetro externo: 69 [mm].</p> <p>Radio de giro: 100 [mm].</p>	\$45.000	\$45.000
Conducto de descarga	1	<p>Lámina de acero SAE 1010: Calibre 18.</p> <p>Diámetro interno: 66 [mm].</p> <p>Longitud de tramo:400 [mm].</p>		

Tabla 45. (Continuación)

Conducto de descarga	1	En un extremo del conducto se soldará la unión del codo de 90° de θ : 66 [mm] (soldadura de 6010).	\$30.000	\$30.000
Base del motor	1	Lámina de acero SAE 1010: Calibre 16. Medidas sección cuadrada: 281 * 90[mm].	\$10.000	\$10.000
Chasis en L	1	Material: Acero SAE 1010: Medidas: 20X20X3[mm] Soldadura 6010 para todos los elementos a soldar del chasis.	\$250.000	\$250.000
Ruedas	4	Grosor de llantas: 40 [mm] Llantas en goma con frenos	\$30.000	\$120.000
Tornillo de cabeza Hexagonal	2	M10 x 1.5 x 16	\$500	\$1000
Tuerca de cabeza hexagonal	6	B18.24. 1M – Hex nut M10 x 1.5	\$300	\$1800
Tornillo cabeza hexagonal	4	M6 x 1.0 x 25	\$500	\$2000

Tabla 45. (Continuación)

Tornillo de cabeza Hexagonal	20	M6 x 1.0 x 8	\$500	\$10.000
Tuerca de cabeza hexagonal	20	B18.2.4 1M – Hex nut M6 x 1	\$300	\$6000
Pintura, masilla			\$35.000	\$35.000
Mano de obra (Doblar, soldar, pulir, pintar)			\$400.000	\$400.000
Transportes			\$30.000	\$30.000
TOTAL				\$2'005.800

9. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El manual de operación y mantenimiento para el sistema de extracción del laboratorio se encuentra en el Anexo V.

10. CONCLUSIONES

A continuación, se enuncian las conclusiones obtenidas en el diseño del sistema de extracción de gases para el Laboratorio de Combustión de la Escuela de Ingeniería Mecánica-UIS.

- De acuerdo al objetivo general planteado en el proyecto, se logró desarrollar una nueva tecnología para la Escuela de Ingeniería Mecánica, que permite brindar una calidad de aire óptima para el personal que desee utilizar los espacios del Laboratorio de Combustión sin comprometer negativamente su salud.
- Se diseñó el sistema de extracción para el laboratorio de combustión de la Escuela de Ingeniería Mecánica – UIS, logrando acoplar los cinco elementos básicos: campana, conductos, accesorios, depurador y ventilador, cumpliendo con las siguientes características de operación: Masa de biomasa: 500 g, flujo máximo de gases 0.6 m³/s, presión máxima de gases: 101.3254 Kpa, temperatura máxima de gases de combustión: 300°C
- Por medio de la misma metodología de cálculo, se diseñó y construyó un prototipo que cumple las siguientes especificaciones: Masa de biomasa: 100g y flujo de operación: 0,07- 0,1[m³/s].
- Mediante el despliegue de la función de calidad, se conocieron los requerimientos del sistema, permitiendo evaluar las alternativas más favorables para el proyecto.
- El sistema se diseña con el fin de permitir el fácil acceso al mantenimiento preventivo de los componentes, favoreciendo las inspecciones periódicas por parte del personal autorizado para realizar dichas tareas.

- Teniendo en cuenta los requerimientos del sistema de extracción, se selecciona un ventilador que logra vencer las pérdidas de carga que se producirán en la circulación por los conductos.
- El manual de operación posee indicaciones claras y de fácil entendimiento para el uso del sistema de extracción. De igual manera el manual contiene las pautas para alargar la vida útil de todos los componentes, previniendo el deterioro temprano y en el peor de los casos un accidente al personal que trabaja en este espacio.
- Fomentar espacios de investigación a futuros proyectos de grado explorando diferentes aplicaciones tales como soldadura, pintura, cromado, niquelado, limpieza de metales, e indagando a cerca de nuevos sistemas de extracción que puedan ser útiles en la Universidad Industrial de Santander y la industria colombiana.

BIBLIOGRAFÍA

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Handbook- HVAC Applications (SI), 2017.

CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. Termodinámica. Séptima Edición: Editorial Mc Graw Hill, 2012.

ECHEVERRY, Carlos. Ventilación Industrial: Universidad de Medellín, 2011.

Guía de Bolsillo ASHRAE para aire acondicionado, Calefacción, Ventilación, Refrigeración: (Edición IP y SI); 2013.

Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH): 23rd Edition, 1998.

Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH): 27th Edition, 2010.

Manual Práctico de ventilación Soler & Palau: Sistemas de ventilación: Soler & Palau Ventilation Group, 2012.

MARADEY, Juan. Termodinámica Aplicada. Universidad Industrial de Santander, 2002.

POTTER, Merle C; WIGGERT, David C. Mecánica de fluidos: Tercera Edición, Editorial Thomson.

ANEXOS

Anexo A. Desarrollo de los modelos termodinámicos mediante EES

ESTEQUIMETRIA CISCO DE CAFÉ

Fracción másica

Análisis último del proyecto

$$C\% = 45,4$$

$$H\% = 6,03$$

$$O\% = 47,91$$

$$N\% = 0,67$$

$$fm_C = \frac{C\%}{100}$$

$$fm_H = \frac{H\%}{100}$$

$$fm_O = \frac{O\%}{100}$$

$$fm_N = \frac{N\%}{100}$$

$$fm_{total} = fm_C + fm_H + fm_O + fm_N$$

$$m_{biomasa} = 500$$

$$M_{molN} = 14$$

$$N_{molC} = m_{biomasa} \cdot fm_C \cdot \frac{1}{M_{molC}}$$

$$N_{molH} = m_{biomasa} \cdot fm_H \cdot \frac{1}{M_{molH}}$$

$$N_{molO} = m_{biomasa} \cdot fm_O \cdot \frac{1}{M_{molO}}$$

$$N_{molN} = m_{biomasa} \cdot fm_N \cdot \frac{1}{M_{molN}}$$

$$a = N_{molC}$$

$$b = N_{molH}$$

$$c = N_{molO}$$

$$d = N_{molN}$$

El aire estequiométrico es la cantidad mínima de aire necesario para que ocurra la combustión completa, y esta se determina por medio del balance de masa del proceso de combustión estequiométrico. Por ende, para el proceso de combustión de biomasa se plantea un balance atómico para el carbono, hidrogeno, oxígeno y el nitrógeno.

$$a = n_2$$

$$b = 2 \cdot n_1$$

$$c + 2 \cdot e = n_1 + 2 \cdot n_2$$

$$d + 7,54 \cdot e = 2 \cdot n_3$$

Masa de aire teorico

$$m_{aire\ teo} = e \cdot (M_{molN} \cdot 2 \cdot 3,77 + 2 \cdot M_{molO})$$

$$n_1 = N_{mol;co_2}$$

$$n_2 = N_{mol;h_2o}$$

$$n_3 = N_{mol;n_2}$$

$$M_{mol;co_2} = M_{molC} + 2 \cdot M_{molO}$$

$$M_{mol;h_2o} = 2 \cdot M_{molH} + M_{molO}$$

$$M_{mol;n_2} = 2 \cdot M_{molN}$$

$$N_{mol;co_2} = m_{co_2} \cdot \frac{1}{M_{mol;co_2}}$$

$$N_{mol;h_2o} = m_{h_2o} \cdot \frac{1}{M_{mol;h_2o}}$$

$$N_{mol;n_2} = m_{n_2} \cdot \frac{1}{M_{mol;n_2}}$$

Porcentajes masicos

$$M_{tot\ base;humedad} = m_{co_2} + m_{n_2} + m_{h_2o}$$

Flujo Másico

$$Flujom_{bio} = \frac{m_{biomasa}}{1000 \cdot Dt} \quad (Kg/min)$$

$$Dt = 10 \quad \text{minutos}$$

Densidad gas ideal

$$M = M_{mol;co_2} \cdot X_{CO_2} + M_{mol;h_2o} \cdot X_{H_2O} + M_{mol;n_2} \cdot X_{N_2}$$

Masa molar de la mezcla

$$P_{\text{atm}} = 101,325 \cdot 1000 \text{ (pa)}$$

$$P_{\text{atmpsi}} = 14,6959$$

$$R_u = 8,31448 \text{ Constante universal de los gases (j/mol*k)}$$

$$T = 300 \text{ (°C) (200-300) Libro Maradey}$$

$$T_a = 300 + 273,15$$

$$d_{\text{ideal}} = \frac{M}{1000} \cdot \frac{P_{\text{atm}}}{R_u \cdot T_a}$$

$$n_{\text{tot}} = n_1 + n_2 + n_3$$

$$x_{\text{CO}_2} = \frac{n_2}{n_{\text{tot}}}$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{n_1}{n_{\text{tot}}}$$

$$x_{\text{N}_2} = \frac{n_3}{n_{\text{tot}}}$$

Compresibilidad Z

$$Z = 1 \text{ Gas ideal}$$

Densidad real

$$\text{densi}_{\text{real}} = \frac{d_{\text{ideal}}}{Z}$$

Flujo de gases

$$\text{Fluj} = \frac{m_{\text{productos}}}{\text{densi}_{\text{real}} \cdot Dt}$$

$$m_{\text{productos}} = \frac{M_{\text{mol;co}_2} \cdot n_2 + M_{\text{mol;h}_2\text{o}} \cdot n_1 + M_{\text{mol;n}_2} \cdot n_3}{1000}$$

Masa de aire en exceso, 1.2 blanda

$$m_{\text{aire}_{\text{real}}} = m_{\text{aire}_{\text{teo}}} \cdot 1$$

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$a = 18,92$	$b = 30,15$
$d = 0,2393$	$\text{densi}_{\text{real}} = 0,6259$
$e = 18,97$	Fluj = 0,4968 [m³/Min]
$\text{fm}_H = 0,0603$	$\text{fm}_N = 0,0067$
$H\% = 6,03$	$M = 29,44$
Mtot_{base,humedad} = 3009	$m_{\text{biomasa}} = 500$
$M_{\text{molC}} = 12$	$M_{\text{molH}} = 1$
$M_{\text{mol,co2}} = 44$	$M_{\text{mol,h2o}} = 18$
$m_{\text{productos}} = 3,109$ [g]	$N\% = 0,67$
$n_3 = 71,63$	$N_{\text{molC}} = 18,92$
$N_{\text{molO}} = 14,97$	$N_{\text{mol,co2}} = 15,08$
$n_{\text{tot}} = 105,6$	$O\% = 47,91$
$R_u = 8,314$	$T = 300$
$x_{H_2O} = 0,1427$	$x_{N_2} = 0,6782$
$c = 14,97$	$C\% = 45,4$
$Dt = 10$ [Min]	d_{ideal} = 0,6259 [kg/m³]
Flujom_{bio} = 0,05 [kg/Min]	$\text{fm}_C = 0,454$
$\text{fm}_O = 0,4791$	$\text{fm}_{\text{total}} = 1$
maire_{real} = 2609	maire_{teo} = 2609
$m_{\text{co2}} = 663,3$ [kg/Min]	$m_{\text{h2o}} = 340,5$
$M_{\text{molN}} = 14$	$M_{\text{molO}} = 16$
$M_{\text{mol,n2}} = 28$	$m_{\text{n2}} = 2006$ [kg/Min]
$n_1 = 15,08$	$n_2 = 18,92$
$N_{\text{molH}} = 30,15$	$N_{\text{molN}} = 0,2393$
$N_{\text{mol,h2o}} = 18,92$	$N_{\text{mol,n2}} = 71,63$ [kg/Min]
$P_{\text{atm}} = 101325$	$P_{\text{atmpsi}} = 14,7$
$T_a = 573,2$	$x_{\text{CO}_2} = 0,1791$
$Z = 1$	

ESTEQUIOMETRIA CISCO DE CAFE PROTOTIPO.

Fracción másica

Análisis último del proyecto

$$C\% = 45,4$$

$$H\% = 6,03$$

$$O\% = 47,91$$

$$N\% = 0,67$$

$$fm_C = \frac{C\%}{100}$$

$$fm_H = \frac{H\%}{100}$$

$$fm_O = \frac{O\%}{100}$$

$$fm_N = \frac{N\%}{100}$$

$$fm_{total} = fm_C + fm_H + fm_O + fm_N$$

$$m_{biomasa} = 100$$

$$M_{molC} = 12$$

$$M_{molH} = 1$$

$$M_{molO} = 16$$

$$M_{molN} = 14$$

$$N_{molC} = m_{biomasa} \cdot fm_C \cdot \frac{1}{M_{molC}}$$

$$N_{molH} = m_{biomasa} \cdot fm_H \cdot \frac{1}{M_{molH}}$$

$$N_{molO} = m_{biomasa} \cdot fm_O \cdot \frac{1}{M_{molO}}$$

$$N_{molN} = m_{biomasa} \cdot fm_N \cdot \frac{1}{M_{molN}}$$

$$a = N_{molC}$$

$$b = N_{molH}$$

$$c = N_{molO}$$

$$d = N_{molN}$$

El aire estequiométrico es la cantidad mínima de aire necesario para que ocurra la combustión completa, y esta se determina por medio del balance de masa del proceso de combustión estequiométrico. Por ende, para el proceso de combustión de biomasa se plantea un balance atómico para el carbono, hidrogeno, oxígeno y el nitrógeno.

$$a = n_2$$

$$b = 2 \cdot n_1$$

$$c + 2 \cdot e = n_1 + 2 \cdot n_2$$

$$d + 7,52 \cdot e = 2 \cdot n_3$$

Masa de aire teorico

$$m_{aire\ teo} = e \cdot (M_{molN} \cdot 2 \cdot 3,76 + 2 \cdot M_{molO})$$

$$n_1 = N_{mol;co_2}$$

$$n_2 = N_{mol;h_2o}$$

$$n_3 = N_{mol;n_2}$$

$$M_{mol;co_2} = M_{molC} + 2 \cdot M_{molO}$$

$$M_{mol;h_2o} = 2 \cdot M_{molH} + M_{molO}$$

$$M_{mol;n_2} = 2 \cdot M_{molN}$$

$$N_{mol;co_2} = m_{co_2} \cdot \frac{1}{M_{mol;co_2}}$$

$$N_{mol;h_2o} = m_{h_2o} \cdot \frac{1}{M_{mol;h_2o}}$$

$$N_{mol;n_2} = m_{n_2} \cdot \frac{1}{M_{mol;n_2}}$$

Porcentajes masicos

$$M_{tot;base;humedad} = m_{co_2} + m_{n_2} + m_{h_2o}$$

Flujo Másico

$$Flujom_{bio} = \frac{m_{biomasa}}{1000 \cdot Dt} \quad (Kg/min)$$

$$Dt = 10 \text{ minutos}$$

Densidad gas ideal

$$M = M_{mol;co_2} \cdot X_{CO_2} + M_{mol;h_2o} \cdot X_{H_2O} + M_{mol;n_2} \cdot X_{N_2}$$

Masa molar de la mezcla

$$P_{atm} = 101,325 \cdot 1000 \quad (pa)$$

$$P_{atmpsi} = 14,6959$$

$$R_u = 8,31448 \quad \text{Constante universal de los gases (j/mol*k)}$$

$$T = 300 \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ (200-300) Libro Maradey}$$

$$T_a = 300 + 273,15$$

$$d_{ideal} = \frac{M}{1000} \cdot \frac{P_{atm}}{R_u \cdot T_a}$$

$$n_{tot} = n_1 + n_2 + n_3$$

$$x_{CO_2} = \frac{n_2}{n_{tot}}$$

$$x_{H_2O} = \frac{n_1}{n_{tot}}$$

$$x_{N_2} = \frac{n_3}{n_{tot}}$$

Compresibilidad Z

$$Z = 1 \text{ Gas ideal}$$

Densidad real

$$densi_{real} = \frac{d_{ideal}}{Z}$$

Flujo de gases

$$Fluj = \frac{m_{productos}}{densi_{real} \cdot Dt}$$

$$m_{productos} = \frac{M_{mol;co_2} \cdot n_2 + M_{mol;h_2o} \cdot n_1 + M_{mol;n_2} \cdot n_3}{1000}$$

Masa de aire en exceso, 1.2 blanda

$$maire_{real} = maire_{teo} \cdot 1$$

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

a = 3,783	b = 6,03	c = 2,994	C% = 45,4
d = 0,04786	densi _{real} = 0,626	Dt = 10 [Min]	d _{ideal} = 0,626 [kg/m ³]
e = 3,794	Fluj = 0,09917 [m ³ /Min]	Fluj _{ombio} = 0,01 [kg/Min]	fm _C = 0,454
fm _H = 0,0603	fm _N = 0,0067	fm _O = 0,4791	fm _{total} = 1
H% = 6,03	M = 29,44	maire _{real} = 520,8	maire _{teo} = 520,8
M _{totbase,humedad} = 600,8	m _{biomasa} = 100	m _{co2} = 132,7 [kg/Min]	m _{h2o} = 68,1
M _{molC} = 12	M _{molH} = 1	M _{molN} = 14	M _{molO} = 16
M _{mol,co2} = 44	M _{mol,h2o} = 18	M _{mol,n2} = 28	m _{n2} = 400,1 [kg/Min]
m _{productos} = 0,6208 [g]	N% = 0,67	n1 = 3,015	n2 = 3,783
n3 = 14,29	N _{molC} = 3,783	N _{molH} = 6,03	N _{molN} = 0,04786
N _{molO} = 2,994	N _{mol,co2} = 3,015	N _{mol,h2o} = 3,783	N _{mol,n2} = 14,29 [kg/Min]
n _{tot} = 21,09	O% = 47,91	P _{atm} = 101325	P _{atmpsi} = 14,7
Ru = 8,314	T = 300	Ta = 573,2	x _{CO2} = 0,1794
x _{H2O} = 0,143	x _{N2} = 0,6776	Z = 1	

DATOS DE ENTRADA DE LA BIOMASA

Proyecto: PAJARROZ

Fración másica

Análisis último del proyecto

$$C\% = 40,79$$

$$H\% = 5,3$$

$$O\% = 34,58$$

$$N\% = 1,29$$

$$f_{mC} = \frac{C\%}{100}$$

$$f_{mH} = \frac{H\%}{100}$$

$$f_{mO} = \frac{O\%}{100}$$

$$f_{mN} = \frac{N\%}{100}$$

$$f_{m\text{total}} = f_{mC} + f_{mH} + f_{mO} + f_{mN}$$

$$m_{\text{biomasa}} = 500$$

$$M_{\text{molC}} = 12$$

$$M_{\text{molH}} = 1$$

$$M_{\text{molO}} = 16$$

$$M_{\text{molN}} = 14$$

$$N_{\text{molC}} = m_{\text{biomasa}} \cdot f_{mC} \cdot \frac{1}{M_{\text{molC}}}$$

$$N_{\text{molH}} = m_{\text{biomasa}} \cdot f_{mH} \cdot \frac{1}{M_{\text{molH}}}$$

$$a = N_{\text{molC}}$$

$$b = N_{\text{molH}}$$

$$c = N_{\text{molO}}$$

$$d = N_{\text{molN}}$$

$$a = n_2$$

$$b = 2 \cdot n_1$$

$$c + 2 \cdot e = n1 + 2 \cdot n2$$

$$d + 7,52 \cdot e = 2 \cdot n3$$

Masa de aire teorico

$$m_{aire_{teo}} = e \cdot (M_{molN} \cdot 2 \cdot 3,76 + 2 \cdot M_{molO})$$

$$n1 = N_{mol;co2}$$

$$n2 = N_{mol;h2o}$$

$$n3 = N_{mol;n2}$$

$$M_{mol;co2} = M_{molC} + 2 \cdot M_{molO}$$

$$M_{mol;h2o} = 2 \cdot M_{molH} + M_{molO}$$

$$M_{mol;n2} = 2 \cdot M_{molN}$$

$$N_{mol;co2} = m_{co2} \cdot \frac{1}{M_{mol;co2}}$$

$$N_{mol;h2o} = m_{h2o} \cdot \frac{1}{M_{mol;h2o}}$$

$$N_{mol;n2} = m_{n2} \cdot \frac{1}{M_{mol;n2}}$$

Porcentajes masicos

$$M_{tot_{base;humedad}} = m_{co2} + m_{n2} + m_{h2o}$$

Flujo Másico

$$Flujom_{bio} = \frac{m_{biomasa}}{1000 \cdot Dt} \text{ (Kg/min)}$$

$$Dt = 10 \text{ minutos}$$

Densidad gas ideal

$$M = M_{mol;co2} \cdot X_{CO2} + M_{mol;h2o} \cdot X_{H2O} + M_{mol;n2} \cdot X_{N2}$$

Masa molar de la mezcla

$$P_{atm} = 101,325 \cdot 1000 \text{ (pa)}$$

$$P_{atmpsi} = 14,6959$$

$$R_u = 8,31448 \text{ Constante universal de los gases (j/mol*k)}$$

$$T = 1000 \text{ (°C)}$$

$$T_a = 300 + 273,15$$

$$d_{ideal} = \frac{M}{1000} \cdot \frac{P_{atm}}{R_u \cdot T_a}$$

$$n_{tot} = n_1 + n_2 + n_3$$

$$x_{CO_2} = \frac{n_2}{n_{tot}}$$

$$x_{H_2O} = \frac{n_1}{n_{tot}}$$

$$x_{N_2} = \frac{n_3}{n_{tot}}$$

Compresibilidad Z

$$Z = 1 \quad \text{Gas ideal}$$

Densidad real

$$densi_{real} = \frac{d_{ideal}}{Z}$$

Flujo de gases

$$Fluj = \frac{m_{productos}}{densi_{real} \cdot Dt}$$

$$m_{productos} = \frac{M_{mol,co_2} \cdot n_2 + M_{mol,h_2o} \cdot n_1 + M_{mol,n_2} \cdot n_3}{1000}$$

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

a = 17	b = 26,5	c = 10,81	C% = 40,79
d = 0,4607	densi _{real} = 0,6253	Dt = 10 [Min]	d _{ideal} = 0,6253
e = 18,22	Fluj = 0,4655 [m ³ /Min]	Fluj _{ombio} = 0,05 [kg/Min]	fm _C = 0,4079
fm _H = 0,053	fm _N = 0,0129	fm _O = 0,3458	fm _{total} = 0,8196
H% = 5,3	M = 29,41	maire _{teo} = 2501	Mtot _{base,humedad} = 2813
m _{biomasa} = 500	m _{co2} = 583 [kg/Min]	m _{h2o} = 305,9	M _{molC} = 12
M _{molH} = 1	M _{molN} = 14	M _{molO} = 16	M _{mol,co2} = 44
M _{mol,h2o} = 18	M _{mol,n2} = 28	m _{n2} = 1924 [kg/Min]	m _{productos} = 2,911 [g]
N% = 1,29	n1 = 13,25	n2 = 17	n3 = 68,73
N _{molC} = 17	N _{molH} = 26,5	N _{molN} = 0,4607	N _{molO} = 10,81
N _{mol,co2} = 13,25	N _{mol,h2o} = 17	N _{mol,n2} = 68,73 [kg/Min]	n _{tot} = 98,97
O% = 34,58	P _{atm} = 101325	P _{atmpsi} = 14,7	Ru = 8,314
T = 1000	Ta = 573,2	x _{CO2} = 0,1717	x _{H2O} = 0,1339
x _{N2} = 0,6944	Z = 1		

DATOS DE ENTRADA DE LA BIOMASA

Proyecto: CASCARROZ

Fracción másica

Análisis último del proyecto

$$C\% = 34,62$$

$$H\% = 4,58$$

$$O\% = 37,61$$

$$N\% = 0,87$$

$$f_{mC} = \frac{C\%}{100}$$

$$f_{mH} = \frac{H\%}{100}$$

$$f_{mO} = \frac{O\%}{100}$$

$$f_{mN} = \frac{N\%}{100}$$

$$f_{m\text{total}} = f_{mC} + f_{mH} + f_{mO} + f_{mN}$$

$$m_{\text{biomasa}} = 500$$

$$M_{\text{molC}} = 12$$

$$M_{\text{molH}} = 1$$

$$M_{\text{molO}} = 16$$

$$M_{\text{molN}} = 14$$

$$N_{\text{molC}} = m_{\text{biomasa}} \cdot f_{mC} \cdot \frac{1}{M_{\text{molC}}}$$

$$N_{\text{molH}} = m_{\text{biomasa}} \cdot f_{mH} \cdot \frac{1}{M_{\text{molH}}}$$

$$N_{\text{molO}} = m_{\text{biomasa}} \cdot f_{mO} \cdot \frac{1}{M_{\text{molO}}}$$

$$N_{\text{molN}} = m_{\text{biomasa}} \cdot f_{mN} \cdot \frac{1}{M_{\text{molN}}}$$

$$a = N_{\text{molC}}$$

$$b = N_{\text{molH}}$$

$$c = N_{\text{molO}}$$

$$d = N_{\text{molN}}$$

$$a = n_2$$

$$b = 2 \cdot n_1$$

$$c + 2 \cdot e = n_1 + 2 \cdot n_2$$

$$d + 7,52 \cdot e = 2 \cdot n_3$$

Masa de aire teorico

$$m_{\text{aire}_{\text{teo}}} = e \cdot (M_{\text{molN}} \cdot 2 \cdot 3,76 + 2 \cdot M_{\text{molO}})$$

$$n_1 = N_{\text{mol;co}_2}$$

$$n_2 = N_{\text{mol;h}_2\text{o}}$$

$$n_3 = N_{\text{mol;n}_2}$$

$$M_{\text{mol;co}_2} = M_{\text{molC}} + 2 \cdot M_{\text{molO}}$$

$$M_{\text{mol;h}_2\text{o}} = 2 \cdot M_{\text{molH}} + M_{\text{molO}}$$

$$M_{\text{mol;n}_2} = 2 \cdot M_{\text{molN}}$$

$$N_{\text{mol;co}_2} = m_{\text{co}_2} \cdot \frac{1}{M_{\text{mol;co}_2}}$$

$$N_{\text{mol;h}_2\text{o}} = m_{\text{h}_2\text{o}} \cdot \frac{1}{M_{\text{mol;h}_2\text{o}}}$$

$$N_{\text{mol;n}_2} = m_{\text{n}_2} \cdot \frac{1}{M_{\text{mol;n}_2}}$$

Porcentajes masicos

$$M_{\text{tot}_{\text{base;humedad}}} = m_{\text{co}_2} + m_{\text{n}_2} + m_{\text{h}_2\text{o}}$$

Flujo Másico

$$\text{Flujom}_{\text{bio}} = \frac{m_{\text{biomasa}}}{1000 \cdot \text{Dt}} \quad (\text{Kg/min})$$

$$\text{Dt} = 10 \quad \text{minutos}$$

Densidad gas ideal

$$M = M_{\text{mol;co}_2} \cdot X_{\text{CO}_2} + M_{\text{mol;h}_2\text{o}} \cdot X_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{mol;n}_2} \cdot X_{\text{N}_2} \quad \text{Masa molar de la mezcla}$$

$$P_{\text{atm}} = 101,325 \cdot 1000 \quad (\text{pa})$$

$$P_{\text{atmpsi}} = 14,6959$$

$$R_u = 8,31448 \quad \text{Constante universal de los gases (j/mol*k)}$$

$$T_a = 300 + 273,15 \quad (^\circ\text{C})$$

$$d_{ideal} = \frac{M}{1000} \cdot \frac{P_{atm}}{R_u \cdot T_a}$$

$$n_{tot} = n_1 + n_2 + n_3$$

$$x_{CO_2} = \frac{n_2}{n_{tot}}$$

$$x_{H_2O} = \frac{n_1}{n_{tot}}$$

$$x_{N_2} = \frac{n_3}{n_{tot}}$$

Compresibilidad Z

$$Z = 1 \quad \text{Gas ideal}$$

Densidad real

$$densi_{real} = \frac{d_{ideal}}{Z}$$

Flujo de gases

$$Fluj = \frac{m_{productos}}{densi_{real} \cdot Dt}$$

$$m_{productos} = \frac{M_{mol,co_2} \cdot n_2 + M_{mol,h_2o} \cdot n_1 + M_{mol,n_2} \cdot n_3}{1000}$$

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

a = 14,43	b = 22,9	c = 11,75	C% = 34,62
d = 0,3107	densi _{real} = 0,6264	Dt = 10	d _{ideal} = 0,6264
e = 14,27	Fluj = 0,3748	Flujom _{bio} = 0,05	fm _C = 0,3462
fm _H = 0,0458	fm _N = 0,0087	fm _O = 0,3761	fm _{total} = 0,7768
H% = 4,58	M = 29,46	maire _{teo} = 1959	M _{tot} _{base,humedad} = 2271
m _{biomasa} = 500	m _{co2} = 503,8	m _{h2o} = 259,7	M _{molC} = 12
M _{molH} = 1	M _{molN} = 14	M _{molO} = 16	M _{mol,co2} = 44
M _{mol,h2o} = 18	M _{mol,n2} = 28	m _{n2} = 1507	m _{productos} = 2,348
N% = 0,87	n1 = 11,45	n2 = 14,43	n3 = 53,82
N _{molC} = 14,43	N _{molH} = 22,9	N _{molN} = 0,3107	N _{molO} = 11,75
N _{mol,co2} = 11,45	N _{mol,h2o} = 14,43	N _{mol,n2} = 53,82	n _{tot} = 79,7
O% = 37,61	P _{atm} = 101325	P _{atmpsi} = 14,7	R _u = 8,314
T _a = 573,2	x _{CO2} = 0,181	x _{H2O} = 0,1437	x _{N2} = 0,6753
Z = 1			

Anexo B. Cálculos y resultados sistema de extracción de gases

AUTORES: FEDERICO ARTURO ACOSTA BÁEZ

MARÍA FERNANDA CUÉLLAR ARCINIEGAS

CÁLCULOS SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES

Caudal total de extracción

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{fuente}} + Q_{\text{Ambiente}}$$

$$Q_{\text{Ambiente}} = V_c \cdot A_{\text{campana}}$$

Caudal de la fuente experimental

$$Q_{\text{fuente}} = 0,00828 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

Velocidad de captación a la entrada de la campana

$$V_c = 0,3 \text{ [m/s]}$$

Área de la campana

$$A_{\text{campana}} = L \cdot W$$

Largo de la campana

$$L = 1,1 \text{ [m]}$$

$$W = 0,75 \text{ [m]}$$

$$D_{\text{ducto}_{\text{real}}} = 0,2 \text{ [m]}$$

$$A_{\text{ducto}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{ducto}_{\text{real}}}^2}{4}$$

$$V_{\text{real}_{\text{ducto}}} = \frac{Q_{\text{total}}}{A_{\text{ducto}}}$$

$$V_{\text{real}_{\text{ducto}}} = \frac{Q_{\text{total}}}{A_{\text{ducto}}}$$

Altura del plenum real

$$H_{\text{preal}} = \frac{L - D_{\text{ducto}_{\text{real}}}}{2}$$

PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE LOS CONDUCTOS

densidad estándar para el aire

$$P_{\text{air}_{\text{est}}} = \frac{P_{\text{air}} \cdot R_{\text{air}} \cdot T_{\text{air}}}{M_{\text{air}_{\text{mol}}}}$$

$$T_{\text{air}} = 20 + 273 \text{ [K]}$$

$$P_{\text{air}_{\text{est}}} = 1 \text{ [atm]}$$

$$P_{\text{air}_{\text{estP}}} = 101,325 \text{ [kPa]}$$

$$R_{\text{air}} = 0,082 \text{ [L*atm/mol*K]}$$

$$M_{\text{air}_{\text{mol}}} = 28,8 \text{ [mol]}$$

Densidad estándar para el aire de Bucaramanga

$$P_{\text{air}_{\text{bga}}} = 91,99 \text{ [kPa]}$$

$$T_{\text{bga}} = 27 + 273 \text{ [K]}$$

$$\rho_{\text{bga}} = \rho_{\text{air}} \cdot \frac{P_{\text{air}_{\text{bga}}}}{P_{\text{air}_{\text{estP}}}} \cdot \frac{T_{\text{air}}}{T_{\text{bga}}}$$

Velocidad de salida del filtro, tramo 3

$$Q_{\text{total}} = V_{\text{duc3}} \cdot A_{\text{cond3}}$$

$$D_{\text{cond3}} = 0,18 \text{ [m]}$$

$$A_{\text{cond3}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{cond3}}^2}{4}$$

Velocidad de descarga, salida del ventilador, tramo 4 y 5

$$Q_{\text{total}} = V_{\text{duc;desc}} \cdot A_{\text{cond;desc}}$$

$$D_{\text{equiv}} = 0,142 \text{ [m]}$$

$$A_{\text{cond;desc}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{equiv}}^2}{4}$$

PRESIÓN DINÁMICA EN LOS TRAMOS DE SECCIÓN CIRCULAR

Presión dinámica en el conducto, tramo 1 y 2

$$PDC = \rho_{\text{bga}} \cdot \left[\frac{V_{\text{real}_{\text{ducto}}}}{4,43} \right]^2$$

Presión dinámica en el conducto, tramo 3

$$PDC_3 = \rho_{\text{bga}} \cdot \left[\frac{V_{\text{duc3}}}{4,43} \right]^2$$

Presión dinámica en el conducto, tramo 4 y 5

$$PDC_{\text{desc}} = \rho_{\text{bga}} \cdot \left[\frac{V_{\text{duc;desc}}}{4,43} \right]^2$$

ANALISIS EN LA CAMPANA

Factor de carga en la campana

$$F_c = 0,25$$

Factor de aceleración (para entrada)

$$F_a = 1$$

Presión estática de la campana

$$PE_c = (F_c + F_a) \cdot PD_c$$

coeficiente de entrada de la campana

$$CE_c = \left[\frac{PD_c}{PE_c} \right]^{(1/2)}$$

ANALISIS DE PÉRDIDAS EN LOS DUCTOS CIRCULARES

Método de cálculo de PRESIÓN DINÁMICA, con la ec de Darcy-Weisback con L.F Moody

Reynold para sección circular con diámetro de 0,2m

$$Re_{cir} = \frac{\rho_{bga} \cdot V_{real\ ducto} \cdot D_{ducto\ real}}{\mu}$$

Reynold para sección circular con diámetro de 0,18m

$$Re_{cir,2} = \frac{\rho_{bga} \cdot V_{duc3} \cdot D_{cond3}}{\mu}$$

Reynold para sección circular con diámetro de 0,142 m de descarga

$$Re_{cir,desc} = \frac{\rho_{bga} \cdot V_{duc;desc} \cdot D_{equiv}}{\mu}$$

Viscosidad dinámica por tabla

$$\mu = 0,00001845 \text{ [N*s/m}^2\text{]}$$

Perdida de carga en conductos

$$h_1 = f_{cir} \cdot \frac{L_{tramo1}}{D_{ducto\ real}} \cdot PD_c$$

$$h_2 = f_{cir} \cdot \frac{L_{tramo2}}{D_{ducto\ real}} \cdot PD_c$$

$$h_3 = f_{cir} \cdot \frac{L_{tramo3}}{D_{cond3}} \cdot PD_{c3}$$

$$h_4 = f_{cir;desc} \cdot \frac{L_{tramo4}}{D_{equiv}} \cdot PD_{c;desc}$$

$$h_5 = f_{cir;desc} \cdot \frac{L_{tramo5}}{D_{equiv}} \cdot PD_{c;desc}$$

f: Factor de fricción del diagrama de moody

$$f_{cir} = 0,021444 \quad [\text{factor-de fricción-para-día}]$$

$$f_{cir} = 0,0215 \quad [\text{factor-de fricción-para-día}]$$

$$f_{cir,desc} = 0,02184 \quad [\text{factor-de fricción-para-día}]$$

Factor de pérdidas para el codo de 90°, sección circular°

$$N_{codo1} = 0,27$$

$$h_{codo1} = N_{codo1} \cdot PDC$$

Longitud de los tramos circulares

$$L_{tramo1} = 0,8012 \quad [m]$$

$$L_{tramo2} = 0,84 \quad [m]$$

$$L_{tramo3} = 0,5 \quad [m]$$

$$L_{tramo4} = 0,4 \quad [m]$$

$$L_{tramo5} = 2,5 \quad [m]$$

Perdida para el filtro 12x12x4 VARICEL 2+ SC

$$h_{f,ent} = 7,874 \quad [mmcda]$$

$$h_{f,sal} = 38,099 \quad [mmcda]$$

Sistemas de transición, rectangulares a redondos, de escape / retorno

$$N_{trans} = 0,08675$$

$$h_{trans} = PDC_{desc} \cdot N_{trans}$$

Factor de pérdidas para el codo de 90°, sección circular con diametro equivalente

$$N_{codo_{desc}} = 0,2378$$

$$h_{od,desc} = N_{codo_{desc}} \cdot PDC_{desc}$$

Perdida de sobrete spiro

$$h_{sobrete} = 28,552 \quad [mmcda]$$

PERDIDAS TOTALES DEL SISTEMA

$$h_{perd_{total}} = PEc + h1 + h2 + h3 + h_{codo1} + h_{f,ent} + h_{f,sal} + h4 + h5 + h_{trans} + 2 \cdot h_{od,desc} + h_{sobrete}$$

PARA SELECCION DE VENTILADOR

Ley de ventiladores

$$h_{perd_{total}} = P_{air_{standventilador}} \cdot \frac{P_{bga}}{P_{air}}$$

Correccion de caudal

$$\frac{T_{air}}{Pair_{estP} \cdot Q_{standventilador}} = \frac{T_{bga}}{Pair_{bga} \cdot Q_{total}}$$

MODELO CMP- 718-2M

$$ne = 0,335$$

Potencia requerida para extraer los gases, estandar

$$Pot_{vent;est} = \frac{Q_{standventilador} \cdot Pair_{standventilador}}{102 \cdot ne}$$

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$$A_{ducto} = 0,03142 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{cond3} = 0,02545 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$CEc = 0,8944$$

$$D_{cond3} = 0,18 \text{ [m]}$$

$$Fa = 1$$

$$f_{cir} = 0,02144 \text{ [(factor de fricción para diámetro)]}$$

$$f_{cir,desc} = 0,02184 \text{ [(factor de fricción para diámetro)]}$$

$$h_2 = 0,3233 \text{ [mmcda]}$$

$$h_4 = 0,8692 \text{ [mmcda]}$$

$$h_{perd_{total}} = 94,91 \text{ [mmcda]}$$

$$h_{cd,desc} = 3,36 \text{ [kg/m]}$$

$$h_{f,ent} = 7,874 \text{ [mmcda]}$$

$$h_{sombrete} = 28,55 \text{ [mmcda]}$$

$$L = 1,1 \text{ [m]}$$

$$L_{tramo2} = 0,84 \text{ [m]}$$

$$L_{tramo4} = 0,4 \text{ [m]}$$

$$Mair_{mol} = 28,8 \text{ [mol]}$$

$$Ncodo1 = 0,27$$

$$ne = 0,335$$

$$Pair_{bga} = 91,99 \text{ [kPa]}$$

$$Pair_{estP} = 101,3 \text{ [kPa]}$$

$$PDc = 3,59 \text{ [mmcda]}$$

$$PDc_{desc} = 14,13 \text{ [mmcda]}$$

$$Pot_{vent,est} = 0,7104 \text{ [Kw]}$$

$$Q_{fuente} = 0,00828 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_{total} = 0,2558 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Re_{cir,2} = 104229 \text{ [kg-m}^3\text{/s}^2\text{-N]}$$

$$\rho_{air} = 1,199 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$R_{air} = 0,082 \text{ [L*atm/mol*K]}$$

$$T_{bga} = 300 \text{ [K]}$$

$$V_c = 0,3 \text{ [m/s]}$$

$$V_{duc,desc} = 16,15 \text{ [m/s]}$$

$$A_{campana} = 0,825 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{cond,desc} = 0,01584 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$D_{ducto_{real}} = 0,2 \text{ [m]}$$

$$D_{equiv} = 0,142 \text{ [m]}$$

$$F_c = 0,25$$

$$f_{cir} = 0,0215 \text{ [(factor de fricción para diámetro)]}$$

$$h_1 = 0,03084 \text{ [mmcda]}$$

$$h_3 = 0,3268 \text{ [mmcda]}$$

$$h_5 = 5,432 \text{ [mmcda]}$$

$$H_{preal} = 0,45 \text{ [m]}$$

$$h_{codo1} = 0,9693 \text{ [mmcda]}$$

$$h_{f,sal} = 38,1 \text{ [mmcda]}$$

$$h_{trans} = 1,226 \text{ [kg/m]}$$

$$L_{tramo1} = 0,08012 \text{ [m]}$$

$$L_{tramo3} = 0,5 \text{ [m]}$$

$$L_{tramo5} = 2,5 \text{ [m]}$$

$$\mu = 0,00001845 \text{ [N*s/m}^2\text{]}$$

$$Ncodo_{desc} = 0,2378$$

$$N_{trans} = 0,08675$$

$$Pair_{est} = 1 \text{ [atm]}$$

$$Pair_{standventilador} = 107 \text{ [mmcda]}$$

$$PDc_3 = 5,472 \text{ [mmcda]}$$

$$PEc = 4,488 \text{ [mmcda]}$$

$$Q_{Ambiente} = 0,2475 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_{standventilador} = 0,2268 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Re_{cir} = 93806 \text{ [kg-m}^3\text{/s}^2\text{-N]}$$

$$Re_{cir,desc} = 132121 \text{ [kg-m}^2\text{/N-s]}$$

$$\rho_{bga} = 1,063 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$T_{air} = 293 \text{ [K]}$$

$$V_{realducto} = 8,142 \text{ [m/s]}$$

$$V_{duc3} = 10,05 \text{ [m/s]}$$

$$W = 0,75 \text{ [m]}$$

Anexo C. Cálculos y resultados prototipo de sistema de extracción de gases

AUTORES: FEDERICO ARTURO ACOSTA BÁEZ
MARÍA FERNANDA CUÉLLAR ARCNEGAS

CALCULOS PROTOTIPO SISTEMA DE EXTRACCIÓN

Caudal total de extracción

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{fuente}} + Q_{\text{Ambiente}}$$

$$Q_{\text{Ambiente}} = V_c \cdot A_{\text{campana}}$$

Caudal de la fuente experimental por un factor de seguridad

$$Q_{\text{fuente}} = Q_{\text{fuenteexp}} \cdot N$$

Caudal de la fuente experimental

$$Q_{\text{fuenteexp}} = 0,0016528 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

Factor de seguridad

$$N = 1$$

Velocidad de captación a la entrada de la campana

$$V_c = 0,3 \text{ [m/s]}$$

Área de la campana

$$A_{\text{campana}} = L \cdot W$$

Largo de la campana

$$L = 0,4 \text{ [m]}$$

Ancho de la campana

$$W = 0,25 \text{ [m]}$$

Cálculo del diámetro del ducto

$$D_{\text{ducto}} = \left[\frac{4 \cdot Q_{\text{total}}}{V_{\text{trans}} \cdot \pi} \right]^{(1/2)}$$

$$D_{\text{ducto}} = 0,072 \text{ [m]}$$

Altura del plenum

$$H_p = \frac{L - D_{\text{ducto}}}{2}$$

PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE LOS CONDUCTOS

densidad estándar para el aire

$$P_{\text{air est}} = \frac{P_{\text{air}} \cdot R_{\text{air}} \cdot T_{\text{air}}}{M_{\text{air mol}}}$$

$$T_{air} = 20 + 273 \text{ [K]}$$

$$P_{air_{est}} = 1 \text{ [atm]}$$

$$P_{air_{estP}} = 101,325 \text{ [kPa]}$$

$$R_{air} = 0,082 \text{ [L*atm/mol*K]}$$

$$M_{air_{mol}} = 28,8 \text{ [mol]}$$

densidad estándar para el aire de bucaramanga

$$P_{air_{bga}} = 91,99 \text{ [kPa]}$$

$$T_{bga} = 27 + 273 \text{ [K]}$$

$$\rho_{bga} = \rho_{air} \cdot \frac{P_{air_{bga}}}{P_{air_{estP}}} \cdot \frac{T_{air}}{T_{bga}}$$

presión dinámica en el conducto

$$PDC = \rho_{bga} \cdot \left[\frac{V_{trans}}{4,43} \right]^2$$

Velocidad de salida en el ventilador

$$Q_{total} = V_{duc;desc} \cdot A_{desc}$$

$$A_{desc} = \frac{\pi \cdot D_{equiv}^2}{4}$$

Diametro equivalente

Area ducto cuadrada

$$X = 60 \text{ [mm]}$$

$$y = 60 \text{ [mm]}$$

$$A_{cond;cu} = X \cdot y$$

$$D_{equiv} = \frac{1,3 \cdot (X \cdot y)^{0,625}}{(X + y)^{0,25} \cdot 1000} \text{ [m]}$$

Presión dinamica en el conducto de descarga

$$PDC_{desc} = \rho_{bga} \cdot \left[\frac{V_{duc;desc}}{4,43} \right]^2$$

ANALISIS EN LA CAMPANA

Factor de carga en la campana

$$F_c = 0,25$$

Factor de aceleración (para entrada)

$$F_a = 1$$

Presión estática de la campana

$$P_{Ec} = (F_c + F_a) \cdot P_{Dc}$$

coeficiente de entrada de la campana

$$C_{Ec} = \left[\frac{P_{Dc}}{P_{Ec}} \right]^{(1/2)}$$

ANÁLISIS DE PÉRDIDAS EN LOS DUCTOS CIRCULARES

Método de cálculo de PRESIÓN DINÁMICA, con la ec de Darcy-Weisback con L.F Moody

Reynold para sección circular con diámetro de 0,075m

$$Re_{cir} = \frac{\rho_{bga} \cdot V_{trans} \cdot D_{ducto}}{\mu}$$

Reynold para sección circular con diámetro de 0,066 m de descarga

$$Re_{cir,desc} = \frac{\rho_{bga} \cdot V_{duc,desc} \cdot D_{equiv}}{\mu}$$

Viscosidad dinámica por tabla

$$\mu = 0,00001845 \text{ [N*s/m}^2\text{]}$$

Perdida de carga en conductos

$$h_1 = f_{cir} \cdot \frac{L_{tramo1}}{D_{ducto}} \cdot P_{Dc}$$

$$h_2 = f_{cir} \cdot \frac{L_{tramo2}}{D_{ducto}} \cdot P_{Dc}$$

$$h_3 = f_{cir} \cdot \frac{L_{tramo3}}{D_{equiv}} \cdot P_{Dc,desc}$$

f. Factor de fricción del diagrama de moody

$$f_{cir} = 0,02798 \text{ [factor de fricción para día]}$$

$$f_{cir} = 0,02807 \text{ [factor de fricción para día]}$$

Longitud de los tramos

$$L_{tramo1} = 0,08 \text{ [m]}$$

$$L_{tramo2} = 0,3 \text{ [m]}$$

$$L_{tramo3} = 0,4 \text{ [m]}$$

Factor de pérdidas para el codo de 90°, sección 0,075°

$$N_{\text{codo1}} = 0,3005$$

$$h_{\text{codo1}} = N_{\text{codo1}} \cdot P_{Dc}$$

Sistemas de transición, rectangulares a redondos- escape

$$N_{\text{trans}} = 0,09$$

$$h_{\text{trans}} = P_{Dc_{\text{desc}}} \cdot N_{\text{trans}}$$

Factor de pérdidas para el codo de 90°, sección diametro equivalente 0,066°

$$N_{\text{codo2}} = 0,27$$

$$h_{\text{codo2}} = N_{\text{codo1}} \cdot P_{Dc_{\text{desc}}}$$

PERDIDAS TOTALES DEL SISTEMA

$$h_{\text{perd}_{\text{total}}} = P_{Ec} + h_1 + h_{\text{codo1}} + h_2 + h_{\text{trans}} + h_{\text{codo2}} + h_3$$

PARA SELECCION DE VENTILADOR

Ley de ventiladores

$$h_{\text{perd}_{\text{total}}} = P_{\text{air}_{\text{standventilador}}} \cdot \frac{P_{\text{bga}}}{P_{\text{air}}}$$

Correccion de caudal

$$\frac{T_{\text{air}}}{P_{\text{air}_{\text{estP}}} \cdot Q_{\text{standventilador}}} = \frac{T_{\text{bga}}}{P_{\text{air}_{\text{bga}}} \cdot Q_{\text{total}}}$$

MODELO CMP- 718-2M

$$n_e = 0,335$$

Potencia requerida para extraer los gases, estandar

$$Pot_{\text{vent;est}} = \frac{Q_{\text{standventilador}} \cdot P_{\text{air}_{\text{standventilador}}}}{102 \cdot n_e}$$

$$A_{\text{campana}} = 0,1 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$D_{\text{ducto}} = 0,072 \text{ [m]}$$

$$f_{\text{cir}} = 0,02798 \text{ [factor de fricción para diámetro]}$$

$$h_3 = 0,8136$$

$$h_{\text{codo2}} = 1,428 \text{ [mmcda]}$$

$$L_{\text{tramo2}} = 0,3 \text{ [m]}$$

$$N = 1$$

$$N_{\text{trans}} = 0,09$$

$$P_{\text{airstandventilador}} = 9,28 \text{ [mmcda]}$$

$$P_{\text{otvent,est}} = 0,007622 \text{ [Kw]}$$

$$Q_{\text{standventilador}} = 0,02807 \text{ [mmcda]}$$

$$\rho_{\text{air}} = 1,199 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$T_{\text{bga}} = 300 \text{ [K]}$$

$$W = 0,25 \text{ [m]}$$

$$A_{\text{desc}} = 0,003379 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_a = 1$$

$$h_1 = 0,1018 \text{ [mmcda]}$$

$$h_{\text{perdtotal}} = 8,228 \text{ [mmcda]}$$

$$L = 0,4 \text{ [m]}$$

$$M_{\text{airmol}} = 28,8 \text{ [mol]}$$

$$N_{\text{codo2}} = 0,27$$

$$P_{\text{air,est}} = 1 \text{ [atm]}$$

$$P_{\text{DCdesc}} = 4,753 \text{ [mmcda]}$$

$$Q_{\text{fuente}} = 0,001653 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Re_{\text{cir}} = 32246 \text{ [kg}\cdot\text{m}^3\text{/s}^2\text{-N]}$$

$$R_{\text{air}} = 0,082 \text{ [L}\cdot\text{atm/mol}\cdot\text{K]}$$

$$V_{\text{duc,desc}} = 9,368 \text{ [m/s]}$$

$$y = 60 \text{ [mm]}$$

$$A_{\text{cond,cu}} = 3600 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$D_{\text{equiv}} = 0,06559 \text{ [m]}$$

$$f_{\text{cir}} = 0,02807 \text{ [factor de fricción para diámetro]}$$

$$H_p = 0,164 \text{ [m]}$$

$$h_{\text{trans}} = 0,4278 \text{ [mmcda]}$$

$$L_{\text{tramo3}} = 0,4 \text{ [m]}$$

$$N_{\text{codo1}} = 0,3005$$

$$P_{\text{airbga}} = 91,99 \text{ [kPa]}$$

$$P_{\text{DC}} = 3,273 \text{ [mmcda]}$$

$$Q_{\text{Ambiente}} = 0,03 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_{\text{total}} = 0,03165 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$\rho_{\text{bga}} = 1,063 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$V_c = 0,3 \text{ [m/s]}$$

$$X = 60 \text{ [mm]}$$

$$CE_c = 0,8944$$

$$F_c = 0,25$$

$$h_2 = 0,3816$$

$$h_{\text{codo1}} = 0,9836 \text{ [mmcda]}$$

$$L_{\text{tramo1}} = 0,08 \text{ [m]}$$

$$\mu = 0,00001845 \text{ [N}\cdot\text{s/m}^2\text{]}$$

$$n_e = 0,335$$

$$P_{\text{air,estP}} = 101,3 \text{ [kPa]}$$

$$PE_c = 4,092 \text{ [mmcda]}$$

$$Q_{\text{fuenteexp}} = 0,001653 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Re_{\text{cir,desc}} = 35397 \text{ [kg}\cdot\text{m}^3\text{/s}^2\text{-N]}$$

$$T_{\text{air}} = 293 \text{ [K]}$$

$$V_{\text{trans}} = 7,774 \text{ [m/s]}$$

Anexo D. Cálculo de la velocidad promedio.

#	Velocidad [m/s]
1	0,29
2	0,31
3	0,29
4	0,29
5	0,31
6	0,31
7	0,29
8	0,31
9	0,34
10	0,36
11	0,38
12	0,31
13	0,29
14	0,31
15	0,38
16	0,36
17	0,34
18	0,36
19	0,42
20	0,43
21	0,29
22	0,36
23	0,36
24	0,34
25	0,34
26	0,36
27	0,34
28	0,29
29	0,36
30	0,34
31	0,36
32	0,43
33	0,45
34	0,36
35	0,34
36	0,31
37	0,34
38	0,34
39	0,45
40	0,41
41	0,38
42	0,31
43	0,31
44	0,36
45	0,36
46	0,32
47	0,41

48	0,38
49	0,29
50	0,36
51	0,36
52	0,38
53	0,41
54	0,43
55	0,36
56	0,29
57	0,34
58	0,34
59	0,29
60	0,29
61	0,29
62	0,31
63	0,31
64	0,29
65	0,29
66	0,29
67	0,29
68	0,31
69	0,31
70	0,29
PROMEDIO	0,34

Anexo E. Gama de valores mínimos de las velocidades de transporte

Gases, vapores		5 a 6(*)
Humos	Humos de óxido de zinc y de aluminio.	7 a 10(*)
Polvos muy finos y ligeros	Felpas muy finas de algodón.	10 a 13
Polvos secos y pólvoras	Polvos finos de caucho, de baquelita; felpas de yute; polvos de algodón, de jabón.	13 a 18
Polvos industriales medios	Abrasivo de lijado en seco; polvos de amolar; polvos de yute, de grafito; corte de briquetas, polvos de arcilla, de calcáreo; embalaje o pesada de amianto en las industrias textiles.	18 a 20
Polvos pesados	Polvo de toneles de enarenado y desmoldeo, de chorreado, de escariado.	20 a 23
Polvos pesados o húmedos	Polvos de cemento húmedo, de corte de tubos de amianto-cemento, de cal viva.	>23
(*)Generalmente se adoptan velocidades de 10 m/s		o transporte neumático húmedo

Fuente. Manual práctico de ventilación: Soler & Palau: p.25: 2012.

Anexo F. Valor de viscosidad dinámica

Propiedades de aire a presión atmosférica				
<i>Temperatura</i> $T(^{\circ}\text{C})$	<i>Densidad</i> $\rho(\text{kg/m}^3)$	<i>Viscosidad</i> $\mu(\text{N} \cdot \text{s/m}^2)$	<i>Viscosidad cinemática</i> $\nu(\text{m}^2/\text{s})$	<i>Velocidad del sonido</i> $c(\text{m/s})$
-30	1.452	1.56×10^{-5}	1.08×10^{-5}	312
-20	1.394	1.61	1.16	319
-10	1.342	1.67	1.24	325
0	1.292	1.72	1.33	331
10	1.247	1.76	1.42	337
20	1.204	1.81	1.51	343
30	1.164	1.86	1.60	349
40	1.127	1.91	1.69	355
50	1.092	1.95	1.79	360
60	1.060	2.00	1.89	366
70	1.030	2.05	1.99	371
80	1.000	2.09	2.09	377
90	0.973	2.13	2.19	382
100	0.946	2.17	2.30	387
200	0.746	2.57	3.45	436
300	0.616	2.93×10^{-5}	4.75×10^{-5}	480

Fuente. POTTER, Merle C; WIGGERT, David C. Mecánica de fluidos: Tercera Edición: Editorial Thomson: p.770.

Anexo G. Espesor de las paredes de conductos de acero y aluminio.

<i>Calibre</i>	<i>Espesor nominal (mm)</i>			
	<i>Acero al carbón</i>		<i>Acero Inoxidable</i>	<i>Aluminio</i>
	<i>Galvanizado</i>	<i>No galvanizado</i>	<i>(304 ó 316)</i>	<i>3003-H144</i>
28	0.46	0.36	0.38	0.61
26	0.53	0.44	0.46	0.78
24	0.67	0.58	0.61	0.98
22	0.82	0.73	0.76	1.22
20	0.97	0.88	0.92	1.54
18	1.26	1.17	1.22	1.95
16	1.55	1.46	1.53	2.20
14	1.92	1.82	1.91	---
12	2.64	2.55	2.67	---
10	3.37	3.28	3.43	---

Fuente. ECHEVERRI, Carlos. Ventilación Industrial: 1ª edición: Universidad de Medellín, p.95; 2011.

DIMENSIONES Y PESOS DE LAMINAS DE ACERO GALVANIZADAS								
CALIBRE	MILÍMETRO	M2	1.0 X 2.0	1.0 X 3.0	1.0 X 6.0	1.2 X 1.0	1.20 X 2.44	1.22 X 2.44
		Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
20	0,90	7,28	14,57	21,85	43,71	8,74	21,33	21,69
19	1,06	8,60	17,19	25,79	51,58	10,32	25,17	25,59
18	1,20	9,69	1,39	29,08	58,17	11,63	28,39	28,86
17	1,37	11,04	22,09	33,13	66,27	13,25	32,34	32,88
16	1,50	12,05	24,10	36,15	72,30	14,46	35,28	35,87
15	1,71	13,73	27,46	41,19	82,37	16,47	40,20	40,87
14	1,90	15,19	30,38	45,57	91,14	16,23	44,48	45,22
13	2,28	18,21	36,42	54,64	109,27	21,85	53,32	54,21
12	2,50	19,90	39,79	59,69	119,37	23,87	58,25	59,22
11	3,00	23,75	47,49	71,24	142,47	28,49	69,53	70,68

Fuente. Catálogo de productos AGOFER.

Anexo H. Coeficientes de pérdida de carga para codos de 90°



	R / D				
	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50
Stamped	0.33	0.22	0.15	0.13	0.12
5-piece	0.46	0.33	0.24	0.19	0.17*
4-piece	0.50	0.37	0.27	0.24	0.23*
3-piece	0.54	0.42	0.34	0.33	0.33*

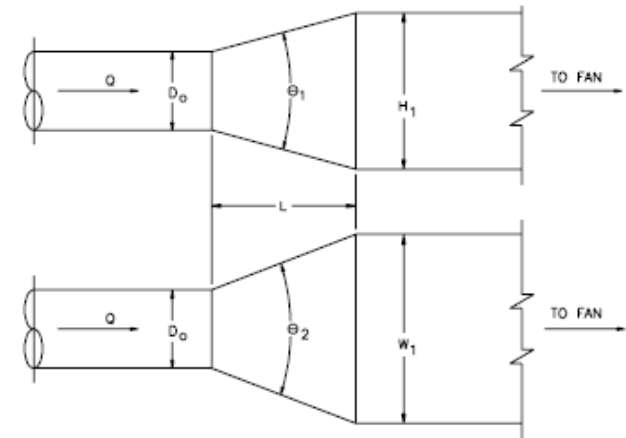
* extrapolated from published data

Fuente. Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH): 27 Edición, p.9-51; 2010.

Anexo I. Sistemas de transición, redondos a rectangulares

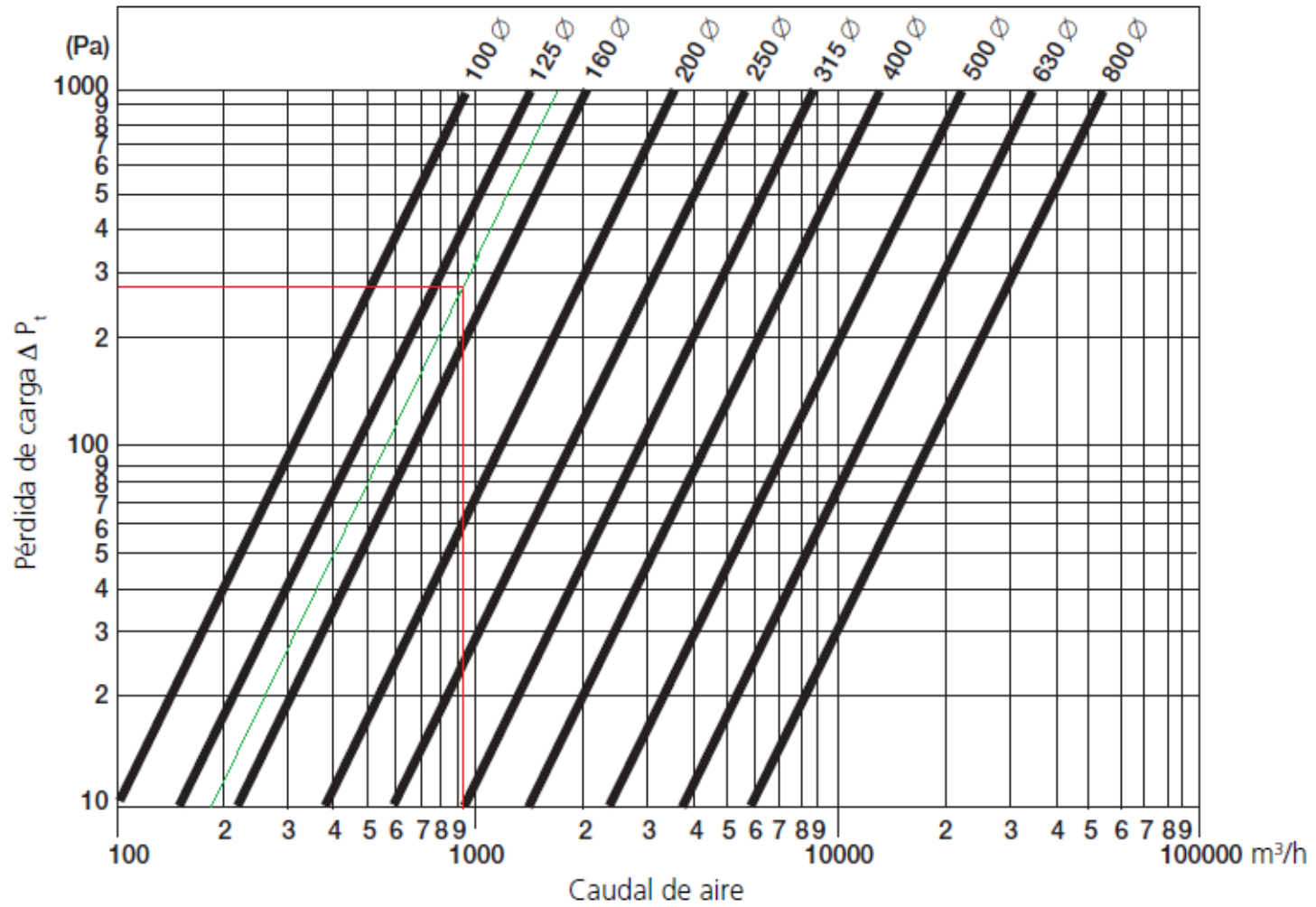
ED4-2 Transition, Round to Rectangular, Exhaust/Return Systems

A_0/A_1	C_o Values									
	θ									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.06	0.30	0.54	0.53	0.65	0.77	0.88	0.95	0.98	0.98	0.93
0.10	0.30	0.50	0.53	0.64	0.75	0.84	0.89	0.91	0.91	0.88
0.25	0.25	0.36	0.45	0.52	0.58	0.62	0.64	0.64	0.64	0.64
0.50	0.15	0.21	0.25	0.30	0.33	0.33	0.33	0.32	0.31	0.30
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.24	0.28	0.26	0.20	0.22	0.24	0.49	0.73	0.97	1.04
4.00	0.89	0.78	0.79	0.70	0.88	1.12	2.72	4.33	5.62	6.58
6.00	1.89	1.67	1.59	1.49	1.98	2.52	6.51	10.14	13.05	15.14
10.00	5.09	5.32	5.15	5.05	6.50	8.05	19.06	29.07	37.08	43.05



Fuente. ASHRAE Handbook- HVAC Applications (SI); p.34.59; 2017.

Anexo J. Gráfico de pérdida de carga de sombrete



Fuente. Catálogo SPIRO ® system: p.155.

Anexo K. Parámetros de valor de informe de eficiencia mínima (MERV) de los filtros

Norma 52.2 Valor de Informe de Eficiencia Mínima (MERV)	Eficiencia de Tamaño de Partícula Promedio Compuesto, μm			Arrestancia Promedio, %, por el Método de la Norma 52.1	Resistencia Final Mínima, pulg. de agua (Pa)
	Margen 1 0.30–1	Margen 2 1.0–3.0	Margen 3 3.0–10.0		
1	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$A_{prom} < 65$	0.3 (75)
2	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$65 \leq \text{prom} < 70$	0.3 (75)
3	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$70 \leq \text{prom} < 70$	0.3 (75)
4	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$75 \leq A_{prom}$	0.3 (75)
5	N/A	N/A	$20 \leq E_3 < 35$	N/A	0.6 (150)
6	N/A	N/A	$35 \leq E_3 < 50$	N/A	0.6 (150)
7	N/A	N/A	$50 \leq E_3 < 70$	N/A	0.6 (150)
8	N/A	N/A	$70 \leq E_3$	N/A	0.6 (150)
9	N/A	$E_2 < 50$	$85 \leq E_3$	N/A	1.0 (250)
10	N/A	$50 \leq E_2 < 65$	$85 \leq E_3$	N/A	1.0 (250)
11	N/A	$65 \leq E_2 < 80$	$85 \leq E_3$	N/A	1.0 (250)
12	N/A	$80 \leq E_2$	$90 \leq E_3$	N/A	1.0 (250)
13	$E_1 < 75$	$90 \leq E_1$	$90 \leq E_3$	N/A	1.4 (350)
14	$75 \leq E_1 < 85$	$90 \leq E_2$	$90 \leq E_3$	N/A	1.4 (350)
15	$85 \leq E_1 < 95$	$90 \leq E_2$	$90 \leq E_3$	N/A	1.4 (350)
16	$95 \leq E_1$	$95 \leq E_2$	$95 \leq E_3$	N/A	1.4 (350)

Contaminantes de Aire y Control

Fuente. Guía de Bolsillo ASHRAE para aire acondicionado, Calefacción, Ventilación, Refrigeración: (Edición IP y SI): p.48: 2013.

Anexo L. Pautas de Aplicación de filtros.

Tabla 2.3 Pautas de Aplicación de Filtros [2012S, Ch 29, Tbl 2]

Norma 52.2 MERV	Valor Proyectado Norma 52.1	Valor de Arrestancia	Ejemplo Gama de Contaminantes Controlados	Ejemplo de Aplicaciones	Muestra de Tipo(s) de Filtros de Aire
MERV 20					
Filtros HEPA					
MERV 19	N/A		Partículas 0.12 a 0,5 µm: virus (suelto), polvo de carbón, sal marina, radón progenie, humo de combustión	Sala blanca, elaboración farmacéuticos y escape, material radioactivo de manejo y escape, cirugía de trasplante de órgano y ortopédico, materiales cancerígenos, humos de soldadura.	SULPA >99.999% 0.1 a 0.2µm IEST tipo F (panel de techo)
MERV 18					SULPA >99.999% 0.3µm IEST tipo D (panel de techo)
					HEPA >99.99% 0.3 µm IEST tipo C (techo o hasta 12 pulg. (300 mm))
MERV 17					HEPA >99.97% 0.3 µm IEST tipo A [estilo caja 6 a 12 pulg. (150 a 300 mm)] profundo
Margen E-1					
MERV 16	Proyectado para reemplazar 70 a 98% de polvo filtros de eficiencia	>99%	Margen de tamaño 0.3 a 1.0µm: bacteria, humo (ETS), pigmentos de pintura, polvo de cara, algunos Virus, núcleos de gotitas, polvos insecticidas, humos de soldadura.	Día de cirugía, cirugía general, ventilación hospital general, equipos turbo, compresores, depurador de aire de soldadura, pre filtros para HEPA, LEED para (EB) Existente y nuevos edificios comerciales (NC), Salones para fumadores.	Estilo de caja, tendido húmedo o fibra de vidrio, caja estilo medio sintético, minipliegue sintético o papel fibra de vidrio, profundidades de 4 a 12 pulg. (100 a 300 mm), Filtros de bolsillo de fibra de vidrio o medio sintético 12 a 36 pulg. (300 a 900 mm).
MERV 15		>99%			
MERV 14		>98%			
Margen E-2					
MERV 12	Proyectado para reemplazar 50 a 80% de polvo filtros de eficiencia	>97%	Margen de tamaño 1.0 a 3.0 µm: harina molida, polvo de plomo, hollín de combustión, <i>Legionella</i> , polvo de carbón, alguna bacteria, polvo proceso de molienda	Instalaciones de procesamiento de comida, plantas de separación de aire, edificios comerciales mejor residencial, depuradores de aire industrial, pre filtración a filtros de alta eficiencia, escuelas, gimnasios	Estilo de caja, tendido húmedo o fibra de vidrio, caja estilo medio sintético, minipliegue sintético o papel fibra de vidrio, profundidades de 2 a 12 pulg. (60 a 300 mm). Filtros de bolsillo uno u otro rígido o flexible en sintético o fibra de vidrio, profundidades de 12 a 36 pulg. (300 a 900 mm)
MERV 11		>95%			
MERV 10		>95%			
MERV 9	>90%				
Margen E-3					
MERV 8	Proyectado para Reemplazar 20 a 60% de polvo Filtros de eficiencia	>90%	margen de tamaño 3.0 a 10 µm: polen, polvo origen tierra, esporas de moho, polvo De cemento, leche en Polvo, polvo de tabaco, Atomizador para cabello	Filtración de HVAC general, filtración de equipo industrial, propiedad comercial, escuelas, prefiltros a filtros de alta eficiencia, cabina de pintura, protección equipos eléctricos/teléfono	Amplio margen de medios plegados, paneles de anillos, cubos, Bolsillos en sintético o fibra de vidrio, paneles desechables, profundidad de 1 a 24 pulg. (25 a 600 mm).
MERV 7		>90%			
MERV 6		>85%			
MERV 5		>85%			
MERV 4	<20%	>70%	Método de Arrestancia	Protección de soplar suciedad grande de partículas y residuos, aire de ventilación ambiental industrial	Separadores de inercia
MERV 3	<20%	>70%			
MERV 2	<20%	>65%			
MERV 1	<20%	>65%			

Nota: MERV para filtros HEPA/ULPA también incluye tasa de flujo de aire de prueba, pero no se mostraron aquí porque no es de importancia para el propósito de esta tabla.
N/A = no aplicable

5


Fuente. Guía de Bolsillo ASHRAE para aire acondicionado, Calefacción, Ventilación, Refrigeración: (Edición IP y SI): 2013. p.49.

THE WORLD LEADER IN CLEAN AIR SOLUTIONS

VariCel® 2+SC

(Standard Capacity)

EXTENDED SURFACE FILTERS



- Low initial resistance
- Holds up in harsh environments
- Utilizes AAF Flanders' exclusive Impress® pleating technology
- Engineered for a variety of applications
- Easy handling, installation, removal, and disposal
- Slim line packaging reduces shipping costs and storage space
- No header or single header models available
- Available in three efficiencies – MERV 15, MERV 14, and MERV 11

Utilizing AAF Flanders' exclusive Impress pleating technology, the VariCel 2+SC filter combines low resistance and high mechanical strength while maximizing energy efficiency.

Impress® Technology

Impress Technology is a patented pleat formation process that utilizes embossed media to form the optimal pleat geometry for low filter resistance. The embossing pattern created using Impress Technology allows for wider pleat spacing, unsurpassed mechanical strength, and reinforced V-pleats that will not pinch off.

Energy Efficient Design

The wider pleat openings and exits of the VariCel 2+SC filter deliver lower entrance and exit losses. This, combined with less restriction from separator material and better media utilization, delivers a low pressure drop. The lower operating resistance reduces operating costs and saves energy.

High Performance in Tough Operating Conditions

The VariCel 2+SC media is moisture resistant and can withstand intermittent exposure to water without affecting filter performance. The media pack is encased in high impact plastic cell sides and completely sealed in a water-based copolymer emulsion, keeping particulate from bypassing the filter media. Impress pleat formation delivers a robust media pack with a burst strength exceeding the standard seen in the industry. Pleat formation and a center support bar make the filter mechanically stable so that the media resists distortion under high pressure loads.

Compact, Space-Saving Packaging

The slim line design enables four VariCel 2+SC filters to be shipped in a carton only 16 inches high, compared to most competitive filters that are shipped only one per carton. Shipping costs and storage space are significantly reduced.

Environmentally Friendly Disposal

The thinner depth makes disposal easy. VariCel 2+SC filters are only one-third the volume of other high efficiency filters, significantly reducing the contribution to landfills. With no metal components, they are also suitable for incineration.

Applications

VariCel 2+SC filters are appropriate for general HVAC and applications operating with variable air volume, turbulent airflow, and high humidity.



VariCel® 2+SC Filters

Product Information

⁽¹⁾ Rated Filter Face Velocity (FPM)	⁽²⁾ Nominal Size (inches) (W x H x D)	⁽³⁾ Actual Size (inches) (W x H x D)	⁽⁴⁾ Rated Airflow Capacity (CFM)	Box Style (NH) ⁽⁵⁾ Rated Initial Resistance (in. w.g.)	Header Style (SH) ⁽⁶⁾ Rated Initial Resistance (in. w.g.)	⁽⁷⁾ Recommended Final Resistance (in. w.g.)
MERV 15						
500	24 x 24 x 4	23% x 23% x 3%	2000	.58	.65	1.5
	20 x 25 x 4	19% x 24% x 3%	1750	.58	.65	1.5
	20 x 24 x 4	19% x 23% x 3%	1650	.58	.65	1.5
	20 x 20 x 4	19% x 19% x 3%	1400	.58	.65	1.5
	18 x 24 x 4	17% x 23% x 3%	1500	.58	.65	1.5
	16 x 25 x 4	15% x 24% x 3%	1400	.58	.65	1.5
	16 x 20 x 4	15% x 19% x 3%	1100	.58	.65	1.5
	12 x 24 x 4	11% x 23% x 3%	1000	.58	.65	1.5
	12 x 12 x 4	11% x 11% x 3%	500	.58	.65	1.5
MERV 14						
500	24 x 24 x 4	23% x 23% x 3%	2000	.50	.55	1.5
	20 x 25 x 4	19% x 24% x 3%	1750	.50	.55	1.5
	20 x 24 x 4	19% x 23% x 3%	1650	.50	.55	1.5
	20 x 20 x 4	19% x 19% x 3%	1400	.50	.55	1.5
	18 x 24 x 4	17% x 23% x 3%	1500	.50	.55	1.5
	16 x 25 x 4	15% x 24% x 3%	1400	.50	.55	1.5
	16 x 20 x 4	15% x 19% x 3%	1100	.50	.55	1.5
	12 x 24 x 4	11% x 23% x 3%	1000	.50	.55	1.5
	12 x 12 x 4	11% x 11% x 3%	500	.50	.55	1.5
MERV 11						
500	24 x 24 x 4	23% x 23% x 3%	2000	.28	.35	1.5
	20 x 25 x 4	19% x 24% x 3%	1750	.28	.35	1.5
	20 x 24 x 4	19% x 23% x 3%	1650	.28	.35	1.5
	20 x 20 x 4	19% x 19% x 3%	1400	.28	.35	1.5
	18 x 24 x 4	17% x 23% x 3%	1500	.28	.35	1.5
	16 x 25 x 4	15% x 24% x 3%	1400	.28	.35	1.5
	16 x 20 x 4	15% x 19% x 3%	1100	.28	.35	1.5
	12 x 24 x 4	11% x 23% x 3%	1000	.28	.35	1.5
	12 x 12 x 4	11% x 11% x 3%	500	.28	.35	1.5

(1) Filters can be operated up to 125% of rated face velocity.

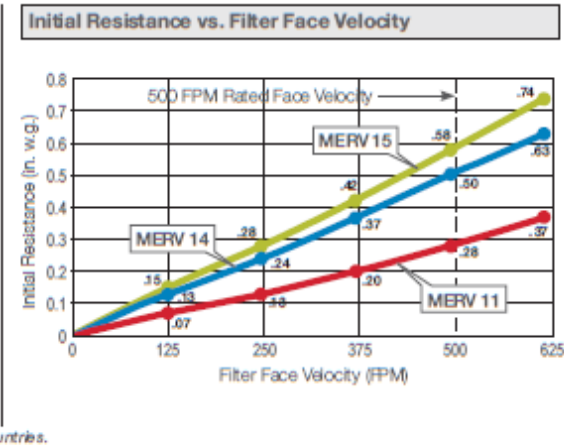
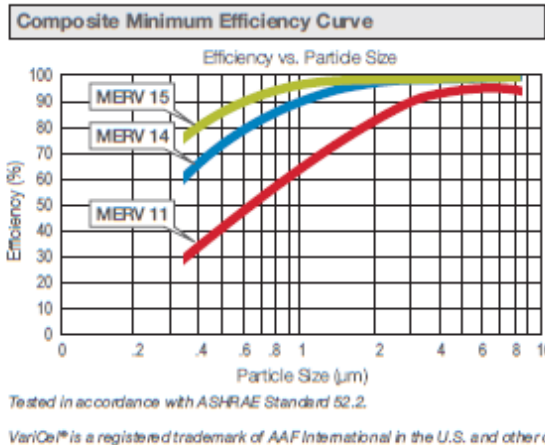
(2) Width and height dimensions are interchangeable VariCel 2+SC filters may be installed with the pleats either vertical or horizontal.

(3) All performance data based on ASHRAE Standard 52.2. Performance tolerances conform to Section 7.4 of ARI Standard 913-93. For maximum service life, VariCel 2+SC filters should always be operated with a prefilter.

(4) The final operating resistance shown is typical of systems currently in operation. Filters can be operated to a higher or lower final resistance. The most economical operating conditions can be determined by contacting your local AAF Flanders representative.

Underwriters Laboratories Classification All VariCel 2+SC filters are UL Classified. Testing was performed according to UL Standard 900 and UL-C-5111. Continuous Operating Temperature Limits: 150°F (65°C)

Performance Data



9920 Corporate Campus Drive, Suite 2200, Louisville, KY 40223-5690
888.223.3003 Fax 888.223.8500 | aafintl.com

AAF Flanders has a policy of continuous product research and improvement and reserves the right to change design and specifications without notice.

©2017 AAF International and its affiliated companies.
ISO Certified Firm AAF-1-242B 01/17



FILTER TECH SAS
 NIT: 900.573.610-6
 CR 52 A No. 41 A SUR 08
 FAX + 571 - 7 13 21 36
 PBX + 571 - 7 13 21 36

QUOTATION: QFT-03-20-6979.

TO: ING. FEDERICO ACOSTA	FROM: ALEJANDRO GUZMÁN
COMPANY: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	COMPANY: FILTER TECH SAS
TEL: (57) 321 3642146	PAGES: 1 OF 1
ADDRESS: CALLE 9 # 27 BUCARAMANGA	DATE: MARZO 11 DEL 2020.
SUBJET: COTIZACION FILTROS	E-MAIL: filtertech.comercial@gmail.com
E-mail: fe.de.acosta1228@gmail.com	CELULAR: 322 267 2323

RESPECTADO SEÑOR (A):
 En el cuadro adjunto encontrará la cotización de los filtros solicitados por usted:

ITEM	DESCRIPCION	REFERENCIA	UND	CANT	DISPONIBILIDAD	VALOR UNIT	TOTAL
1	PREFILTRO PERFECTPLEAT SC DE 12 X 12 X 2" MERV 8, MARCO CARTÓN, MARCA AAF FLANDERS	172-12-12A12A	UND	12	ENTREGA EN 8 SEMANAS DESPUÉS DE RECIBIDA LA ORDEN DE COMPRA	\$ 36.050	\$ 432.600
2	FILTRO PREPLEAT M13 DE 12 X 12 X 2" MERV 13, MARCO CARTÓN, MARCA AAF FLANDERS	90013.0212A12A	UND	12	ENTREGA EN 8 SEMANAS DESPUÉS DE RECIBIDA LA ORDEN DE COMPRA	\$ 100.100	\$ 1.201.200
3	PREFILTRO PERFECTPLEAT SC DE 12 X 24 X 2" MERV 8, MARCO CARTÓN, MARCA AAF FLANDERS	172-112-319	UND	1	ENTREGA INMEDIATA	\$ 25.287	\$ 25.287
4	FILTRO VARIKEL 2+ SC NH DE 12 X 24 X 4" MERV 11, MARCO PLÁSTICO, MARCA AAF FLANDERS	3102036-608	UND	1	ENTREGA INMEDIATA	\$ 237.157	\$ 237.157
5	FILTRO AMAIR 1100 DE 20 X 25 X 4" MERV 11, MARCO CARTÓN, MARCA AAF FLANDERS	143-54-20A25A	UND	1	ENTREGA INMEDIATA	\$ 96.100	\$ 96.100

NOTA: PRECIOS EN PESOS COLOMBIANOS. FAVOR CONSIGNAR EN EL BANCO DE BOGOTÁ, CUENTA CORRIENTE No. 542022256 A NOMBRE DE FILTER TECH SAS, NIT 900.573.610-6	SUBTOTAL	\$ 1.992.344
	IVA 19%	\$ 378.545
	TOTAL	\$ 2.370.889

TRANSPORTE: ENTREGA EN NUESTRAS INSTALACIONES.
 VALIDEZ DE LA OFERTA: 15 DIAS.
 FORMA DE PAGO: CONTADO
 TIEMPO DE ENTREGA: SEGÚN COLUMNA DE DISPONIBILIDAD.
 LOS ITEM COTIZADOS TENDRAN GARANTIA 1 MES POR DEFECTOS DE FABRICACION
 En caso de cualquier aclaración por favor comunicarse con nosotros que gustosamente le atenderemos

Cordialmente,

ALEJANDRO GUZMÁN
 Asesor Comercial
 FILTER TECH SAS
 Cr 52 A No. 41 A SUR - 08 Bogotá.
 PBX: 571 7 13 21 36, 4660107.
 FAX: 571 7 13 21 36 Mobile: 322 267 2323

OC:
YO:
APROBADA:
FECHA:

Anexo N. Ficha técnica Ventilador Centrifugo SODECA



CMP-718-2M 60HZ



Ventiladores centrífugos de media presión y simple aspiración con envolvente y turbina en chapa de acero

Ventilador:

- Envolvente en chapa de acero
- Turbina con álabes hacia delante, en chapa de acero galvanizado
- Modelo CMP 38-2M envolvente en fundición de aluminio
- Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C, +120°C, máximo +100°C modelo CMP-38

Motor:

- Motores de eficiencia IE3 para potencias iguales o superiores a 0,75kW, excepto monofásicos, 2 velocidades y 8 polos.
- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55, excepto modelos monofásicos protección IP54.
- Modelo CMP-38 protección IP21
- Motor Multitensión, diseño especial válido para: 220/380V 60Hz, 254/440V 60Hz, 265/460V 60Hz, 277/480V 60Hz

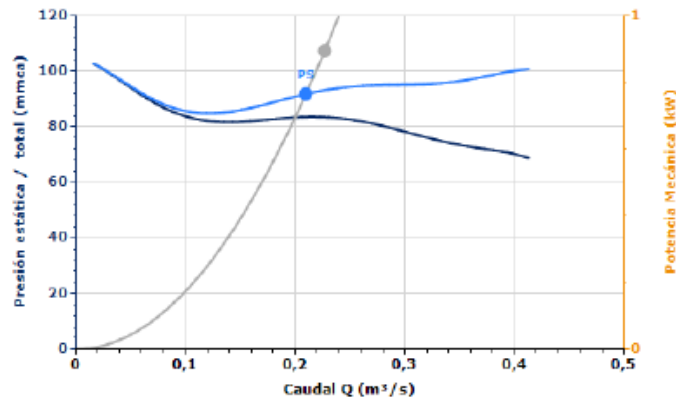
Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190 °C, previo desengrase con tratamiento nanotecnológico libre de fosatos.

Bajo demanda:

- Bobinados especiales para diferentes tensiones
- Ventilador preparado para transportar aire hasta 250°C
- Ventilador en acero inoxidable
- Certificación ATEX Categoría 2 (ver serie CMP/ATEX)

CURVA CARACTERÍSTICA PARA 1,063KG/M³

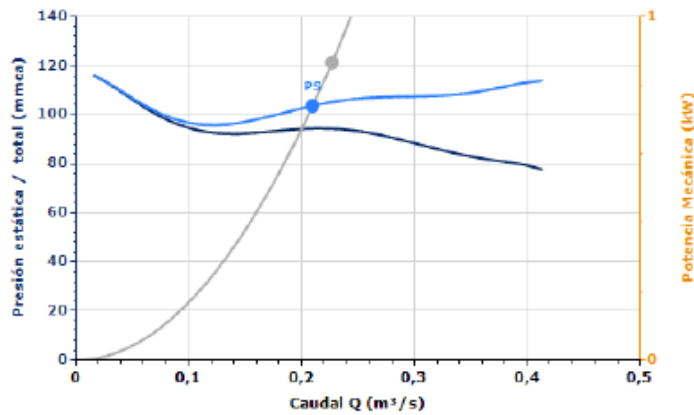


Punto Diseño

Q (m³/s)	0,2268
Pt (mmca)	107,4

Punto Servicio (PS)

Q (m³/s)	0,2097
Pe (mmca)	83,57
Pd (mmca)	8,25
Pt (mmca)	91,82
Velocidad (rpm)	3300
Máx. Temp. (°C)	250
Velocidad salida aire (m/s)	12,34
SFP (kW/m³/s)	2,33

CURVA CARACTERÍSTICA PARA 1,2KG/M³

Punto Diseño

Q (m ³ /s)	0,2268
PT (mmca)	121,24

Punto Servicio (PS)

Q (m ³ /s)	0,2097
Pe (mmca)	94,34
Pd (mmca)	9,31
PT (mmca)	103,65
Velocidad (rpm)	3300
Máx. Temp. (°C)	250
Velocidad salida aire (m/s)	12,34
SFP (kW/m ³ /s)	2,63
Potencia Mecánica (kW)	0,41

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (m ³ /s)	0,41
Velocidad (rpm)	3300
Peso aprox. (kg)	12,80

DATOS DEL MOTOR

Potencia Mecánica Nominal (kW)	0,75
Hz/fases	60/1
Motor (rpm)	3372
Polos	2P
Corriente máx. (A) 220-277 V	4,50
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	80

Los datos pueden cambiar, por favor consulte la placa del motor

ACCESORIOS DISPONIBLES



Se debe comprobar que el accesorio es adecuado para el modelo de ventilador

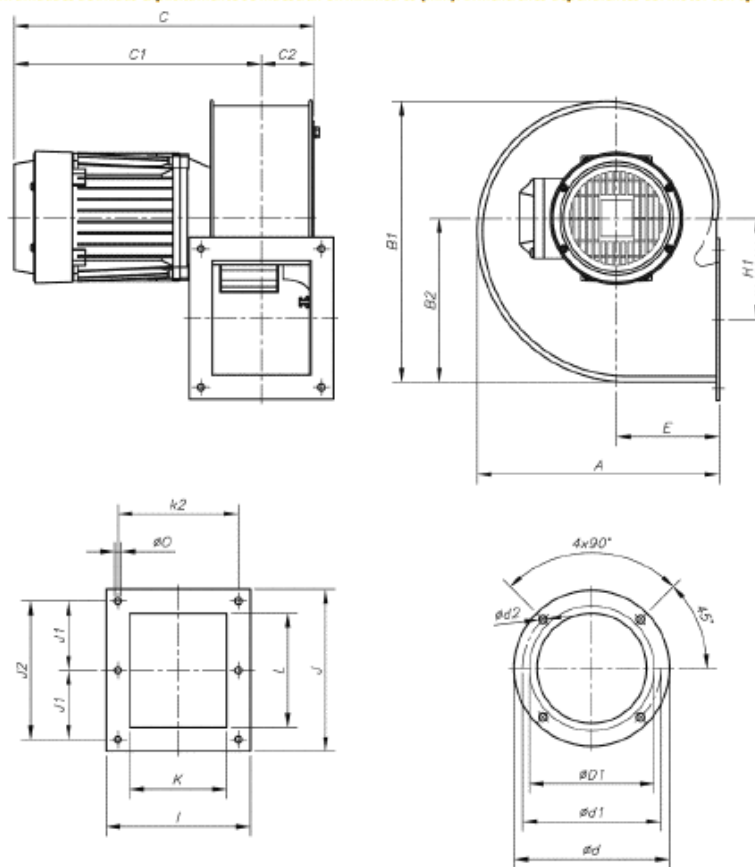
DIMENSIONES

A	B1	B2	C	CL	C2	ØD1* [1]	Ød	Ød1	Ød2	E	H1	I	J
303,5	348	201	355	245	61	180	238	210	M6	129,5	122	169	192

J1	J2	K	k2	L	ØO
85	170	115	145	146	9

[1] Diámetro nominal tubería recomendada

Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm). Dimensiones dependientes del motor son aproximadas





CMPE

Ventiladores centrífugos de media presión y simple aspiración con motor de rotor exterior

Ventilador:

- Envoltorio en chapa de acero
- Turbina con álabes hacia delante
- Caja de conexiones exterior con entrada de cable con prensaestopas

Motor:

- Motores clase F de rotor exterior, con rodamientos a bolas
- Monofásicos 230V 50/60 Hz
- Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C a +60 °C

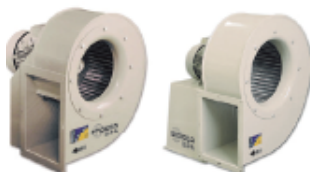
Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190 °C, previo desengrase con tratamiento nanotecnológico libre de fosfatos

COD.	Modelo	Velocidad (r/min)	Potencia eléctrica máx. (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel de presión sonora dB(A)	According ErP	PVP €
1016558	CMPE-613-2M	1800	0,105	296	59	Excluded	109,40
1016559	CMPE-614-2M	2200	0,177	510	65	Excluded	132,15
1016560	CMPE-716-4M	1400	0,060	440	59	Excluded	137,70
1016561	CMPE-618-4M	1300	0,155	900	67	Excluded	136,75

CMP

Ventiladores centrífugos de media presión y simple aspiración con envoltorio y turbina en chapa de acero



Ventilador:

- Envoltorio en chapa de acero
- Turbina con álabes hacia delante, en chapa de acero galvanizado
- Modelo CMP 38-2M envoltorio en fundición de aluminio
- Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C + 120°C, máximo +100°C modelo CMP-38

velocidades y 8 polos

- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55, excepto modelos monofásicos protección IP54. Modelo CMP-38 protección IP21
- Monofásicos 230V-50Hz y trifásicos 230/400V-50Hz (hasta 4kW) y 400/690V-50Hz (potencias superiores a 4kW)

desengrase con tratamiento nanotecnológico libre de fosfatos.

Bajo demanda:

- Bobinados especiales para diferentes tensiones
- Ventilador preparado para transportar aire hasta 250°C
- Ventilador en acero inoxidable
- Certificación ATEX Categoría 2 (ver serie CMPATED)

Motor:

- Motores de eficiencia IE3 para potencias iguales o superiores a 0,75kW, excepto monofásicos, 2

Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190 °C, previo

COD.	Modelo	Velocidad (r/min)	Potencia insalada (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel de presión sonora dB(A)	According ErP	PVP €
1012392	CMP-38-2M/E	2650	0,01	135	50	Excluded	99,75
1012391	CMP-38-2M	2600	0,01	160	50	Excluded	118,40
1012411	CMP-512-2T	2670	0,09	380	62	Excluded	159,95
1012398	CMP-512-2M	2760	0,09	380	62	Excluded	166,15
1012440	CMP-512-4T	1320	0,09	255	55	Excluded	157,95
1012433	CMP-512-4M	1370	0,09	255	55	Excluded	162,65
1012461	CMP-514-2T	2750	0,18	700	65	2015	212,95
1012446	CMP-514-2M	2780	0,18	700	65	2015	218,25
1012499	CMP-514-4T	1320	0,09	565	58	Excluded	191,45
1012493	CMP-514-4M	1370	0,09	565	58	Excluded	195,00
1012516	CMP-616-2T	2760	0,55	1380	69	2015	236,10
1012504	CMP-616-2M	2810	0,55	1380	69	2015	262,60
1012549	CMP-616-4T	1320	0,09	850	61	Excluded	206,55
1012544	CMP-616-4M	1370	0,09	850	61	Excluded	215,40
1012568	CMP-620-2T	2710	0,37	765	68	2015	301,90
1012563	CMP-620-2M	2780	0,37	765	68	2015	325,00
1012567	CMP-620-4T	1320	0,12	810	61	Excluded	265,50
1012564	CMP-620-4M	1380	0,12	810	61	Excluded	285,15
1012668	CMP-718-2T IE3	2825	0,75	1485	70	2015	373,55
1012571	CMP-718-2M	2810	0,75	1485	70	2015	378,50
1012584	CMP-718-4T	1350	0,25	1280	63	2015	247,60
1012561	CMP-718-4M	1370	0,25	1280	63	2015	256,20
1012671	CMP-820-2T IE3	2830	1,10	1950	73	2015	426,05
1012584	CMP-820-2M	2820	1,10	1950	73	2015	407,95
1012607	CMP-820-4T	1350	0,25	1670	66	2015	287,60
1012604	CMP-820-4M	1370	0,25	1670	66	2015	317,20
1012681	CMP-922-2T-1.5 IE3	2830	1,10	1650	70	2015	570,50
1012682	CMP-922-2T-2 IE3	2875	1,50	2010	71	2015	645,60
1012685	CMP-922-2T-3 IE3	2910	2,20	2600	74	2015	721,50
1012617	CMP-922-4T	1380	0,55	2450	66	2015	486,85
1012695	CMP-1025-2T-3 IE3	2910	2,20	2100	73	2015	766,60
1012697	CMP-1025-2T-4 IE3	2910	3,00	2830	77	2015	869,60
1012704	CMP-1025-4T IE3	1455	1,10	3400	70	2015	639,25
1012714	CMP-1128-2T-4 IE3	2910	3,00	2220	77	2015	935,20
1012716	CMP-1128-2T-6.5 IE3	2900	4,00	3210	81	2015	993,70
1012725	CMP-1128-4T IE3	1435	2,20	5000	74	2015	842,50
1012731	CMP-1128-6T IE3	940	0,75	3300	60	2015	845,50
1012737	CMP-1231-4T-3 IE3	1435	2,20	4740	73	2015	1.001,65
1012739	CMP-1231-4T-4 IE3	1440	3,00	5910	75	2015	1.054,20

Anexo O. Acero SAE 1010 calibre 18

LÁMINA DE ACERO								
LAMINA CALIENTE DECAPADA Y SIN DECAPAR - CALIDAD SAE 1010 Y 1008 LAMINA FRÍA - CALIDAD SAE 1008								
No.	Espesor en mm.	Espesor en pulgadas	0.914 x 1.829 (3' x 6')	0.914 x 2.438 (3' x 8')	0.914 x 3.048 (3' x 10')	1.219 x 2.438 (4' x 8')	1.219 x 3.048 (4' x 10')	Peso en kg./m ² .
7	4.5542	0.1793	60.417	80.556	100.695	107.408	134.260	36.6280
8	4.1758	0.1644	55.396	73.862	92.327	98.482	124.768	33.5760
9	3.7973	0.1495	50.376	67.167	83.959	89.556	113.460	30.5230
10	3.4163	0.1345	45.321	60.428	75.535	80.571	102.076	27.4710
11	3.0378	0.1196	40.300	53.734	67.167	71.645	90.768	24.4200
12	2.6568	0.1046	35.246	46.995	58.743	62.660	79.384	21.3670
13	2.2784	0.0897	30.225	40.300	50.376	53.734	68.076	18.3150
14	1.8974	0.0747	25.171	33.561	41.952	44.748	56.692	15.2620
15	1.7094	0.0673	22.677	30.237	37.796	40.315	51.076	13.7360
16	1.5189	0.0598	20.150	26.867	33.584	35.823	45.384	12.2100
17	1.3665	0.0538	18.128	24.171	30.214	32.228	40.831	10.9890
18	1.2141	0.0478	16.107	21.476	26.844	28.634	36.277	9.7680
19	1.0617	0.0418	14.085	18.780	23.475	25.040	31.723	8.5470
20	0.9119	0.0359	12.097	16.129	20.161	21.506	27.246	7.3260
21	0.8357	0.0329	11.086	14.781	18.477	19.708	24.969	6.7150
22	0.7595	0.0299	10.075	13.433	16.792	17.911	22.692	6.1050
23	0.6833	0.0269	9.064	12.086	15.107	16.114	20.415	5.4940
24	0.6071	0.0239	8.053	10.738	13.422	14.317	18.138	4.8844
25	0.5309	0.0209	7.042	9.390	11.737	12.520	15.862	4.2730
26	0.4547	0.0179	6.032	8.042	10.053	10.723	13.585	3.6630



Fuente. Catálogo de productos Presa Steel.

Anexo P. Ventilador Kooltronic.

SINGLE CENTRIFUGAL BLOWERS



DESCRIPTION

KOOLTRONIC *Single Centrifugal Blowers* are designed for performance against low to moderate static pressures. They are available in seven sizes and capacities. Easily installed, they can be mounted in any orientation for maximum cooling efficiency.

These popular blowers are a low cost alternative for a multitude of applications. They are the workhorses of electronics cooling and are widely used in other non-electronic applications.

General specifications common to all KOOLTRONIC Basic Blowers are on the first page of this section.

KOOLTRONIC also designs and manufactures a variety of blowers to meet *unique* specifications. We invite your inquiries about our modification and custom-design capabilities.

CALL 1-800-321-KOOL (5665)
or FAX 609-466-1114

STANDARD FEATURES

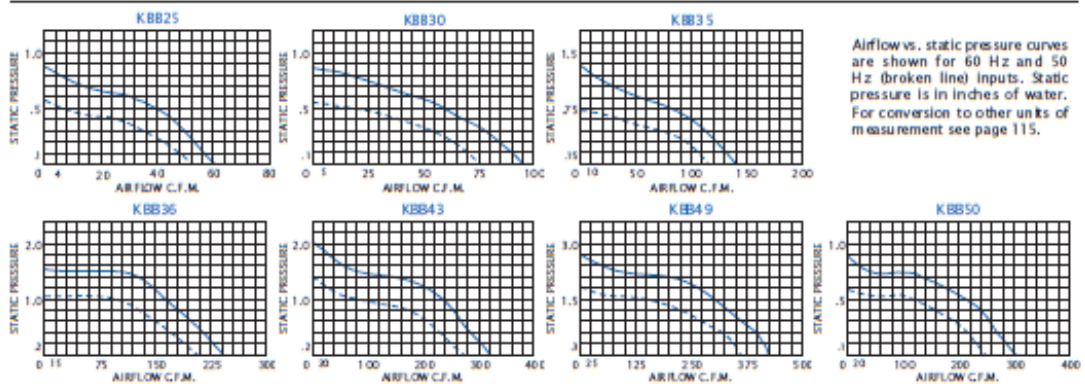
- Capacities: 60 to 425 CFM
- Full performance in any mounting position
- Rugged Construction with Baked Powder Finish
- UL/CSA ball bearing motors
- 12-inch [304.8mm] (minimum) power and ground leads

ACCESSORIES AND OPTIONS

	Page
■ Airflow Switch	139
■ Automatic Speed Control	141
■ Inlet Finger Guard	+
■ Other voltages and frequencies	+
■ Special external paint finishes	+
■ Special line cord or connectors	+
* Contact KOOLTRONIC for information.	

SINGLE CENTRIFUGAL

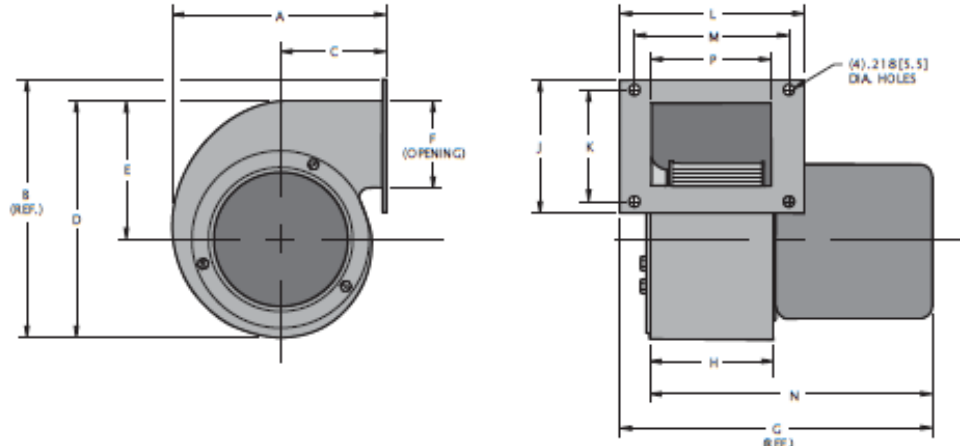
PERFORMANCE GRAPHS



For assistance in model selection, refer to the Blower & Fan Selection Guides on pages 10 and 138, call KOOLTRONIC, or use one of our FREE design aid software programs.



DIMENSIONS Inches (mm)



Model	A	B	C	D	E	F	G
KBB25	4.56 [115.8]	5.25 [133.4]	2.25 [57.2]	4.93 [125.2]	2.88 [73.2]	1.83 [46.5]	5.25 [133.4]
KBB30	5.31 [134.9]	6.00 [152.4]	2.56 [65.0]	5.44 [138.2]	3.13 [79.5]	1.88 [47.8]	5.88 [149.4]
KBB35	6.32 [160.5]	7.53 [191.3]	3.00 [76.2]	6.69 [169.9]	3.83 [97.3]	2.41 [61.2]	6.32 [160.5]
KBB36	6.44 [163.6]	7.10 [180.3]	3.21 [81.5]	6.72 [170.7]	3.77 [95.8]	2.41 [61.2]	8.44 [214.4]
KBB43	7.31 [185.7]	8.25 [209.6]	3.44 [87.4]	7.63 [193.8]	4.19 [106.4]	3.31 [84.1]	8.25 [209.6]
KBB49	7.31 [185.7]	8.19 [208.0]	3.44 [87.4]	7.65 [194.3]	4.38 [111.3]	3.25 [82.6]	10.50 [266.7]
KBB50	8.25 [209.6]	9.19 [233.4]	4.06 [103.1]	8.68 [220.5]	5.00 [127.0]	3.11 [79.0]	8.94 [227.1]

Model	H	J	K	L	M	N	P
KBB25	2.00 [50.8]	2.69 [68.3]	2.25 [57.2]	3.06 [77.7]	2.63 [66.8]	4.75 [120.7]	2.00 [50.8]
KBB30	2.50 [63.5]	3.13 [79.5]	2.44 [62.0]	3.75 [95.3]	3.13 [79.5]	5.25 [133.4]	2.44 [62.0]
KBB35	2.56 [65.0]	3.75 [95.3]	3.00 [76.2]	3.75 [95.3]	3.13 [79.5]	5.71 [145.0]	2.44 [62.0]
KBB36	3.44 [87.4]	3.25 [82.6]	2.00 [50.8]	4.63 [117.6]	4.06 [103.1]	8.00 [203.2]	3.38 [85.9]
KBB43	4.00 [101.6]	4.50 [114.3]	3.75 [95.3]	5.13 [130.3]	4.63 [117.6]	7.69 [195.3]	3.88 [98.6]
KBB49	4.25 [108.0]	4.50 [114.3]	3.75 [95.3]	5.63 [143.0]	5.00 [127.0]	9.56 [242.8]	4.06 [103.1]
KBB50	4.31 [109.5]	4.38 [111.3]	3.75 [95.3]	5.50 [139.7]	4.93 [125.2]	8.43 [214.1]	4.19 [106.4]

For motor on opposite side, consult KOOLTRONIC.
Dimensions, Inches (mm), are for reference only and subject to change.

SINGLE CENTRIFUGAL

TECHNICAL DATA*

Model	Normally In Stock	CFM @ 0" S.P.	Cutoff S.P.	RPM Nominal	Amps		Watts	Approximate Weight	
					Run.	L.R.		Lbs.	Kg.
KBB25	Yes	60	0.85	3300	0.5	0.8	35	5	2.3
KBB30	Yes	95	0.85	3150	0.6	0.8	41	5	2.3
KBB35	Yes	140	1.30	3200	1.3	2.1	90	6	2.7
KBB36	Yes	235	1.50	3275	1.3	3.0	140	7	3.2
KBB43	Yes	320	2.00	3300	1.6	3.1	180	9	4.1
KBB49	Yes	425	2.70	3450	3.3	13.6	335	13	5.9
KBB50		300	0.88	1550	0.9	1.3	95	8	3.6

* 115V, 60 Hz. operation

HOW TO ORDER

Specify model number. For 230 VAC operation, add a 2 after the K. Example: K2BB43. **NOTE:** Some 230 Volt models may not be available or minimum purchases may apply. Contact Kooltronic for information.

Anexo Q. Cotizaciones sistema de extracción Industrias y Metales DJ y Grupo Empresarial Servicios de Ingeniería y Metalmecánica S.A.S.



INDUSTRIAS Y METALES DJ

NIT. 1.098.698.324-4

Bucaramanga 19 de mayo de 2020

Señor(es):

**FEDERICO ARTURO ACOSTA BÁEZ
MARÍA FERNANDA CUÉLLAR ARCINIEGAS**

**Universidad Industrial de Santander
Escuela de Ingeniería Mecánica**

1. DETALLES Y ESPECIFICACIONES DE LA PROPUESTA.

1.1. Fabricación e instalación del sistema de extracción según planos enviados.

- Sin ventilador, sin filtro
- Todas las soldaduras serán aplicadas con 6010.
- Acero inox soldadura TIG.

2. PRESUPUESTO RESUMIDO DE LA PROPUESTA

Número de ítem	Piezas	Cantidad de material	Tipo de material	Precio con galvanizado	Precio en acero inoxidable
1	Campana de extracción	240 x 240 cm	Lámina calibre 16	\$ 840.000	\$ 950.000
2	Tupo de 8 pulgadas	3.5 m	Tubo de perforación	\$ 450.000	\$ 650.000
3	Tubo de 6 pulgadas	4 m	Tubo de perforación	\$ 350.000	\$ 570.000
4	Tubo de 5.6 pulgadas	10m	Tubo de perforación	\$ 500.000	\$ 680.00

Calle 10 # 20A-26. Cel. 315 - 8110968
diego_0950@hotmail.com



INDUSTRIAS Y METALES DJ

NIT. 1.098.698.324-4

5	Codo de 90 grados 6 pulgadas	2m	Galvanizado	\$ 280.000	\$ 490.000
6	Codo de 90 grados 8 pulgadas	1	Galvanizado	\$ 160.000	\$ 250.000
7	Ducto de transición	70 x 70 cm	Lamina calibre 16	\$ 300.000	\$ 710.000
8	Caja de filtración	2 m	Lámina calibre 16	\$170.000	\$250.000
9	8 bridas para el ventilador y la caja de filtración.	100 x 100 cm	Lámina calibre 16	\$ 150.000	\$ 350.000
10	Sombrero	50 x 50 cm	Lámina calibre 16	\$ 300.000	\$ 520.000
11	Soporte para campana	4 metros	Angulo 1 1/2 x 3/16	\$ 180.000	\$ 270.000
12	Soporte para el ventilador	3 metros	Platina de 2 pulgadas x 1/4	\$ 40.000	\$ 250.000
13	Soporte del conducto y abrazaderas	3 metros de tubo	Calibre 16 2 X 1	\$ 130.000	\$ 320.000
14	Galvanizado	300 kg aproximado	Zinc	\$650.000	\$ 000.000
15	Instalación			\$ 650.000	\$ 990.000
16	Mano de obra			\$2.000.000	\$2.000.000
			Total	\$ 7.150.000,00	\$ 8.570.680,00

- Valor total en acero inoxidable \$ 8.570.680 + IVA
- Valor total en acero galvanizado \$ 7.150.000 + IVA

3. CONDICIONES COMERCIALES DE LA PROPUESTA

Calle 10 # 20A-26. Cel. 315 - 8110968
diego_0950@hotmail.com



INDUSTRIAS Y METALES DJ

NIT. 1.098.698.324-4

3.1. Validez de la Oferta

- 90 días

3.2. Forma de Pago

- 50% anticipo
- 50% entrega del trabajo

3.3. Plazo de Entrega

- 12 días.

NOTA: Galvanizado según la norma.

En espera de sus comentarios,

Cordialmente,

INDUSTRIAS Y METALES DJ

Diego Armando Florez Dulcey
Gerente

Bucaramanga, 21 de mayo de 2020

SEÑORES:

**FEDERICO ACOSTA BÁEZ
MARÍA FERNANDA CUÉLLAR
BUCARAMANGA, SANTANDER**

En razón a su solicitud presentamos nuestra oferta técnica y comercial Para equipo prototipo de extracción de gases de combustión, dicho proyecto incluye:

ÍTEM	ESPECIFICACIÓN	VALOR
	MODULO DE EXTRACCIÓN DE GASES	
	Acero Galvanizado Acero Inoxidable	
	1.Campana de extracción Calibre 16 \$ 1.520.000 \$ 3.245.000	
	2.Tubo 1, 2, 3, 4, 5 Calibre 16 \$ 2.420.000 \$ 4.650.000	
	3.Codos de 90 grados con respectivas medidas Calibre 16 \$960.000 \$ 1.760.000	
	4.Soporte para campana Lámina Calibre 16 \$ 330.000 \$ 710.000	
1	5.Ducto de transición Lámina Calibre 16 \$ 600.000 \$ 1.100.000	
	6.Mangos de unión hembra Calibre 16 \$ 462.000 \$ 962.000	
	7.Caja de filtración con sus correspondientes medidas Calibre 16 \$ 390.000 \$790.000	
	8.Sombrero chino Calibre 16 \$ 550.000 \$ 850.000	
	9.Soporte de pared \$ 100.000 \$ 240.000	
	10.Abrazaderas tubo de descarga Calibre 16 \$ 520.000 \$ 840.000	



SIMM S.A.S.
Grupo Empresarial
Servicios de Ingeniería
Metal Mecánica S.A.S.

GRUPO EMPRESARIAL SERVICIOS DE INGENIERÍA Y METALMECÁNICA S.A.S

NIT: 901044336-7

OFERTA S20202734

Valor total en Acero Galvanizado: \$ 7.852.000 + IVA	
Valor total en Acero inoxidable \$ 15.147.000 + IVA	
TOTAL EN ACERO GALVANIZADO: Quince millones ochocientos cincuenta y dos mil pesos.	\$ 15.852.000
TOTAL EN INOX: Veinticuatro millones ciento cuarenta y siete mil pesos .	\$24.147.000

EXCLUSIONES

- IVA.
- Pólizas exigidas por el cliente y/o valores de contratos
- Equipos, accesorios y/o actividades adicionales que se lleguen a requerir, y no se estén señaladas en esta oferta.
- No incluye obra civil.
- Gastos de envío

FORMA DE PAGO: A convenir

PLAZO DE ENTREGA: 10 días hábiles de fabricación

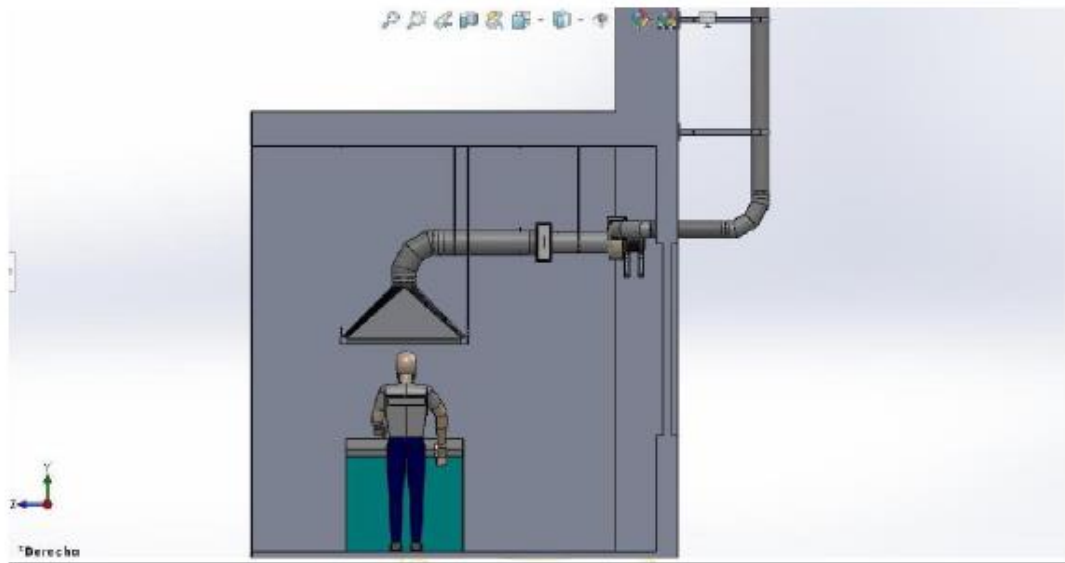
VALIDEZ OFERTA: 30 días.

Cordialmente,

PABLO ANDRÉS CUERVO
Proyectos y montaje

Teléfonos: 3206531208 – 3166782595 – 3235778613, Dirección: TV 24#
54# 53 Altos del carrizal – Girón – Santander – Colombia.
E-Mail: simmgrupoempresarial@gmail.com

ANEXO GRÁFICO



SIMM S.A.S.
Grupo Empresarial
Servicios de Ingeniería
Metal Mecánica S.A.S.

Anexo R. Cotizaciones prototipo sistema de extracción, Industrias y Metales DJ y Grupo Empresarial Servicios de Ingeniería y Metalmecánica S.A.S.



INDUSTRIAS Y METALES DJ

NIT. 1.098.698.324-4

Bucaramanga 19 de mayo de 2020

Señor(es):

**FEDERICO ACOSTA BÁEZ
MARÍA FERNANDA CUÉLLAR**

1. DETALLES Y ESPECIFICACIONES DE LA PROPUESTA

1.1. Fabricación de prototipo sistema de extracción según planos enviados.

- Sin ventilador
- Todas las soldaduras serán aplicadas con 6010.

2. PRESUPUESTO RESUMIDO DE LA PROPUESTA

N°	Piezas	Cantidad de material	Tipo de material	Precio Acero SAE 1010	Precio con galvanizado	Precio en Acero Inoxidable
1	Campana de extracción	70 x 70 cm	Lámina calibre 16	\$ 240.000	\$ 310.000	\$ 590.000
2	Tubo primario y secundario	90 cm	Tubo de 3 pulgadas calibre 18	\$ 40.000	\$ 80.000	\$ 110.000
3	2 codos de 90 grados	2 m	Hierro	\$90.000	\$ 130.000	\$ 165.000
4	Ducto de transición	35 x 35 cm	Lámina calibre 18	\$ 120.000	\$ 165.000	\$ 270.000
5	Platina	7 x 24.1 cm	Lámina calibre 18	\$ 10.000	\$ 35.000	\$ 50.000
6	Chasis	950 cm	Ángulo de 20x20x30	\$ 250.000	\$ 320.000	\$ 580.000
7	Soporte para campana	20 x 20	Lámina calibre 18	\$ 15.000	\$ 40.000	\$ 60.000
8	4 ruedas	40 mm de grosor de las llantas	En goma y con frenos	\$ 120.000	\$ 140.000	\$ 200.000

Calle 10 # 20A-26. Cel. 315 - 8110968
diego_0950@hotmail.com



INDUSTRIAS Y METALES DJ

NIT. 1.098.698.324-4

9	Platinas para soportar las ruedas	60 x 60	Lámina calibre 18	\$ 40.000	\$ 80.000	\$ 110.000
10	Mano de obra			\$ 400.000	\$400.000	\$400.000
	Total			\$ 1.325.000	\$ 1.700.000	\$ 2.535.000

- Valor total en acero SAE 1010: \$ 1.325.000 + IVA
- Valor total en acero inoxidable \$ 2.535.000 + IVA
- Valor total en Acero SAE 1010 y luego galvanizar \$ 1.700.000 + IVA

3. CONDICIONES COMERCIALES DE LA PROPUESTA

3.1. Validez de la Oferta

- 30 días

3.2. Forma de Pago

- 50% anticipo
- 50% entrega del trabajo

3.3. Plazo de Entrega

- 6 días.

NOTA: pintura anticorrosiva
Pintura final

En espera de sus comentarios,

Cordialmente,

Diego Armando Florez Dulcey
Gerente

Calle 10 # 20A-26. Cel. 315 - 8110968
diego_0950@hotmail.com

Bucaramanga, 21 de mayo de 2020

SEÑORES

**FEDERICO ACOSTA BÁEZ
MARÍA FERNANDA CUÉLLAR
BUCARAMANGA, SANTANDER**

En razón a su solicitud presentamos nuestra oferta técnica y comercial Para equipo prototipo de extracción de gases de combustión, dicho proyecto incluye:

ÍTEM	ESPECIFICACIÓN	VALOR
	PROTOTIPO MÓDULO DE EXTRACCIÓN DE GASES	
	<i>Acero SAE 1010</i> <i>Acero Galvanizado</i>	
	Campana de extracción 70 x 70 cm Lámina Calibre 16	\$ 290.000
		\$ 540.000
	Tubo primario y secundario 90 cm Calibre 18	\$ 90.000
		\$ 140.000
	2 codos de 90 grados	\$140.000
		\$ 170.000
1	Ducto de transición 35 x 35 cm Lámina Calibre 18	\$ 170.000
		\$ 220.000
	Platina para soportar ventilador 70 x 241 mm Lámina Calibre 18	\$ 30.000
		\$ 50.000
	Chasis Ángulo de 20 x 20 x 30	\$ 350.000
		\$ 400.000
	4 ruedas 40 mm de grosor de las llantas en goma y con frenos	\$ 170.000
	Platinas para soportar las ruedas 60 x 60 Lámina calibre 18	\$ 50.000
		\$ 80.000
	Abrazaderas del ventilador 15cm Calibre 18	\$ 25.000
		\$ 40.000
	Tornillos y tuercas	\$ 23.000
	Pintura	\$ 40.000

Teléfonos: 3206531208 – 3166782595 – 3235778613, Dirección: TV 24#

54ª 53 Altos del carrizal – Girón – Santander – Colombia.

E-Mail: simmgrupoempresarial@gmail.com

<p>Valor total en acero SAE 1010 \$ 1.378.000 + IVA</p> <p>Valor total en acero Galvanizado \$ 1.873.000 + IVA</p>	
<p><i>TOTAL EN ACERO SAE 1010: Un millón ochocientos setenta y ocho mil pesos</i></p>	<p><i>\$ 1.878.000</i></p>
<p><i>TOTAL EN ACERO GALVANIZADO: Dos millones quinientos setenta y tres mil pesos</i></p>	<p><i>\$ 2.573.000</i></p>

EXCLUSIONES

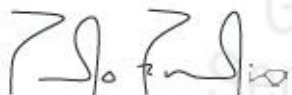
- IVA.
- Pólizas exigidas por el cliente y/o valores de contratos
- Equipos, accesorios y/o actividades adicionales que se lleguen a requerir, y no se estén señaladas en esta oferta.
- No incluye obra civil.
- Gastos de envío

FORMA DE PAGO: A convenir

PLAZO DE ENTREGA: 4 días hábiles de fabricación

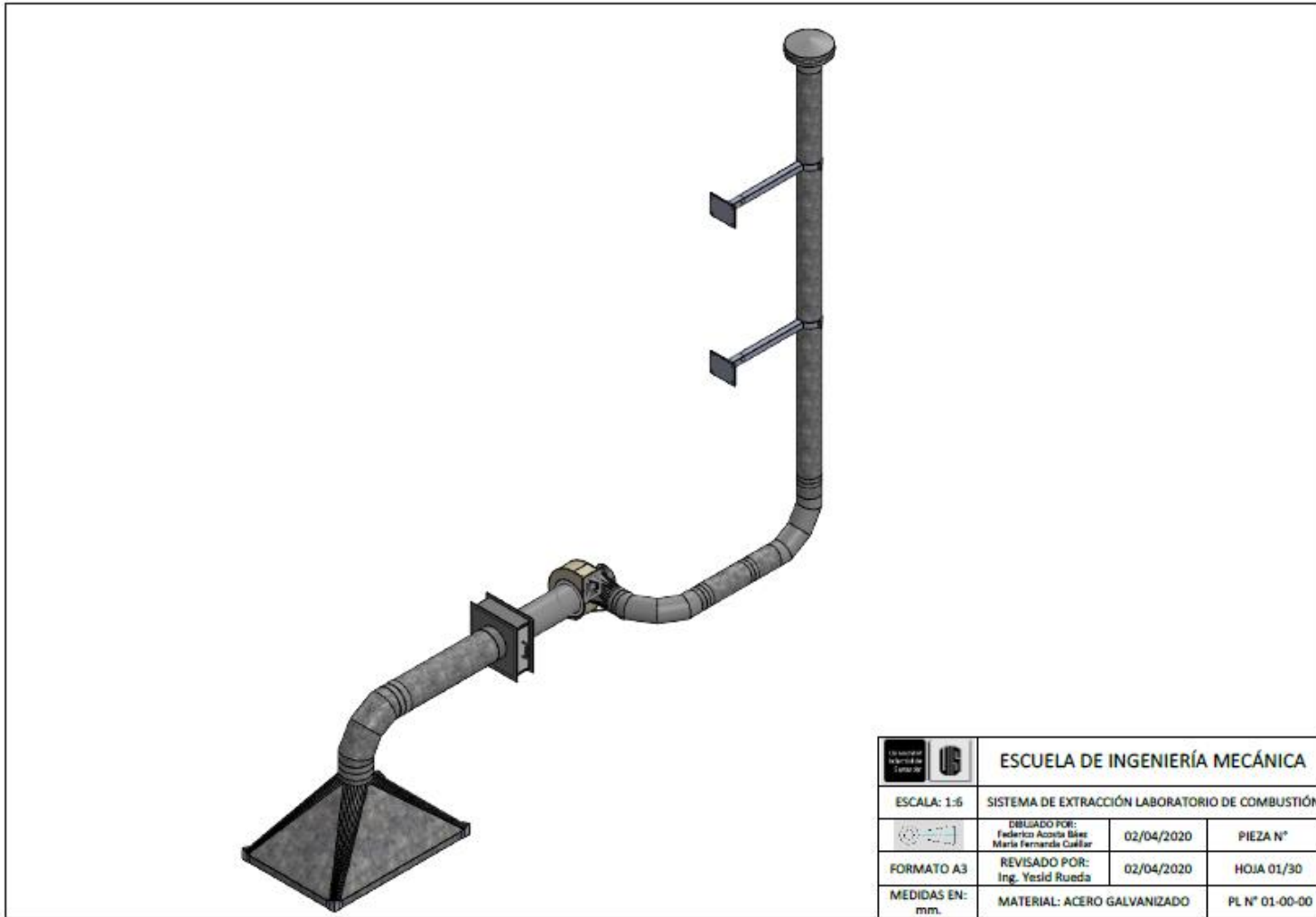
VALIDEZ OFERTA: 30 días.

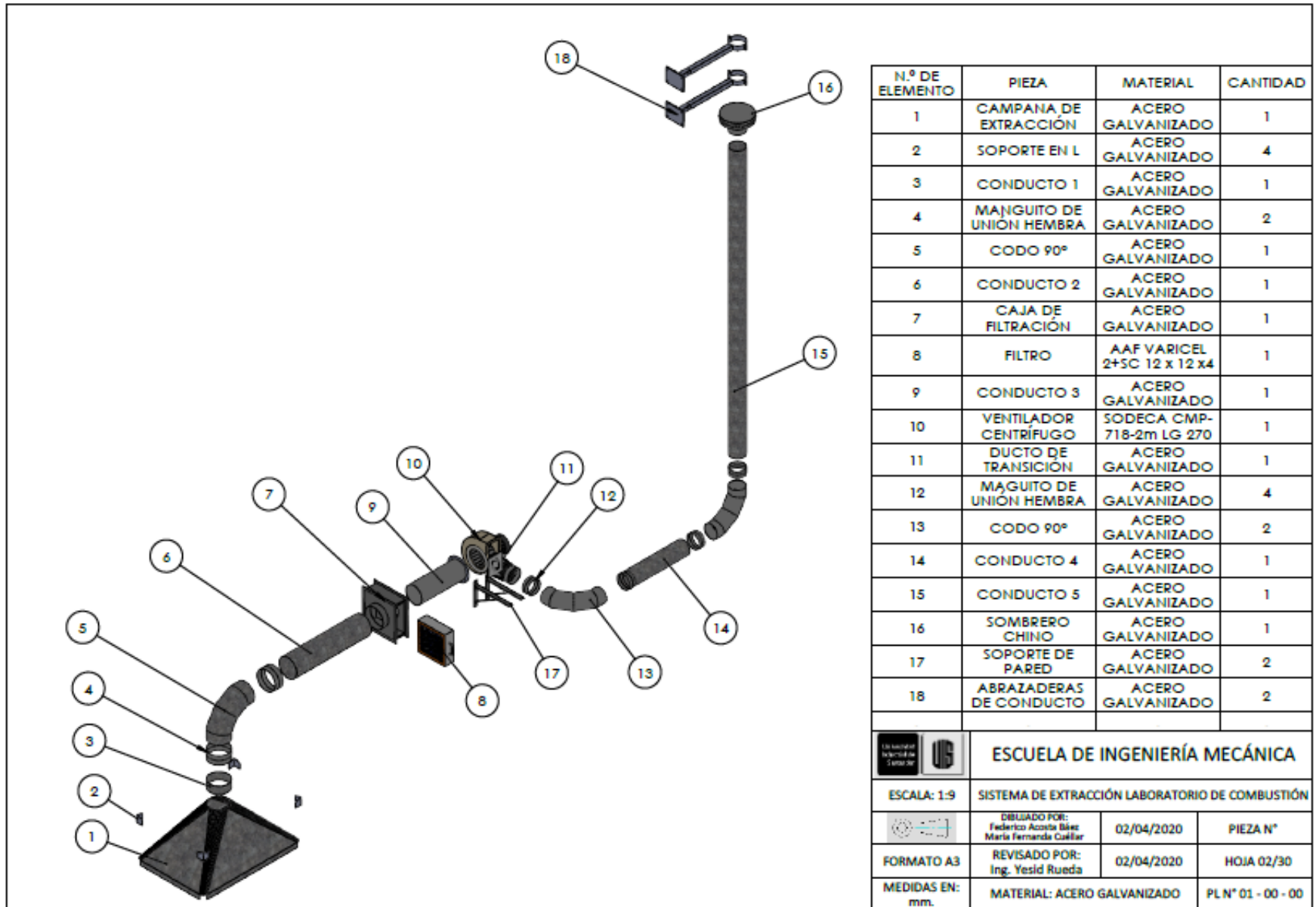
Cordialmente,



PABLO ANDRÉS CUERVO
Proyectos y montaje

Anexo S. Planos Diseño de sistema de extracción de gases.





N.º DE ELEMENTO	PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	CAMPANA DE EXTRACCIÓN	ACERO GALVANIZADO	1
2	SOPORTE EN L	ACERO GALVANIZADO	4
3	CONDUCTO 1	ACERO GALVANIZADO	1
4	MANJUITO DE UNIÓN HEMBRA	ACERO GALVANIZADO	2
5	CODO 90º	ACERO GALVANIZADO	1
6	CONDUCTO 2	ACERO GALVANIZADO	1
7	CAJA DE FILTRACIÓN	ACERO GALVANIZADO	1
8	FILTRO	AAF VARICEL 2+5C 12 x 12 x 4	1
9	CONDUCTO 3	ACERO GALVANIZADO	1
10	VENTILADOR CENTRÍFUGO	SODECA CMP-718-2m LG 270	1
11	DUCTO DE TRANSICIÓN	ACERO GALVANIZADO	1
12	MANJUITO DE UNIÓN HEMBRA	ACERO GALVANIZADO	4
13	CODO 90º	ACERO GALVANIZADO	2
14	CONDUCTO 4	ACERO GALVANIZADO	1
15	CONDUCTO 5	ACERO GALVANIZADO	1
16	SOMBRERO CHINO	ACERO GALVANIZADO	1
17	SOPORTE DE PARED	ACERO GALVANIZADO	2
18	ABRAZADERAS DE CONDUCTO	ACERO GALVANIZADO	2



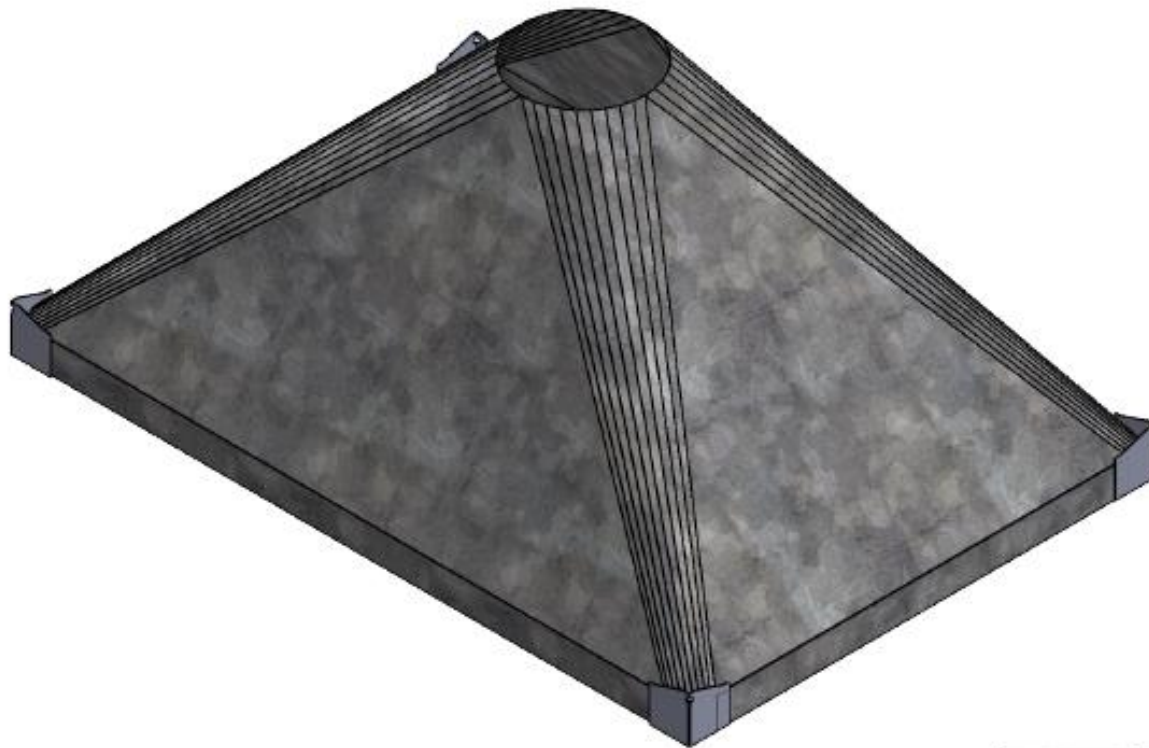
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA


ESCALA: 1:9 SISTEMA DE EXTRACCIÓN LABORATORIO DE COMBUSTIÓN

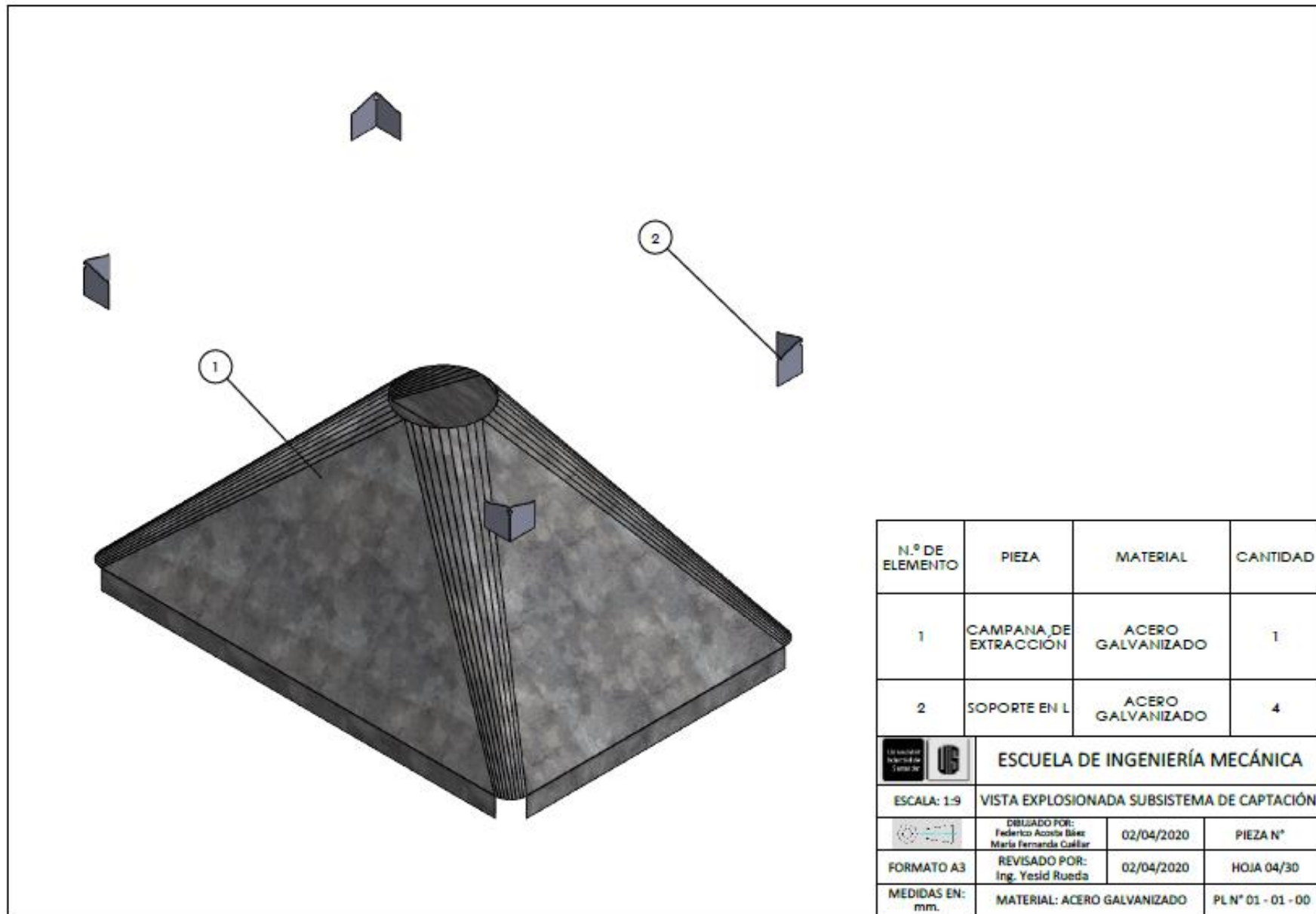
DIBUJADO POR: Federico Acosta Biez / María Fernanda Cuellar 02/04/2020 PIEZA N°

FORMATO A3 REVISADO POR: Ing. Yesid Rueda 02/04/2020 HOJA 02/30

MEDIDAS EN: mm. MATERIAL: ACERO GALVANIZADO PL N° 01 - 00 - 00

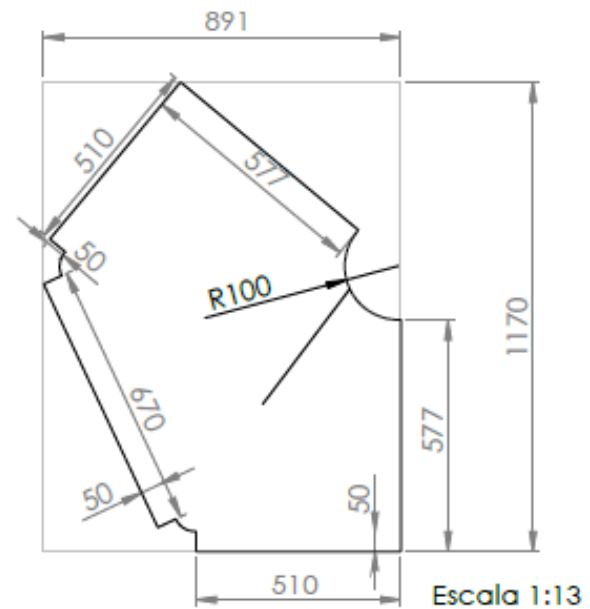
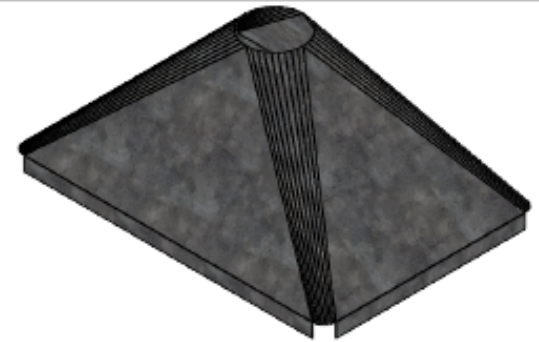
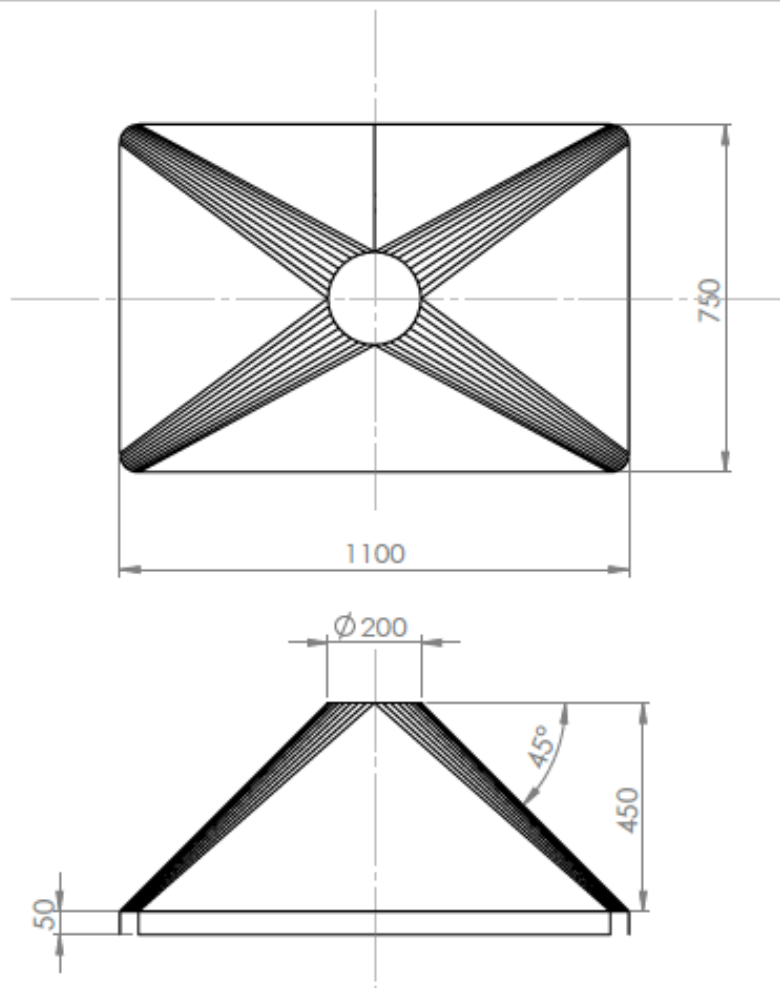


 	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ESCALA: 1:9	SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN		
	DIBUJADO POR: Federico Acosta Blier María Fernanda Cuñill	02/04/2020	PIEZA N°
FORMATO A3	REVISADO POR: Ing. Yesid Rueda	02/04/2020	HOJA 03/30
MEDIDAS EN: mm.	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO	PL N° 01 - 01 - 00	



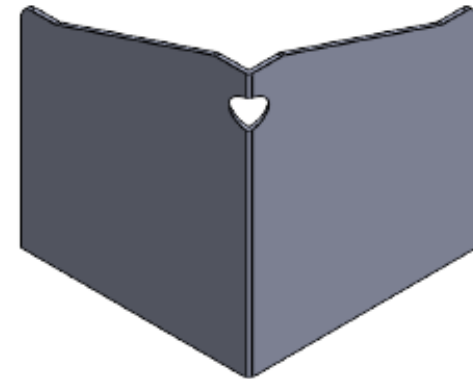
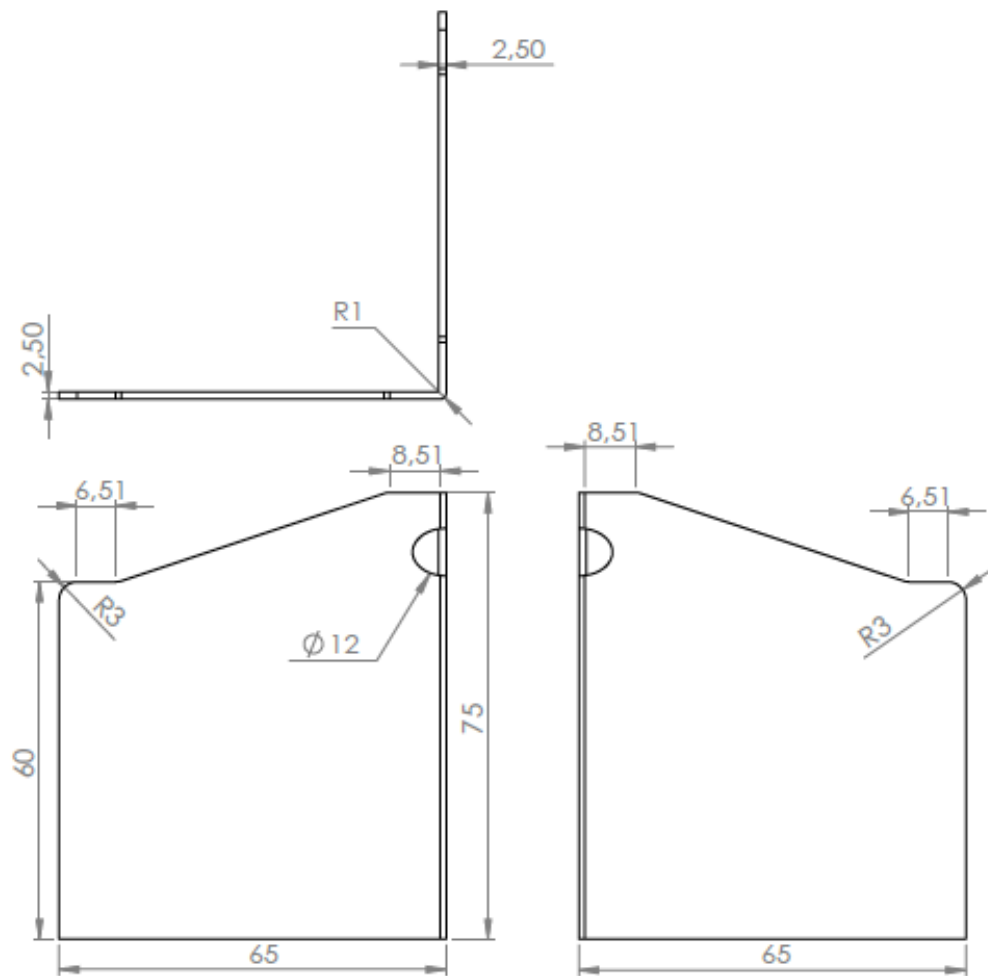
N.º DE ELEMENTO	PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	CAMPANA DE EXTRACCIÓN	ACERO GALVANIZADO	1
2	SOPORTE EN L	ACERO GALVANIZADO	4

		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
ESCALA: 1:9	VISTA EXPLOSIONADA SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN		
	DIBUJADO POR: Federico Acosta Bías María Fernanda Cuñillar	02/04/2020	PIEZA N°
FORMATO A3	REVISADO POR: Ing. Yesid Rueda	02/04/2020	HOJA 04/30
MEDIDAS EN: mm.	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO		PL N° 01 - 01 - 00



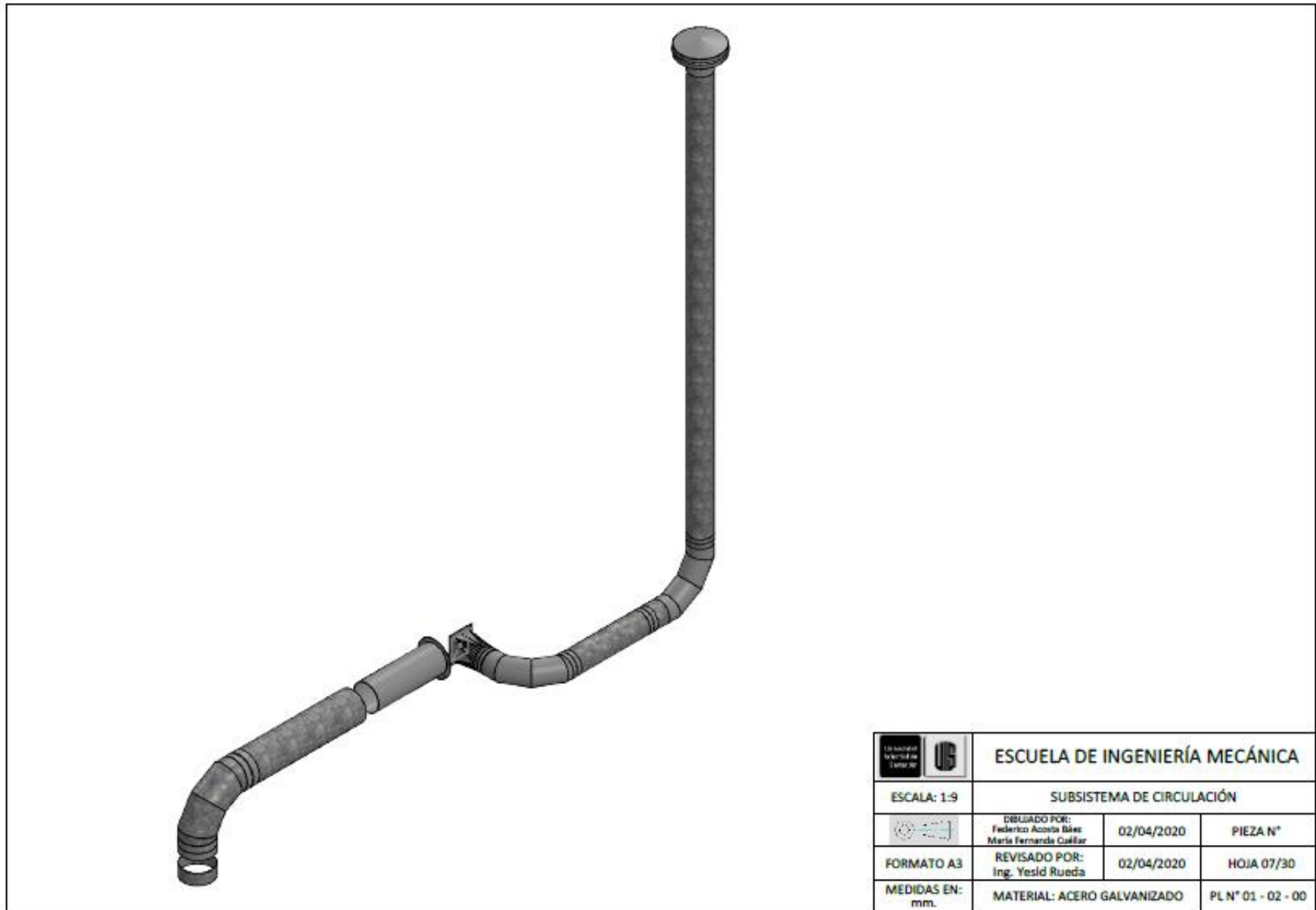
Nota: Cantidad : 2
 Lámina de Acero Galvanizado Calibre 16
 Soldadura 6010 para uniones

	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			CAMPANA DE EXTRACCIÓN		PIEZA N°1	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO
	ESCALA: 1:13	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Bóez María Fernanda Cuéllar			HOJA: 05/30

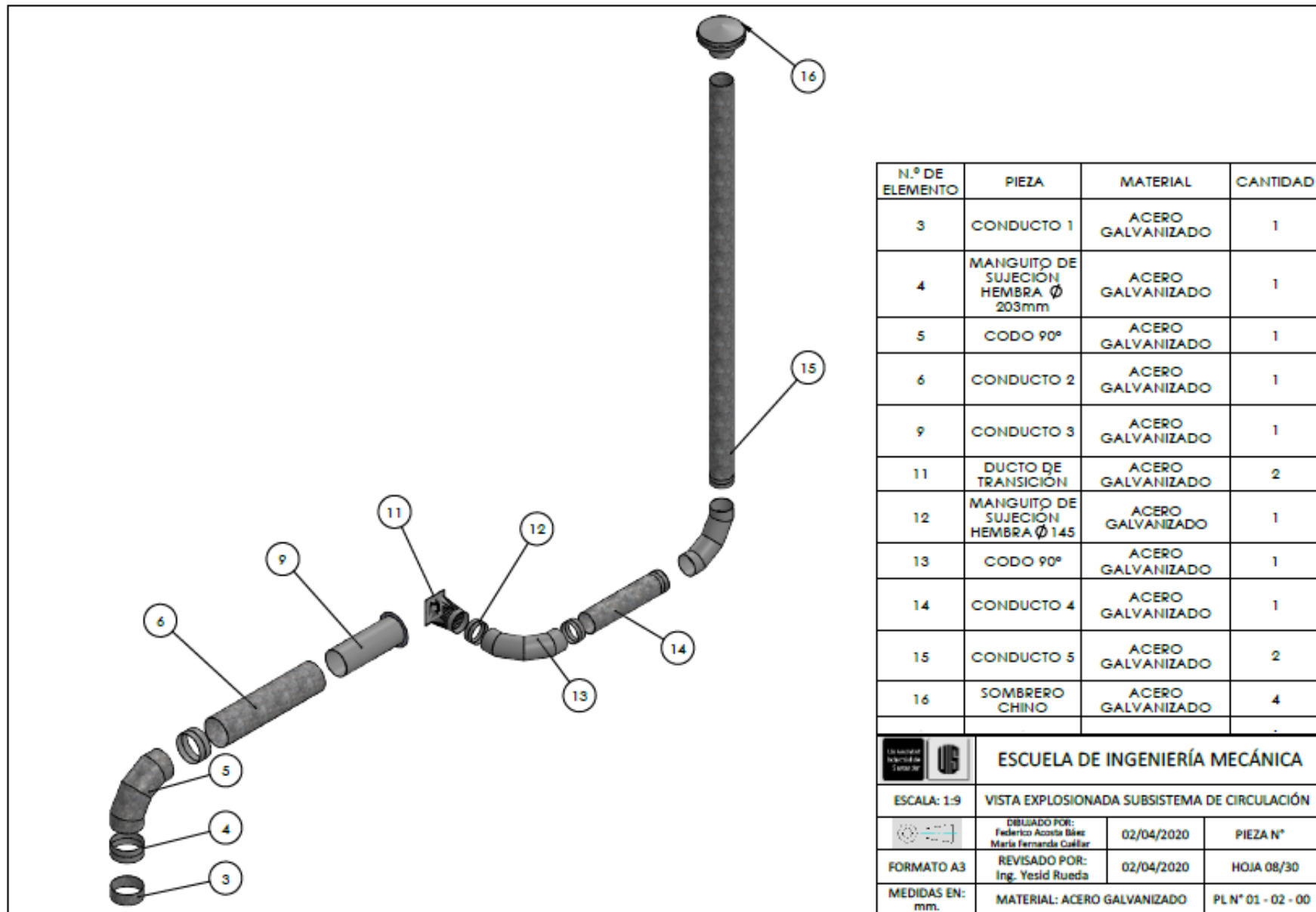


Nota: Cantidad : 4
 Lámina de Acero Galvanizado Calibre 12
 Soldadura 6010 para uniones

	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			SOPORTE EN L		PIEZA N° 2	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO
	ESCALA: 1:15	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuéllar		HOJA: 06/30	PL. #01-01-02

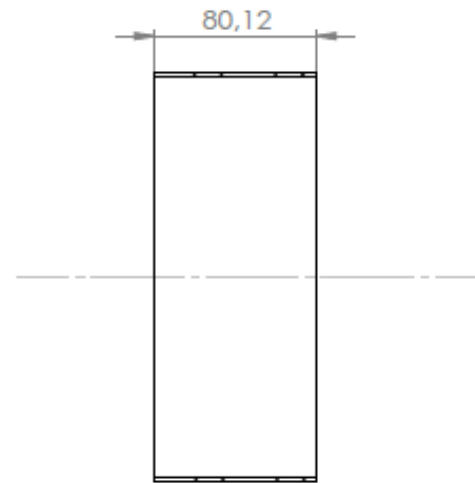
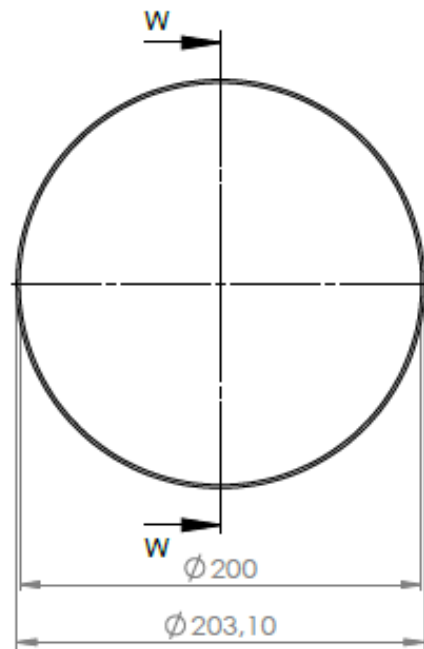


	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ESCALA: 1:9	SUBSISTEMA DE CIRCULACIÓN		
	DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuéllar	02/04/2020	PIEZA N°
FORMATO A3	REVISADO POR: Ing. Yesid Rueda	02/04/2020	HOJA 07/30
MEDIDAS EN: mm.	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO		PL N° 01 - 02 - 00



N.º DE ELEMENTO	PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
3	CONDUCTO 1	ACERO GALVANIZADO	1
4	MANGUITO DE SUJECIÓN HEMBRA Ø 203mm	ACERO GALVANIZADO	1
5	CODO 90º	ACERO GALVANIZADO	1
6	CONDUCTO 2	ACERO GALVANIZADO	1
9	CONDUCTO 3	ACERO GALVANIZADO	1
11	DUCTO DE TRANSICIÓN	ACERO GALVANIZADO	2
12	MANGUITO DE SUJECIÓN HEMBRA Ø 145	ACERO GALVANIZADO	1
13	CODO 90º	ACERO GALVANIZADO	1
14	CONDUCTO 4	ACERO GALVANIZADO	1
15	CONDUCTO 5	ACERO GALVANIZADO	2
16	SOMBRERO CHINO	ACERO GALVANIZADO	4





ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ESCALA: 1:9		VISTA EXPLOSIONADA SUBSISTEMA DE CIRCULACIÓN	
		DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cañalbar	02/04/2020
FORMATO A3		REVISADO POR: Ing. Yesid Rueda	02/04/2020
MEDIDAS EN: mm.		MATERIAL: ACERO GALVANIZADO	PL N° 01 - 02 - 00

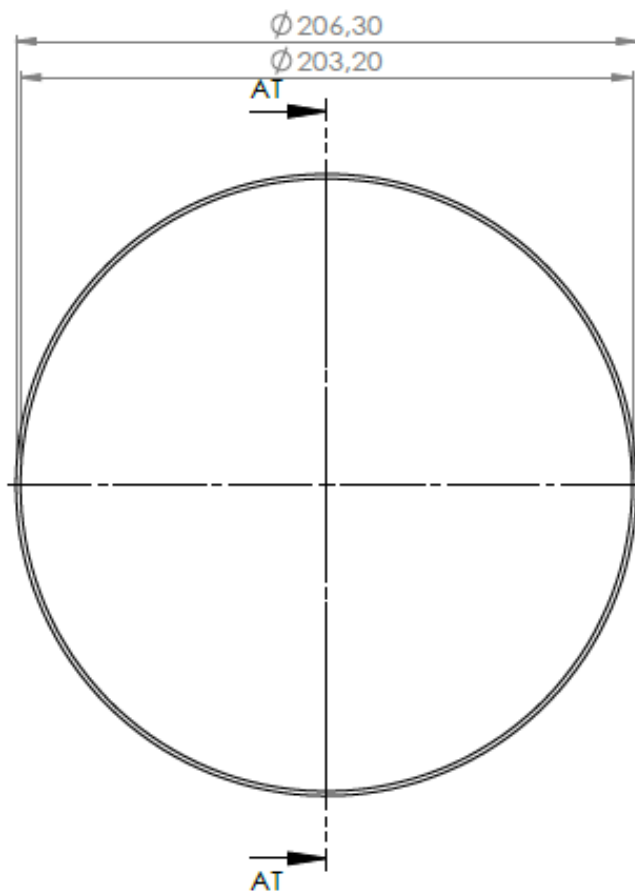


SECCIÓN W-W
ESCALA 1 : 3



Nota :Lámina de Acero Galvanizado Calibre 16
Soldadura 6010 para uniones

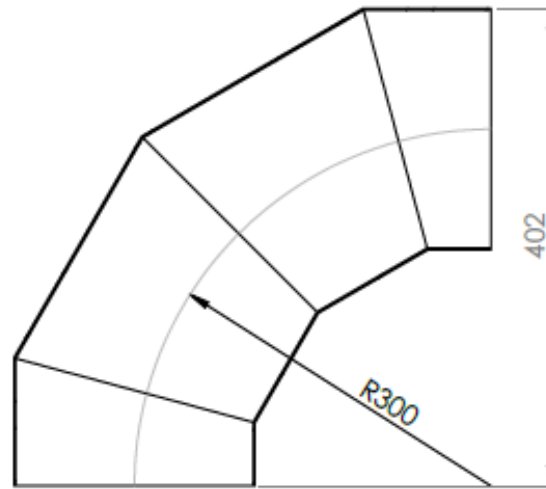
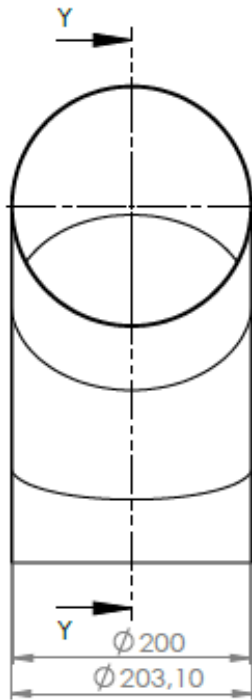
		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			CONDUCTO 1		PIEZA N°3	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO
		ESCALA: 1:15	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuéllar	 	HOJA: 09/30	PL. # 01-02-01



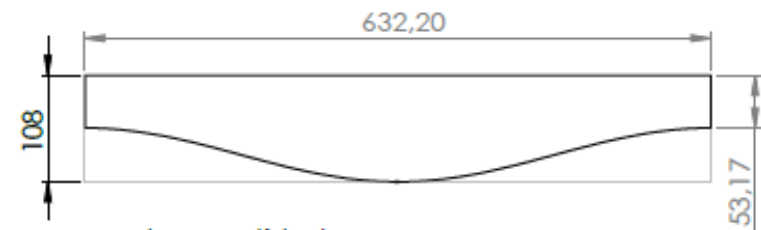
SECCIÓN AT-AT
ESCALA 1 : 2

Nota :Lámina de Acero Galvanizado Calibre 16
Soldadura 6010 para uniones




	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			MANGO DE SUJECIÓN		PIEZA N° 4	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO
	ESCALA: 1:15	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Bóez María Fernanda Cuéllar		HOJA: 10/30	PL. # 01-02-02

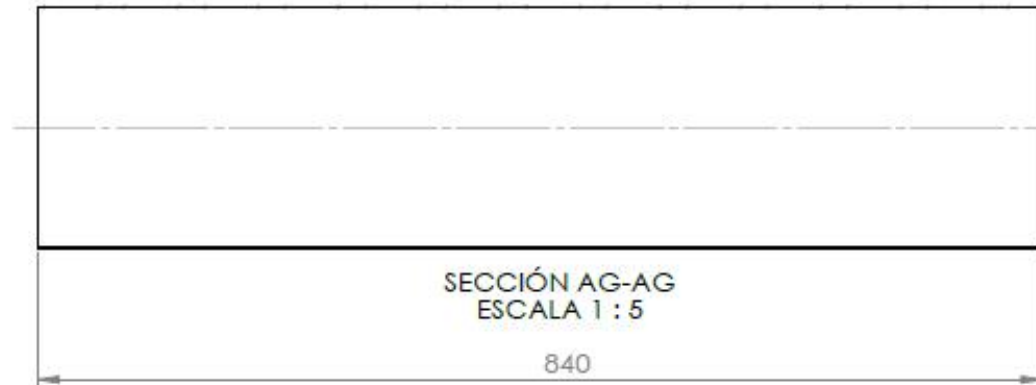
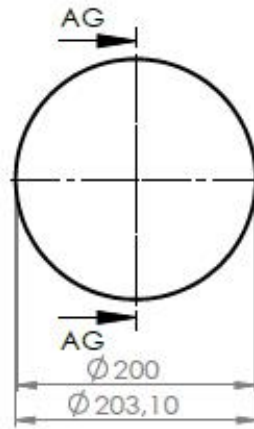
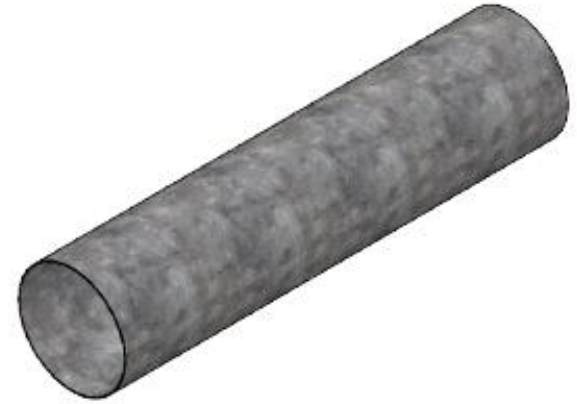


SECCIÓN Y-Y
ESCALA 1 : 5



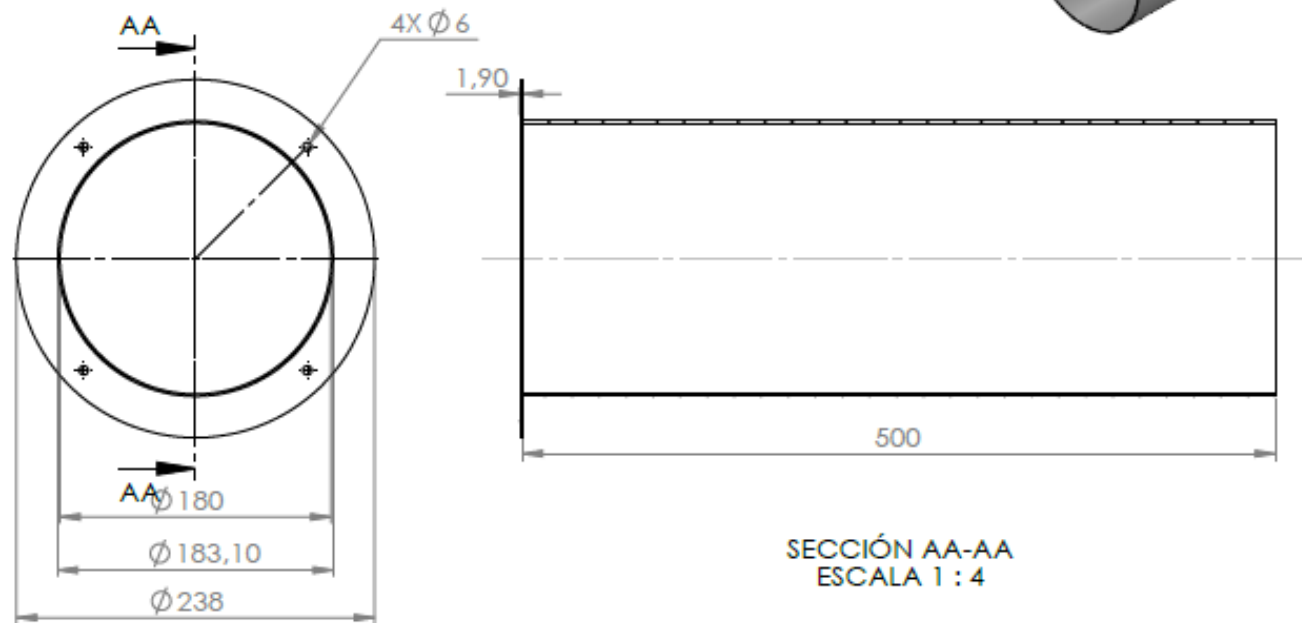
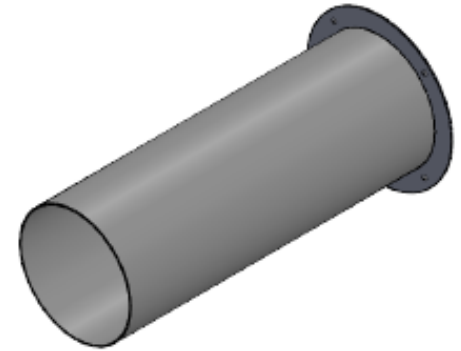
Nota : Cantidad: 6
Lámina de Acero Galvanizado Calibre 16
Soldadura 6010 para uniones

			ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CODO 90 °		PIEZA N°5		MATERIAL: ACERO GALVANIZADO	
	ESCALA: 1:15	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuéllar				HOJA: 11/30		PL. # 01-02-03



Nota :Lámina de Acero Galvanizado Calibre 16
Soldadura 6010 para uniones

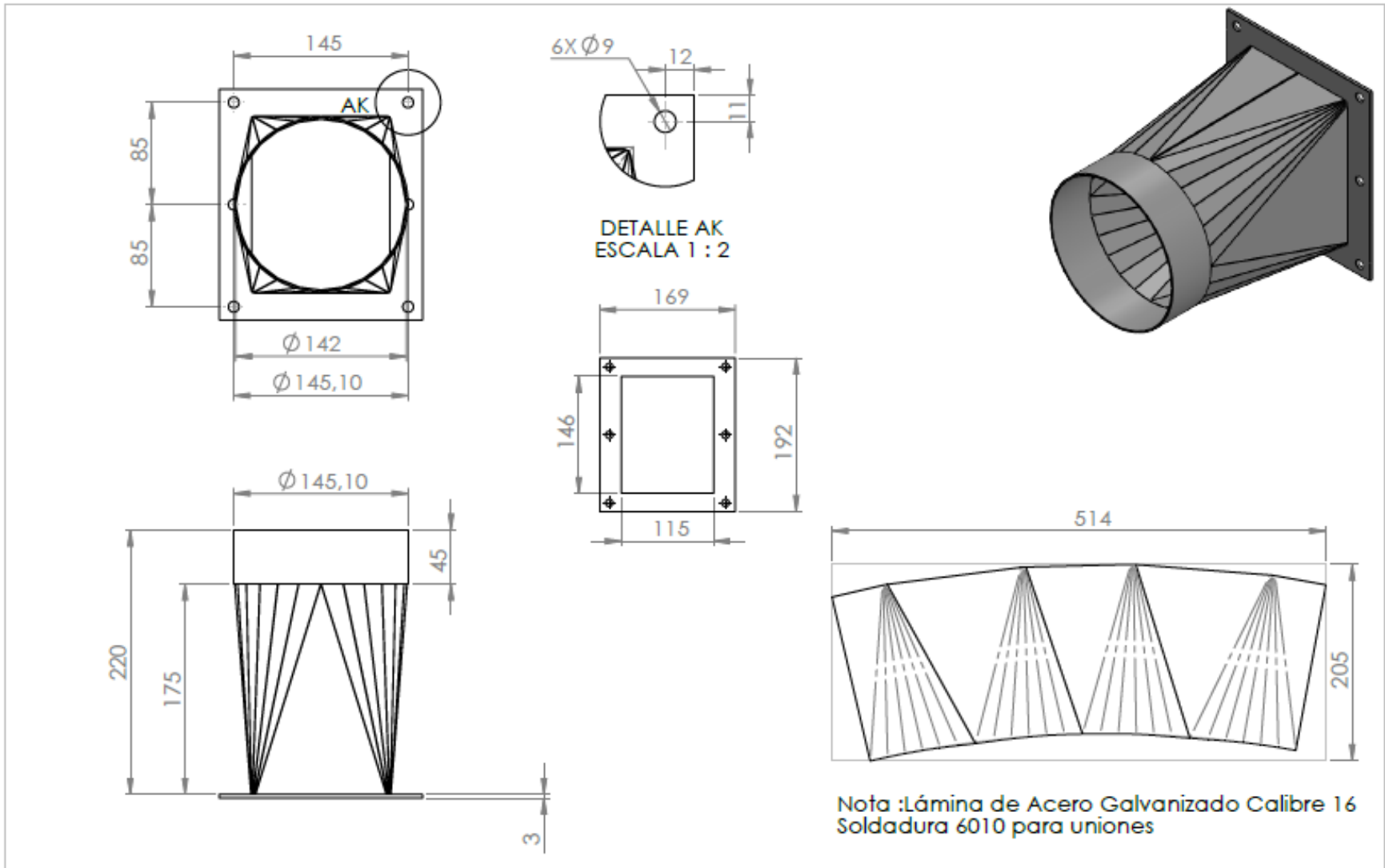
	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CONDUCTO 2		PIEZA N°6	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO
	ESCALA: 1:5	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuellar		HOJA: 12/30



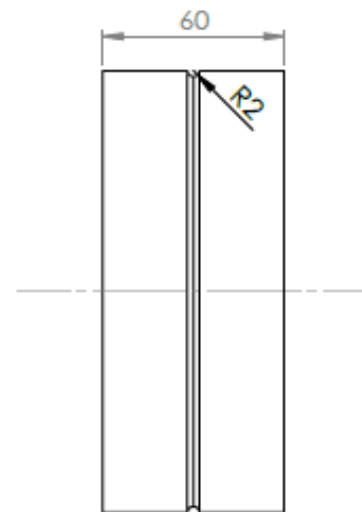
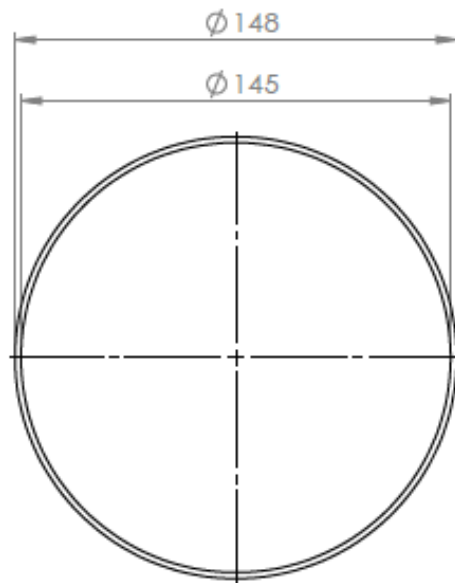
SECCIÓN AA-AA
ESCALA 1 : 4

Nota :Lámina de Acero Galvanizado Calibre 16
Soldadura 6010 para uniones





	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			CONDUCTO 3		PIEZA N°7		MATERIAL: ACERO GALVANIZADO	
	ESCALA: 1:15	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuéllar			HOJA: 13/30	PL. # 01-02-04	

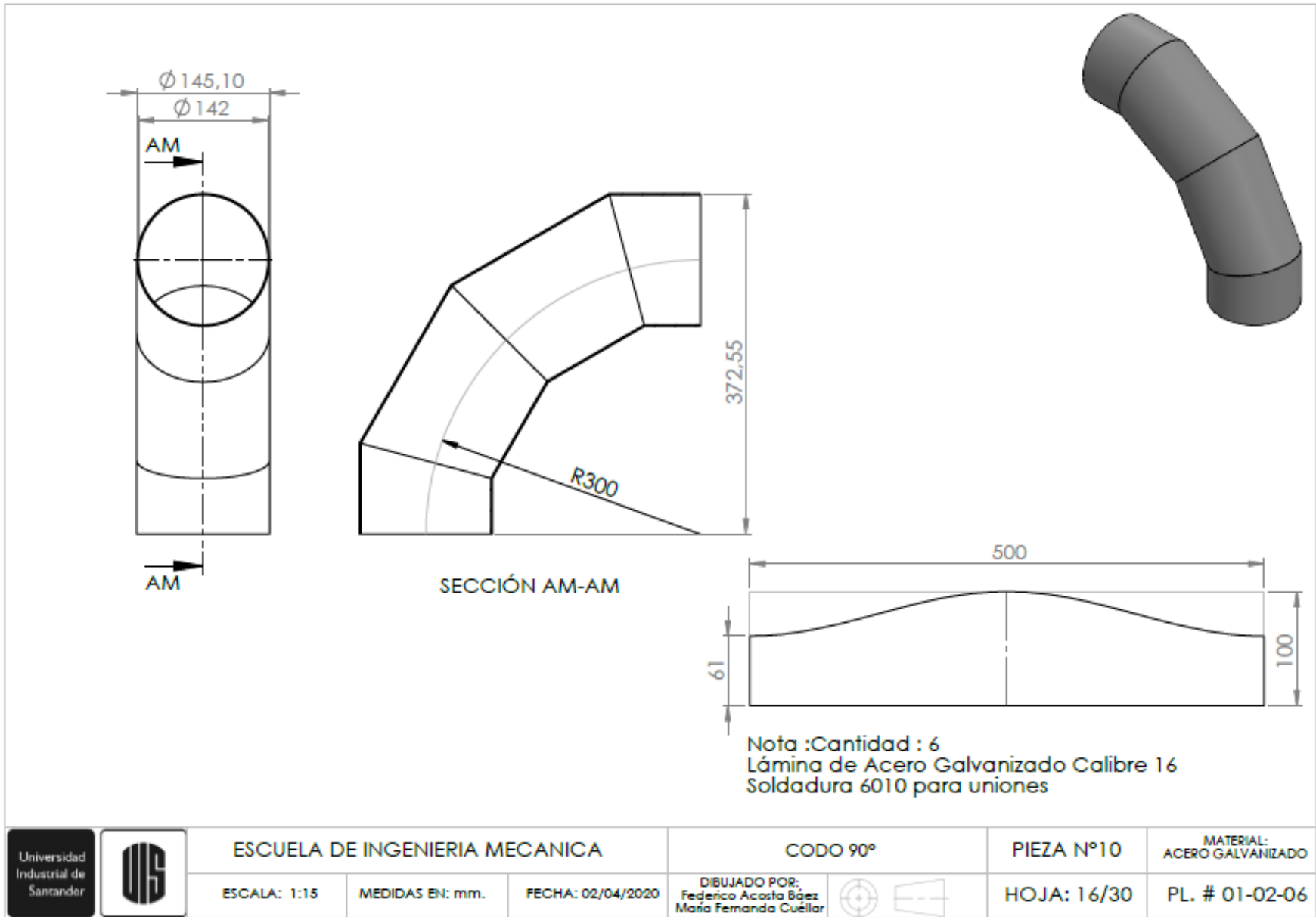


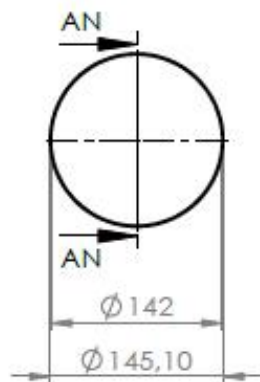
	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			DUCTO DE TRANSICIÓN		PIEZA Nº8		MATERIAL: ACERO GALVANIZADO	
	ESCALA: 1:4	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuéllar			HOJA: 14/30		PL. # 01-02-05



Nota :Lámina de Acero Galvanizado Calibre 16
Soldadura 6010 para uniones

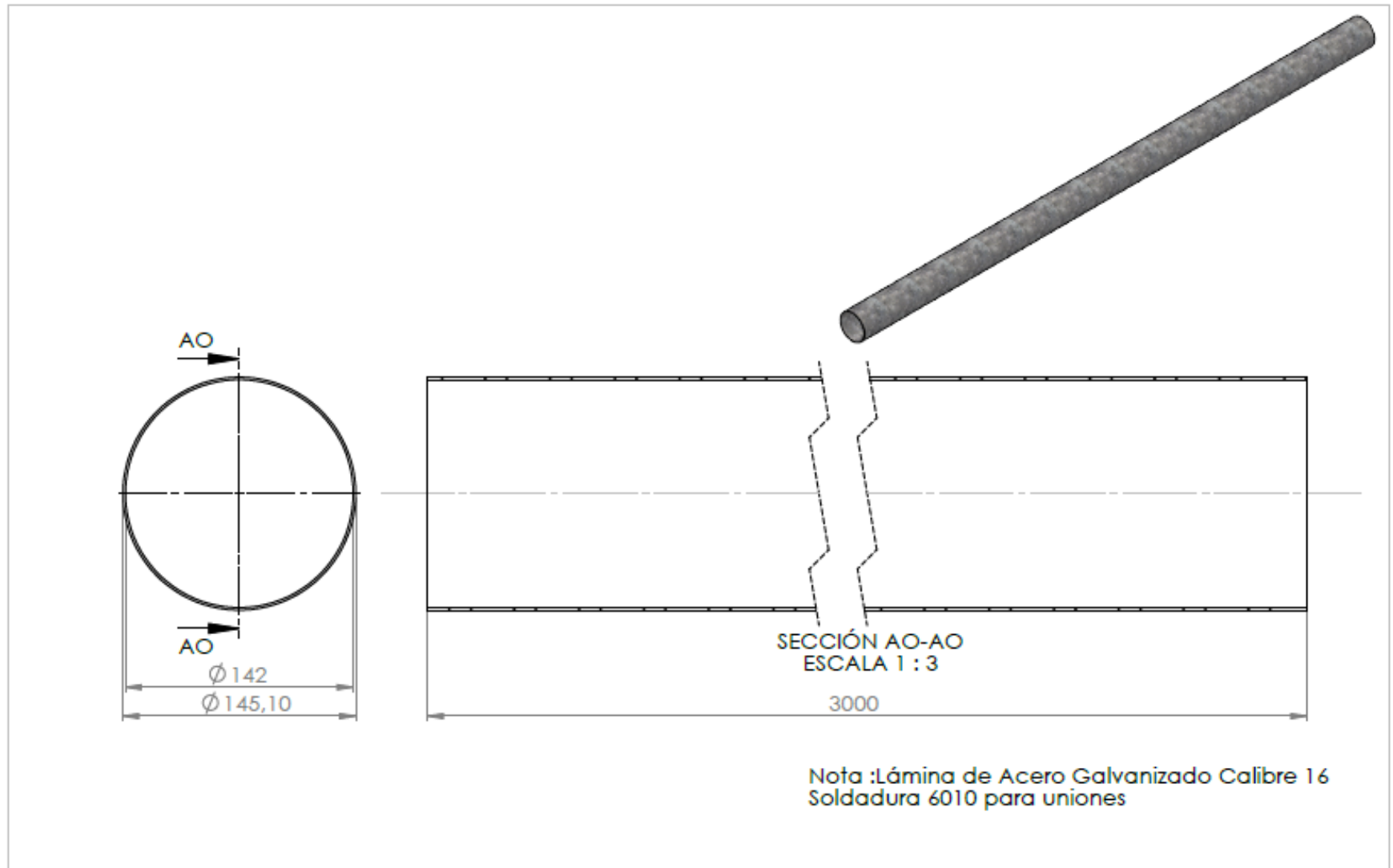
		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			MANGUITO DE SUJECIÓN		PIEZA N°9	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO
		ESCALA: 1:15	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Bages María Fernanda Cuellar	 	HOJA: 15/30	PL. # 01-02-06







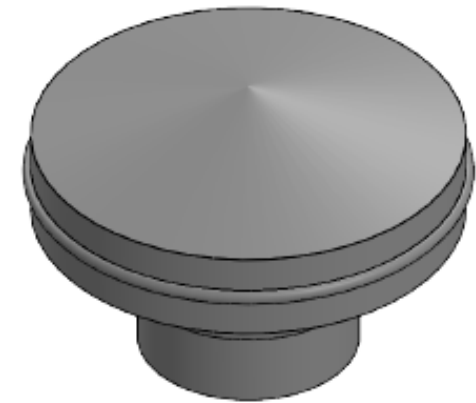
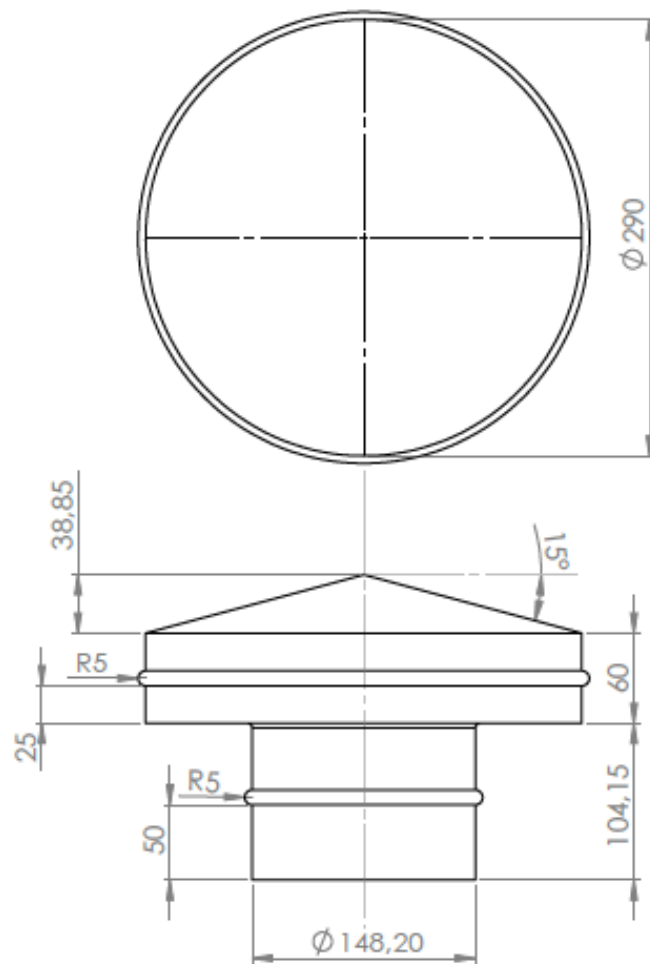
Nota :Lámina de Acero Galvanizado Calibre 16
Soldadura 6010 para uniones

	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			CONDUCTO 4		PIEZA N° 11	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO
	ESCALA: 1:15	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuéllar	 	HOJA: 17/30	PL. # 01-02-07






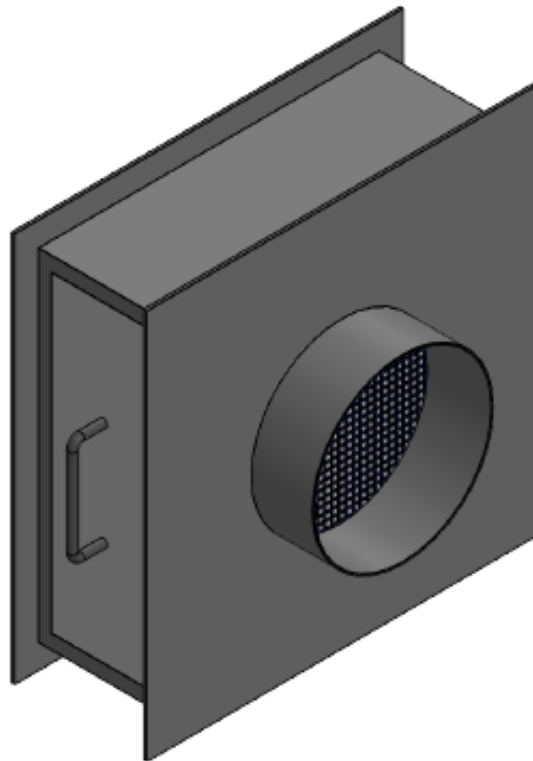
Nota :Lámina de Acero Galvanizado Calibre 16 Soldadura 6010 para uniones



	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			CONDUCTO 5		PIEZA N°12	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO
	ESCALA: 1:15	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuéllar		HOJA: 18/30	PL. # 01-02-08

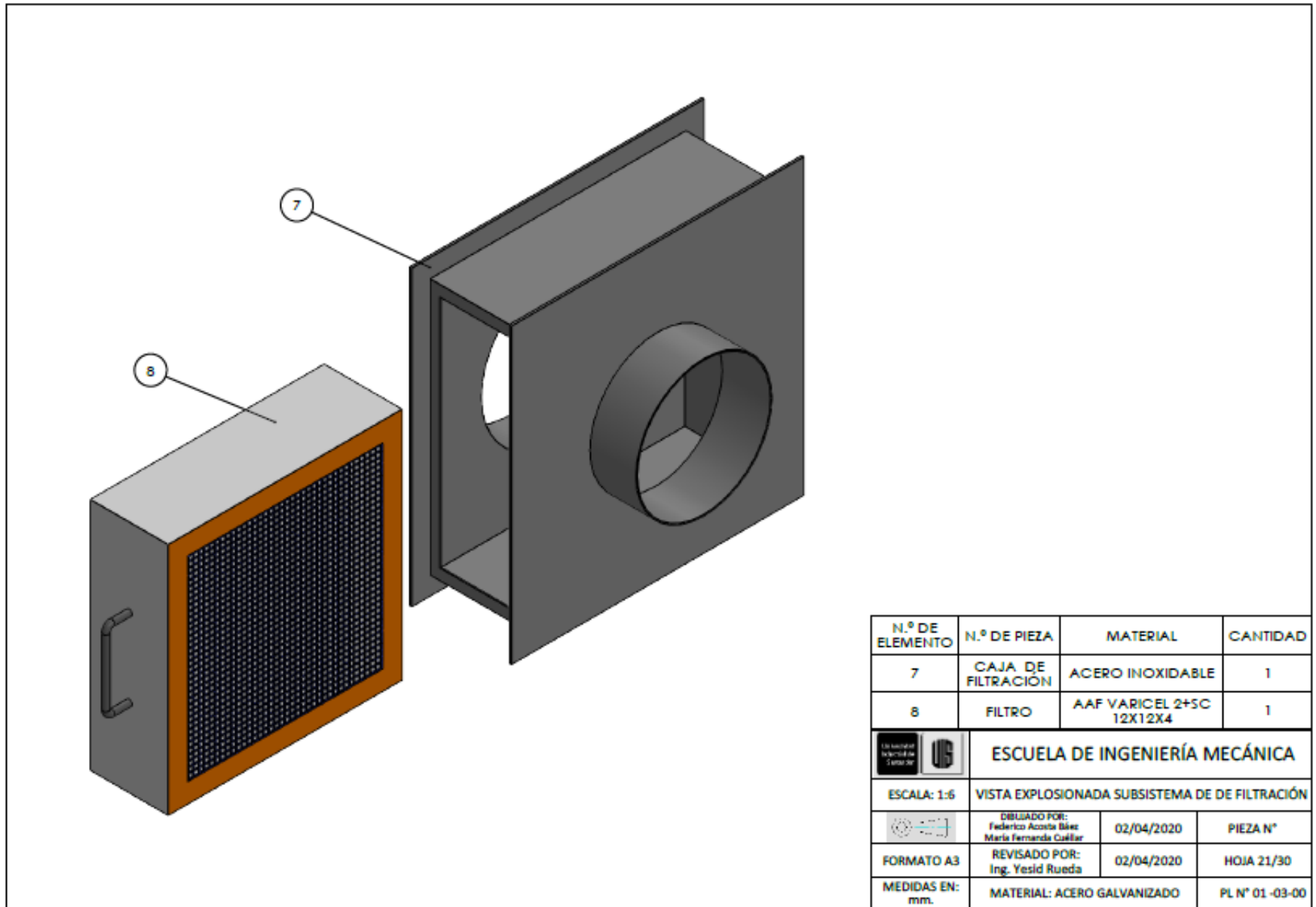


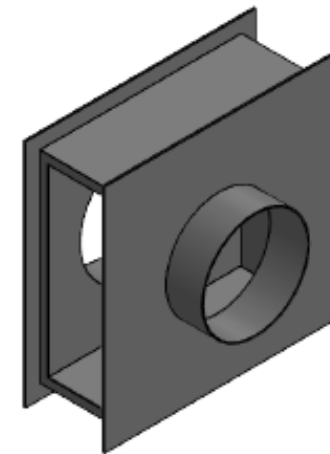
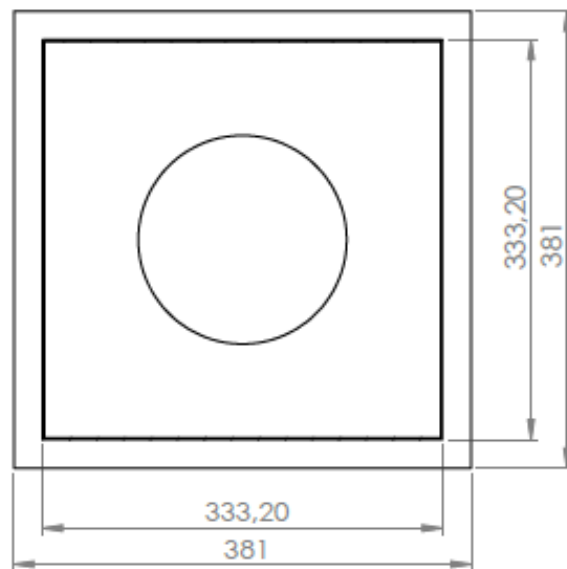
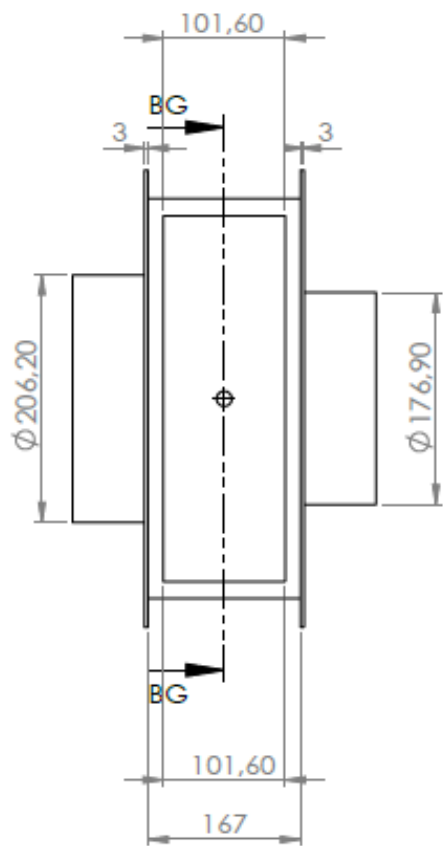
Nota :Lámina de Acero Galvanizado Calibre 16
Soldadura 6010 para uniones

Universidad Industrial de Santander 	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			SOMBRERO CHINO		PIEZA N° 13	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO
	ESCALA: 1:15	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuéllar	 	HOJA: 19/30	PL. # 01-02-09



	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ESCALA: 1:6	SUBSISTEMA DE FILTRACIÓN		
	DESIGNADO POR: Federico Acosta Biles María Fernanda Culler	02/04/2020	PIEZA N°
FORMATO A3	REVISADO POR: Ing. Yesid Rueda	02/04/2020	HOJA 20/30
MEDIDAS EN: mm.	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO		PL N° 01 -03-00

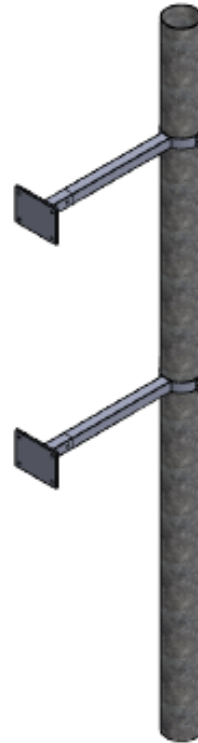
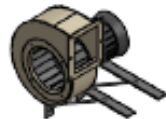






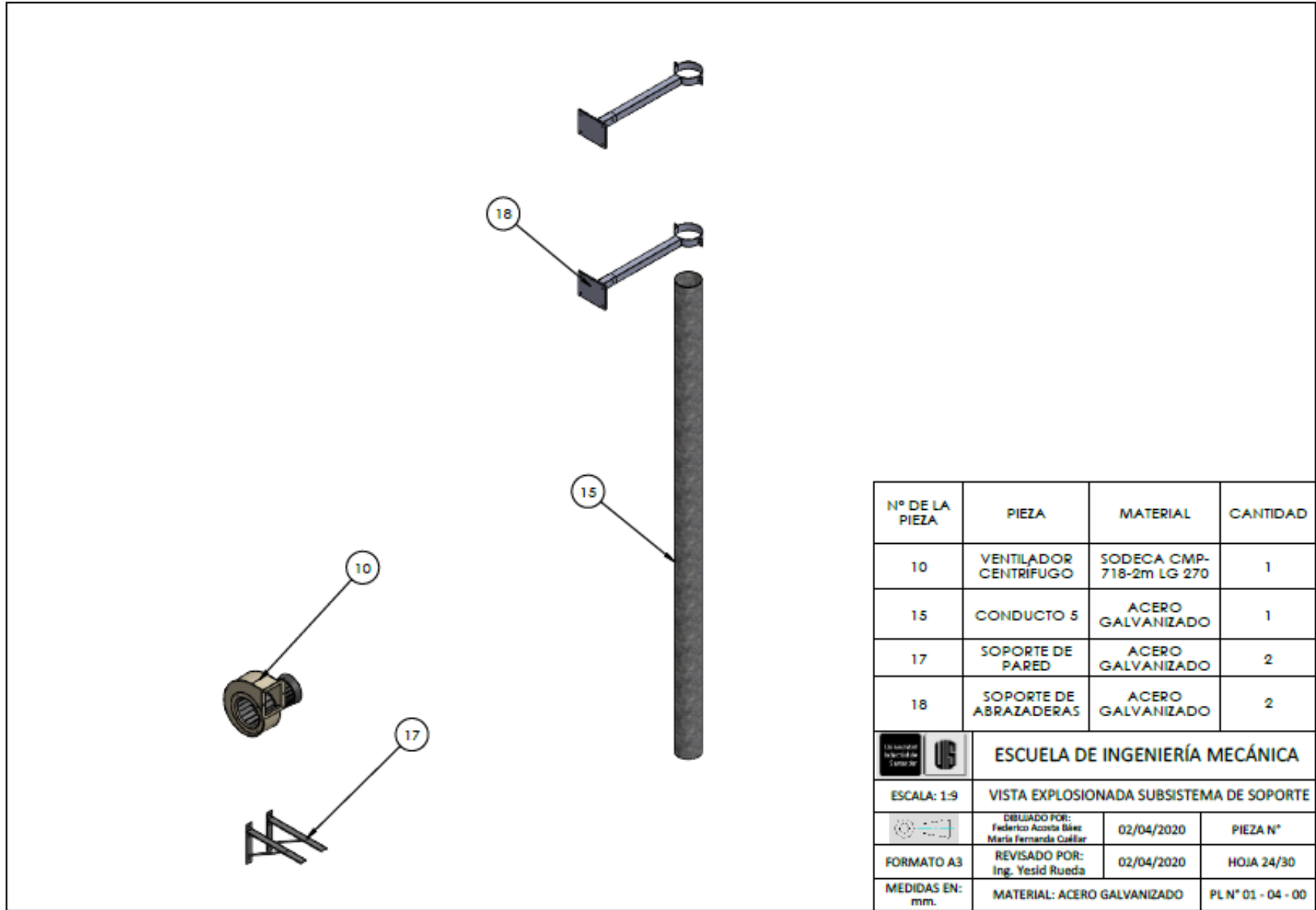
SECCIÓN BG-BG
ESCALA 1 : 5



Nota: Lámina de Acero Galvanizado Calibre 16
Soldadura 6010 para uniones

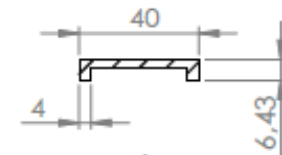
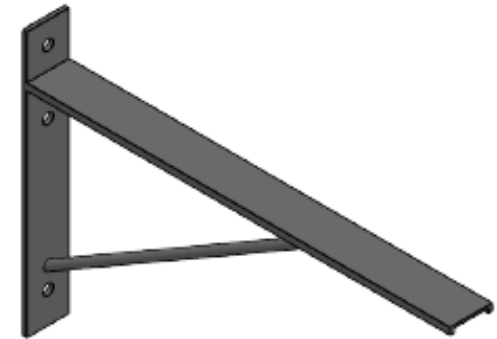
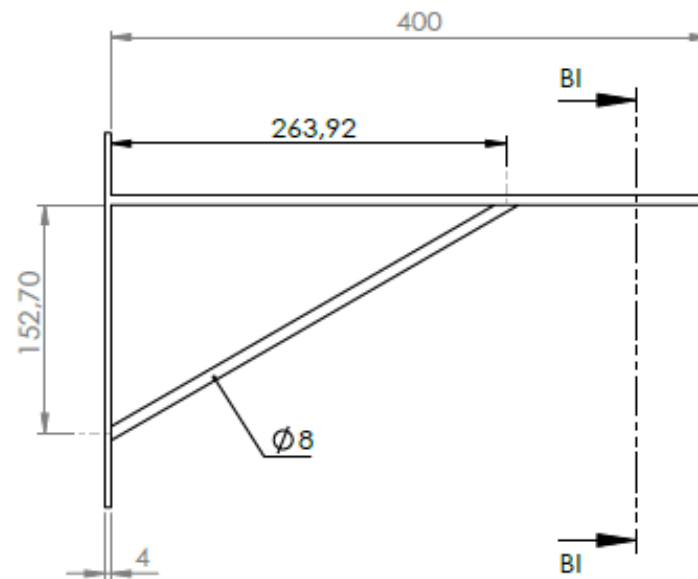
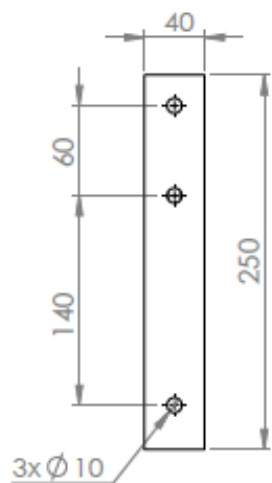
	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			CAJA DE FILTRACION		PIEZA N° 14	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO
	ESCALA: 1:5	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuéllar		HOJA: 22/30	PL. # 01-03-01



	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ESCALA: 1:9	SUBSISTEMA DE SOPORTE		
	DIBUJADO POR: Federico Acosta Biez María Fernanda Cañillar	02/04/2020	PIEZA N°
FORMATO A3	REVISADO POR: Ing. Yesid Rueda	02/04/2020	HOJA 23/30
MEDIDAS EN: mm.	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO	PL N° 01 - 04 - 00	



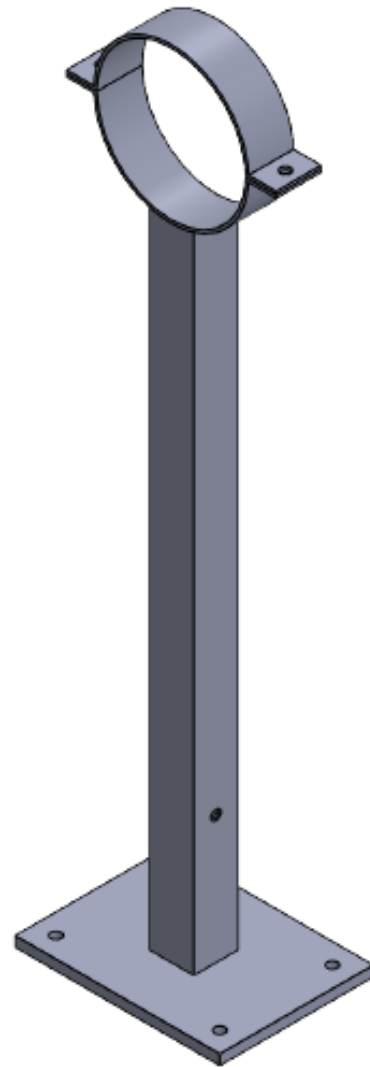
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ESCALA: 1:9		VISTA EXPLOSIONADA SUBSISTEMA DE SOPORTE	
		DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuéllar	PIEZA N°
FORMATO A3		REVISADO POR: Ing. Yesid Rueda	HOJA 24/30
MEDIDAS EN: mm.		MATERIAL: ACERO GALVANIZADO	PL N° 01 - 04 - 00





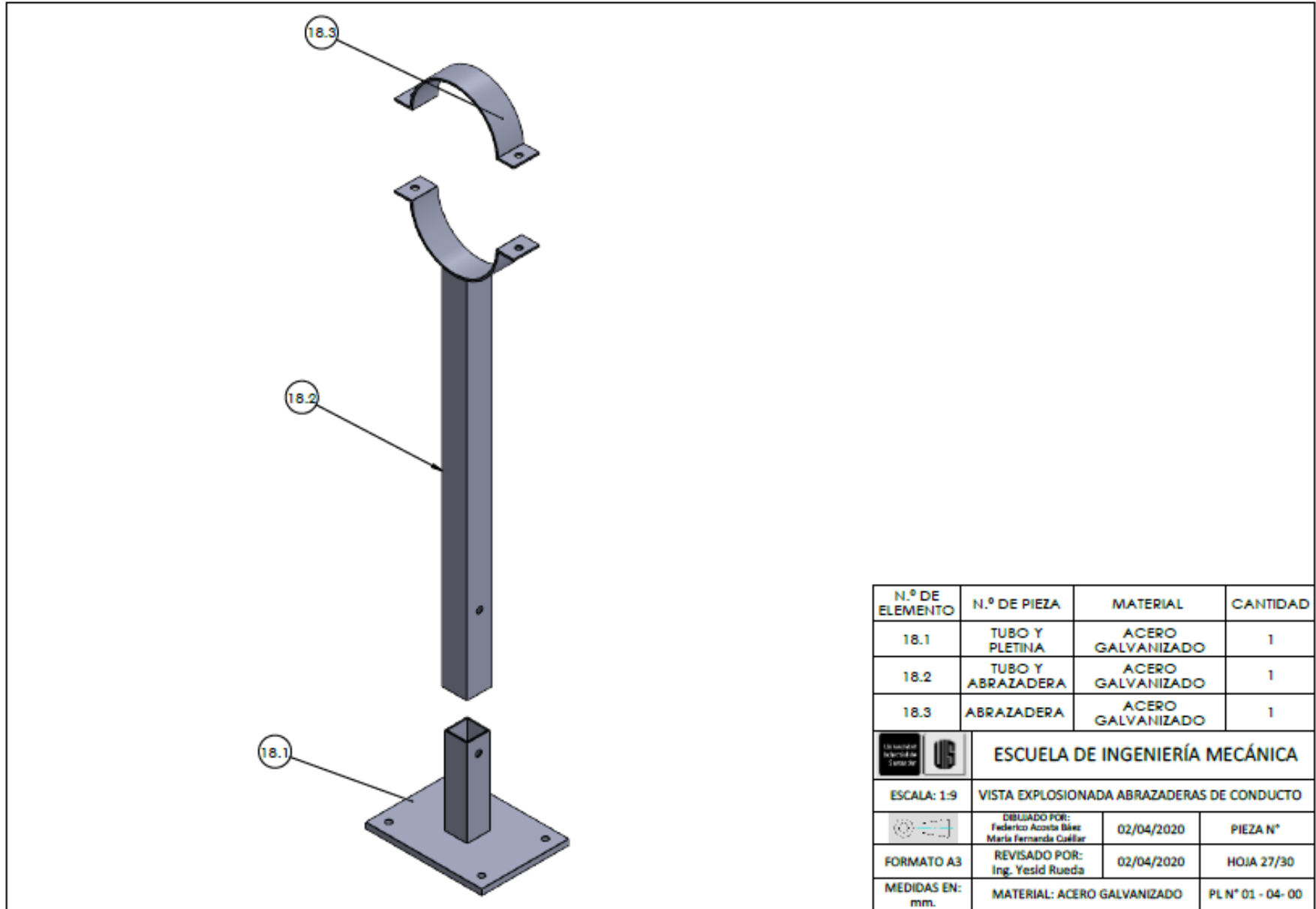
SECCIÓN BI-BI
ESCALA 1 : 2

Nota :Lámina de Acero Galvanizado Calibre 16
Soldadura 6010 para uniones

	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			SOPORTE DE PARED		PIEZA N° 15	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO
	ESCALA: 1:15	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Bages María Fernanda Cuéllar		HOJA: 25/30	PL. # 01-04-01

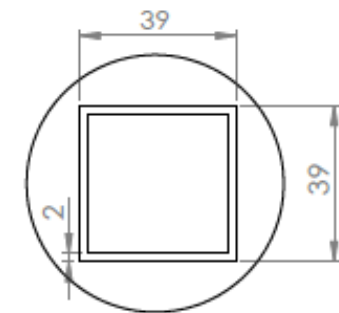
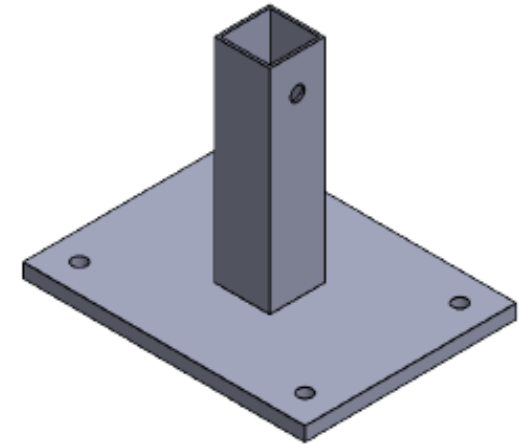
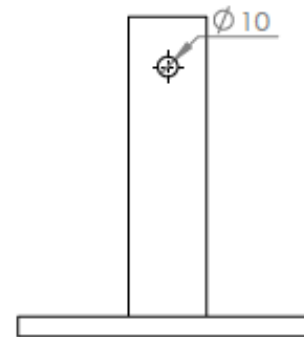
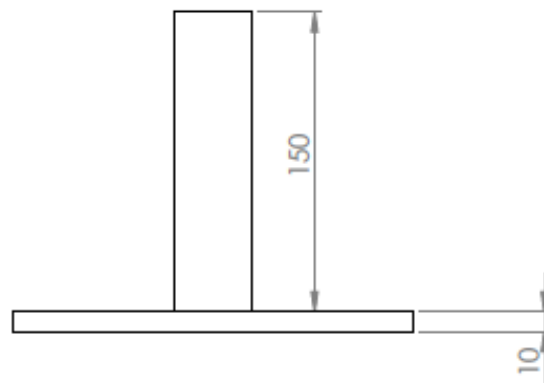
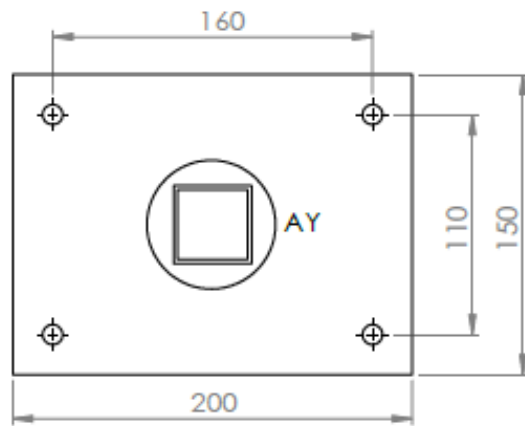


	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ESCALA: 1:9	ABRAZADERAS DE CONDUCTO		
	DESIGNADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuñillar	02/04/2020	PIEZA N°
FORMATO A3	REVISADO POR: Ing. Yesid Rueda	02/04/2020	HOJA 26/30
MEDIDAS EN: mm.	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO		PL N° 01 - 04 - 00



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
18.1	TUBO Y PLETINA	ACERO GALVANIZADO	1
18.2	TUBO Y ABRAZADERA	ACERO GALVANIZADO	1
18.3	ABRAZADERA	ACERO GALVANIZADO	1

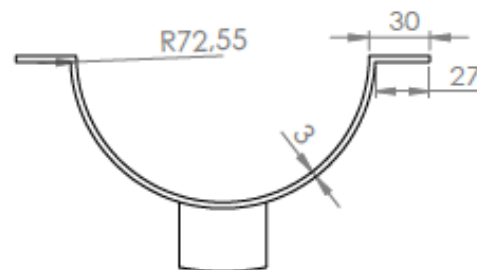
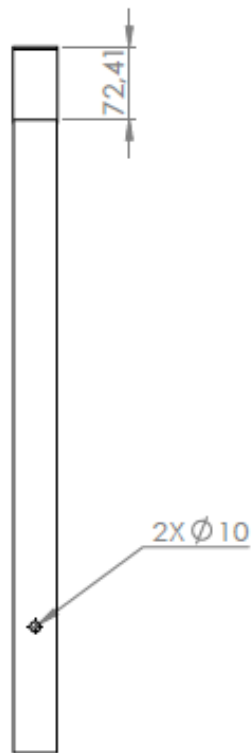
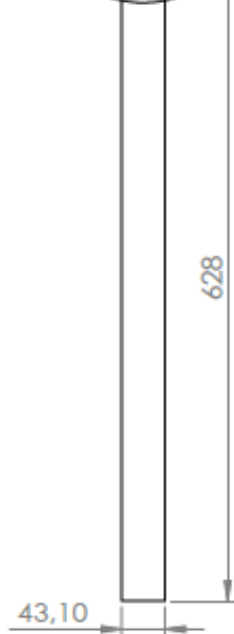
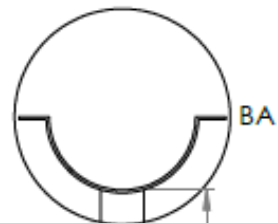
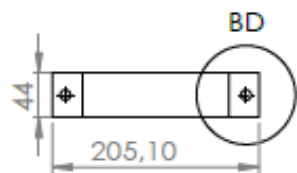
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ESCALA: 1:9		VISTA EXPLOSIONADA ABRAZADERAS DE CONDUCTO	
		DIBUJADO POR: Federico Acosta Bález María Fernanda Cañillar	02/04/2020
FORMATO A3	REVISADO POR: Ing. Yesid Rueda	02/04/2020	PIEZA N° HOJA 27/30
MEDIDAS EN: mm.	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO		PL N° 01 - 04- 00



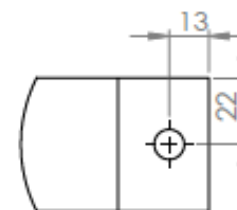
DETALLE AY
ESCALA 2 : 3

Nota :Lámina de Acero Galvanizado Calibre 16
Soldadura 6010 para uniones

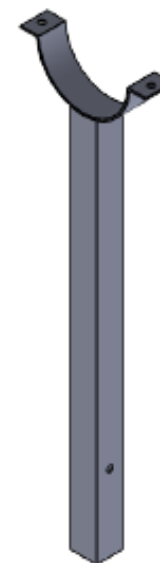
	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			TUBO Y PLETINA		PIEZA N° 16	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO
	ESCALA: 1:15	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuéllar		HOJA: 28/30	PL #01-04-02



DETALLE BA
ESCALA 1 : 3



DETALLE BD
ESCALA 1 : 2



Nota :Lámina de Acero Galvanizado Calibre 16
Soldadura 6010 para uniones

Universidad
Industrial de
Santander



ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

TUBO Y ABRAZADERA

PIEZA N° 17

MATERIAL:
ACERO GALVANIZADO

ESCALA: 1:15

MEDIDAS EN: mm.

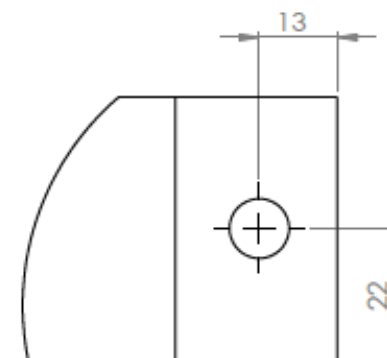
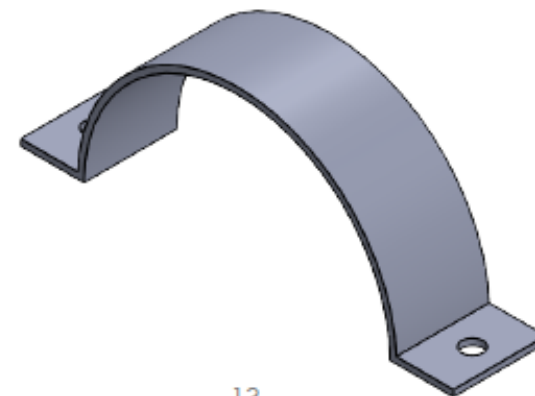
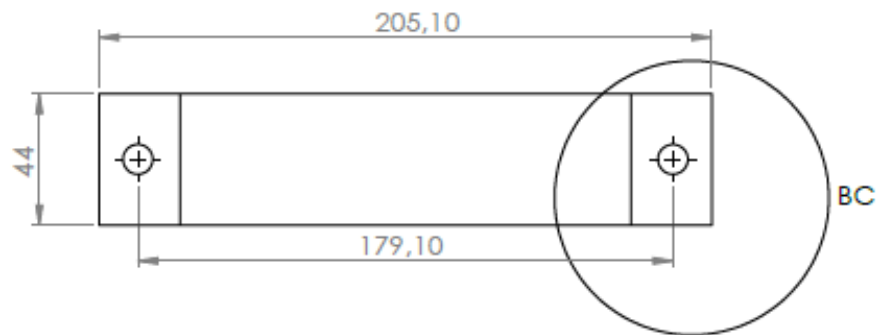
FECHA: 02/04/2020

DIBUJADO POR:
Federico Acosta Baez
María Fernanda Cuéllar

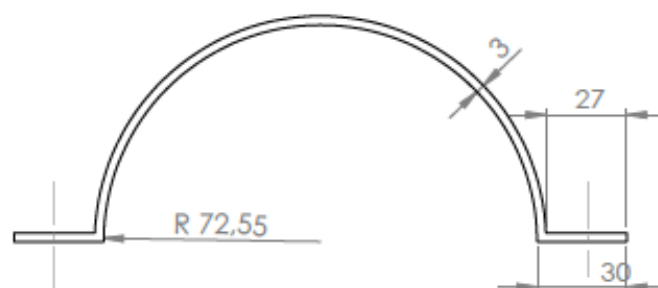


HOJA: 29/30



PL. # 01-04-03



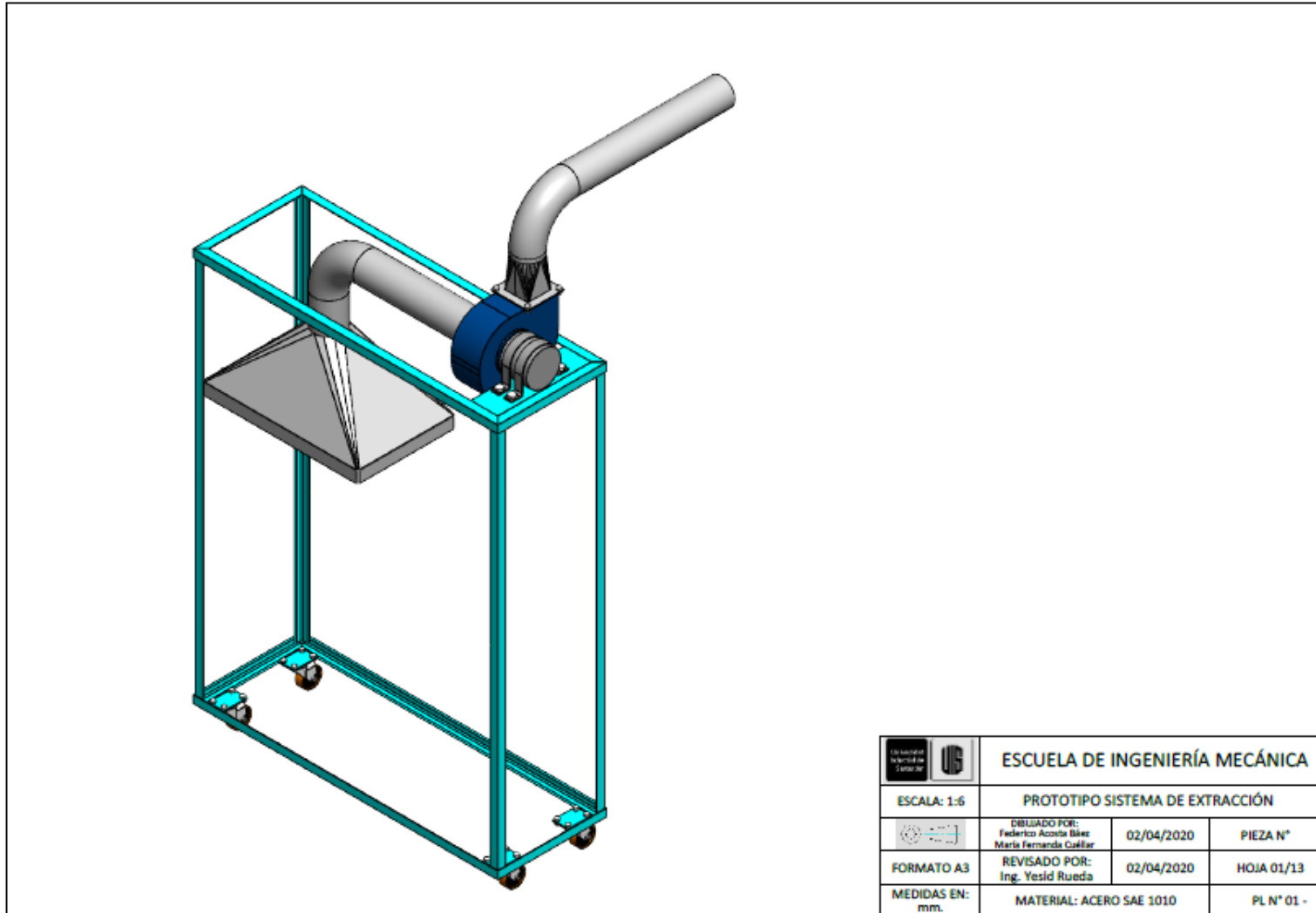
DETALLE BC
ESCALA 1 : 1

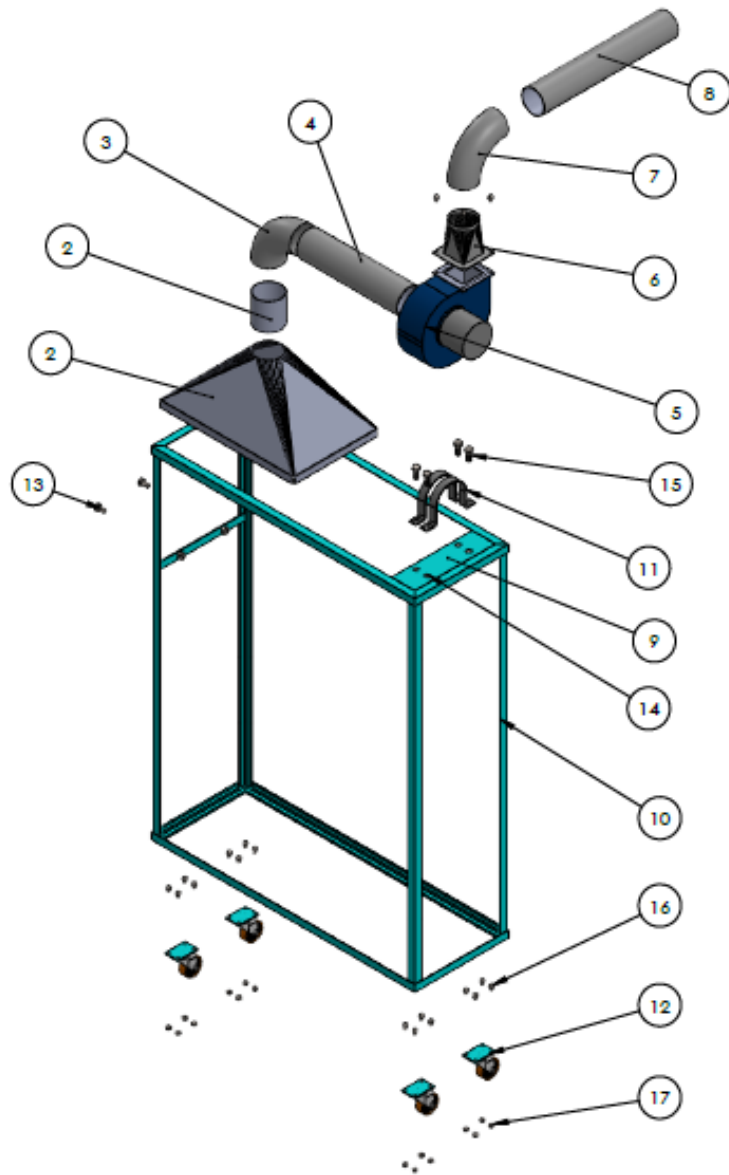


Nota :Lámina de Acero Galvanizado Calibre 16
Soldadura 6010 para uniones

	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			ABRAZADERA		PIEZA N° 18	MATERIAL: ACERO GALVANIZADO
	ESCALA: 1:15	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuéllar		HOJA: 30/30	PL. # 01-04-04

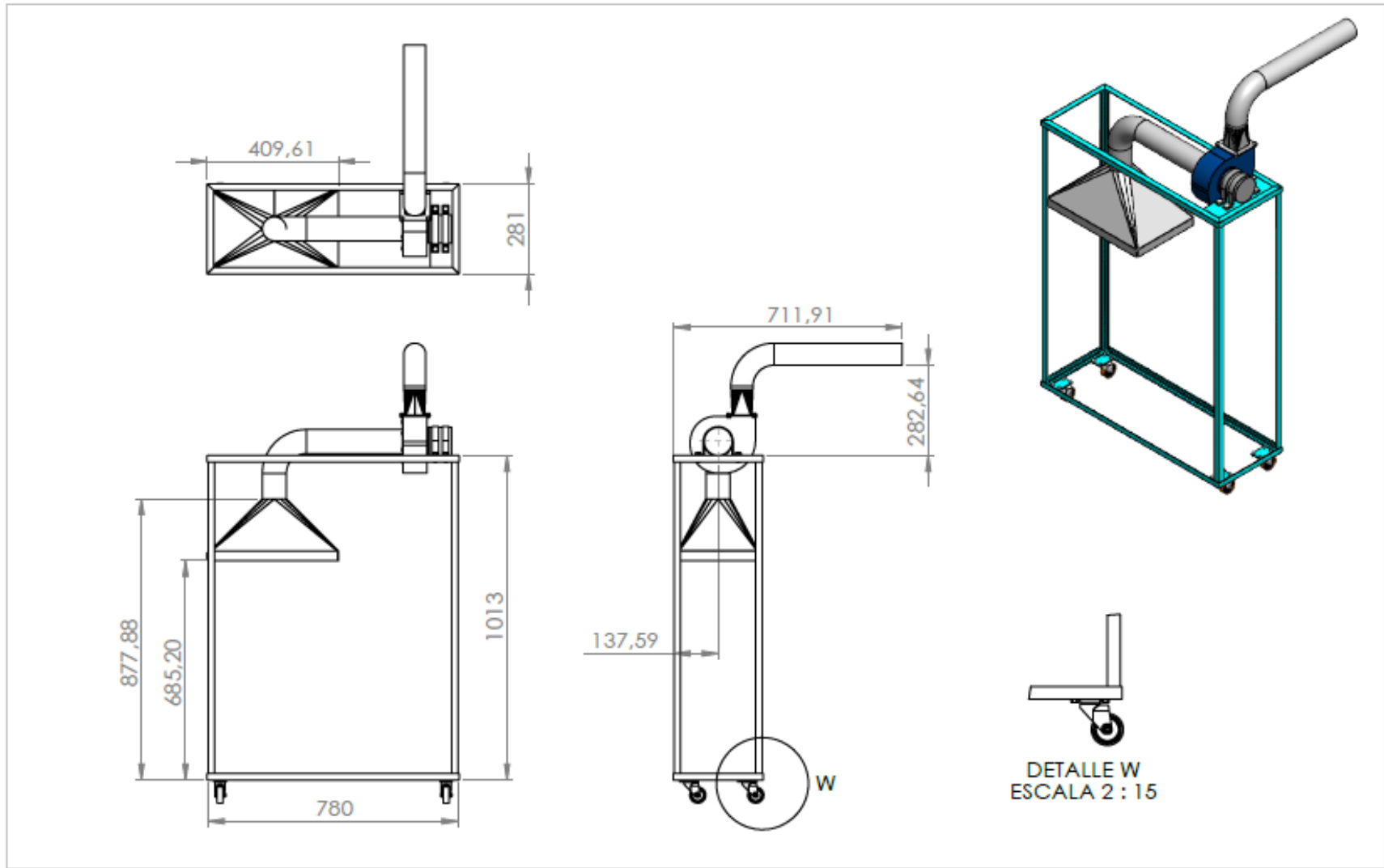
Anexo T. Planos prototipo sistema de extracción de gases






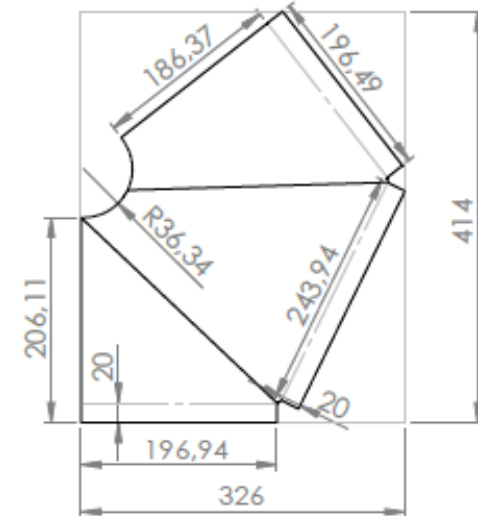
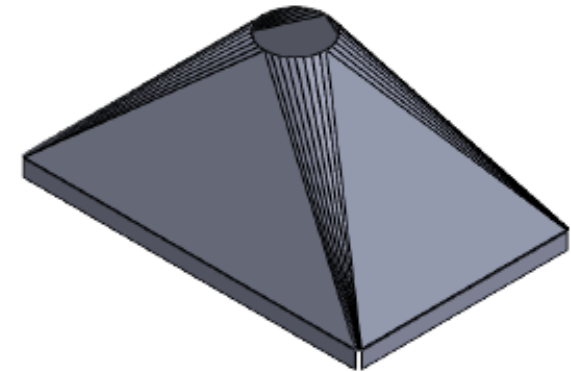
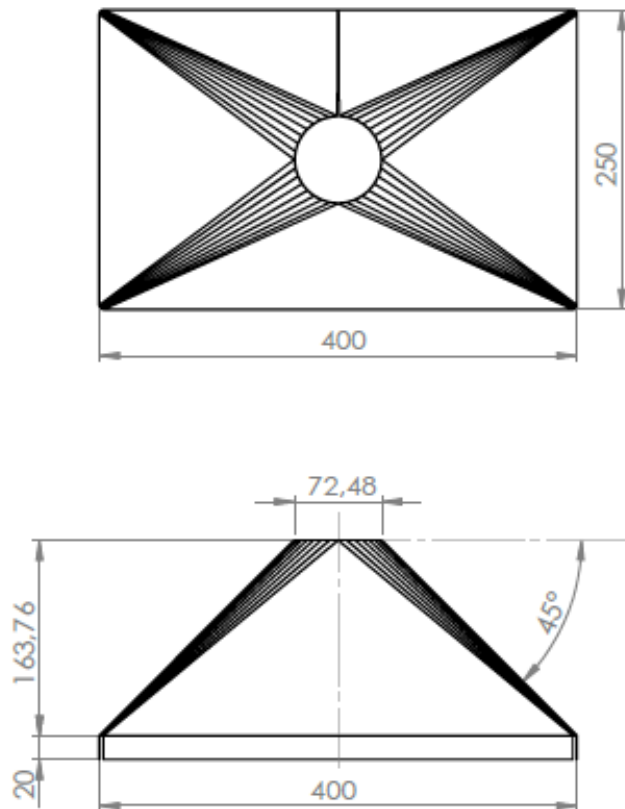


N.º DE ELEMENTO	PIEZA	OBSERVACIONES	CANTIDAD
1	CAMPANA DE EXTRACCIÓN	HIERRO	1
2	CONDUCTO PRIMARIO	HIERRO	1
3	CODO 90º	HIERRO	1
4	CONDUCTO SECUNDARIO	HIERRO	1
5	VENTILADOR CENTRIFUGO KOOLTRONIC	115V 50/60 Hz 1A 3000rpm	1
6	DUCTO DE TRANSICIÓN	HIERRO	1
7	CODO 90º	HIERRO	1
8	CONDUCTO DE DESCARGA	HIERRO	1
9	BASE DEL MOTOR	HIERRO	1
10	CHASIS	HIERRO	1
11	ABRAZADERA DEL VENTILADOR	HIERRO	2
12	RUEDAS		4
13	TORNILLO CABEZA HEXAGONAL	M10 x 1.5 Ψ 16	2
14	TUERCA CABEZA HEXAGONAL	B18.2.4.1M - Hex nut M10 X 1.5	6
15	TORNILLO CABEZA HEXAGONAL	M10 x 1.5 Ψ 25	4
16	TORNILLO CABEZA HEXAGONAL	M6 x 1.0 Ψ 8	20
17	TUERCA CABEZA HEXAGONAL	B18.2.4.1M - Hex nut M6 X 1	20





 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ESCALA: 1:9			
PROTOTIPO SISTEMA DE EXTRACCIÓN			
 DIBUJADO POR: Federico Acosta Bóez María Fernanda Cuñillar	02/04/2020	PIEZA N°	
FORMATO A3	REVISADO POR: Ing. Yesid Rueda	02/04/2020	HOJA 02/13
MEDIDAS EN: mm.	MATERIAL: ACERO SAE 1010		PL N° 01 - 00 - 00

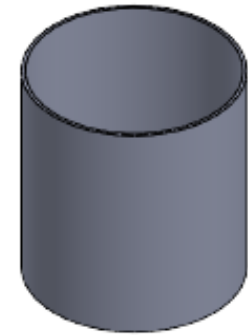
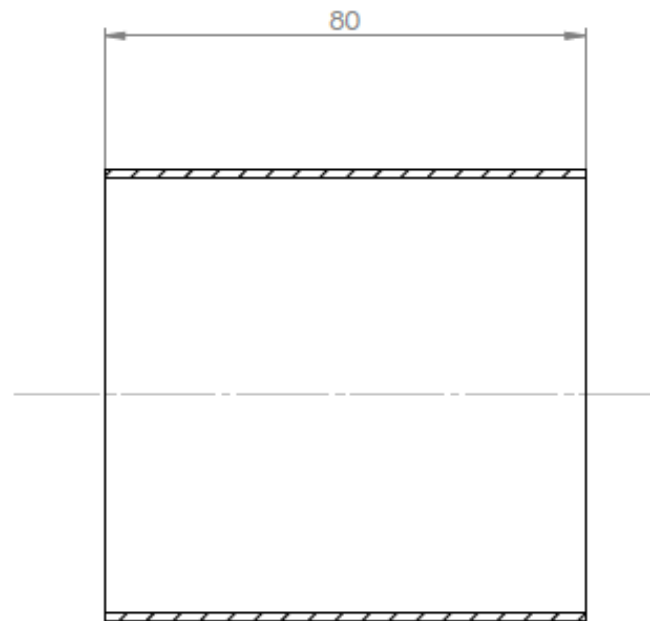
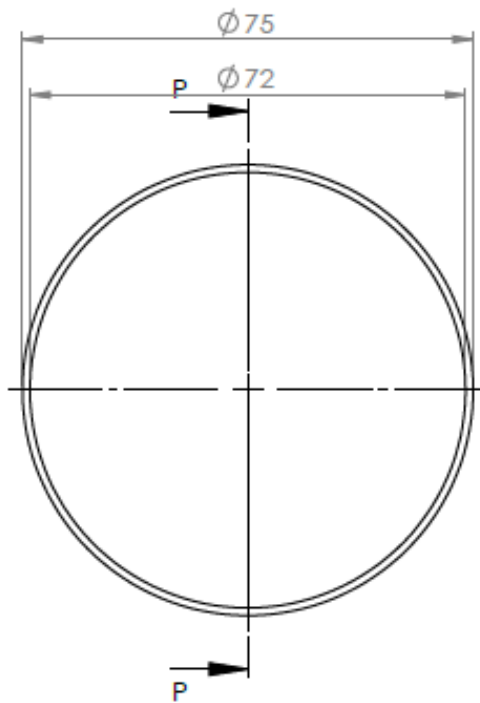


		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		PROTOTIPO SISTEMA DE EXTRACCIÓN		PIEZA N°		MATERIAL: ACERO SAE 1010	
		ESCALA: 1:15	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Báez María Fernanda Cuéllar		HOJA: 03/13	PL. # 03	



NOTA: CANTIDAD : 2
 LÁMINA DE ACERO SAE 1010
 CALIBRE 18
 SOLDADURA 6010 PARA UNIONES

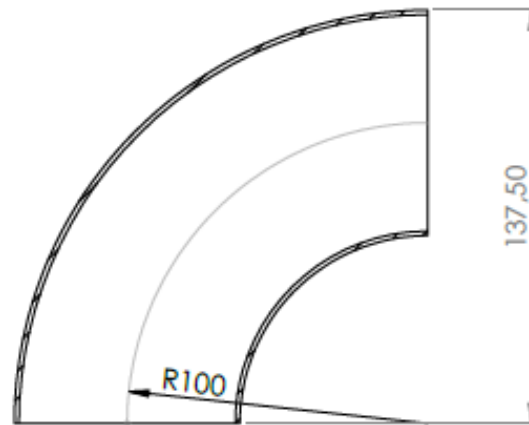
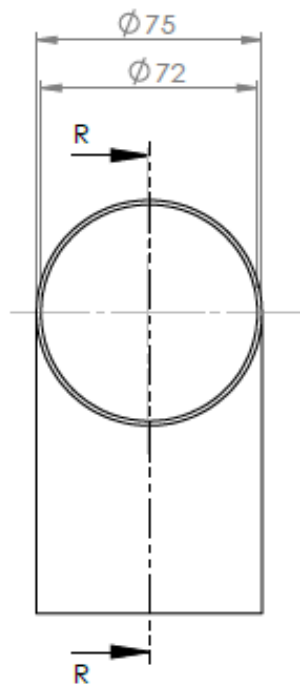
		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		CAMPANA DE EXTRACCIÓN		PIEZA N°1	MATERIAL: ACERO SAE 1010
		ESCALA: 1 : 5	MEDIDAS EN: mm	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Bóez María Fernanda Cuéllar	 	HOJA: 04/13



SECCIÓN P-P
ESCALA 1 : 1

NOTA: LÁMINA DE ACERO SAE 1010
CALIBRE 18
SOLDADURA 6010 PARA UNIÓN ENTRE TUBO
Y CAMPANA DE EXTRACCIÓN

	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			CONDUCTO PRIMARIO		PIEZA N°2	MATERIAL: ACERO SAE 1010
	ESCALA: 1 : 1	MEDIDAS EN: mm	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Bóez María Fernanda Cuéllar		 	HOJA: 05/13

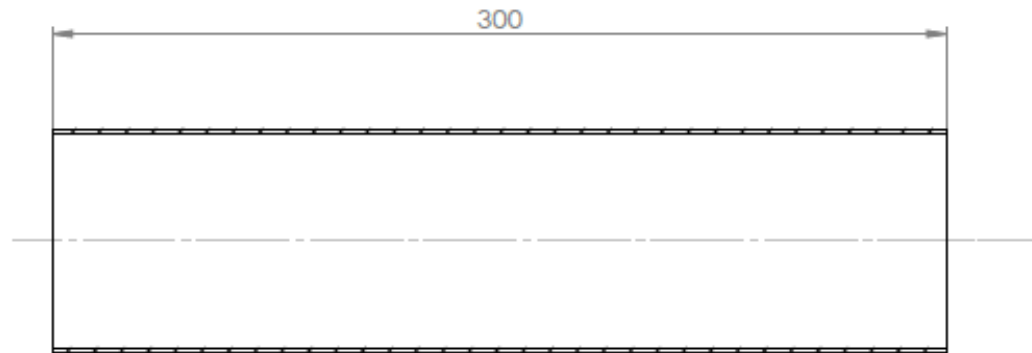
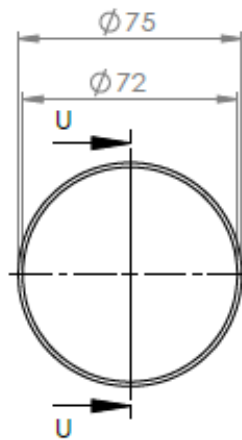
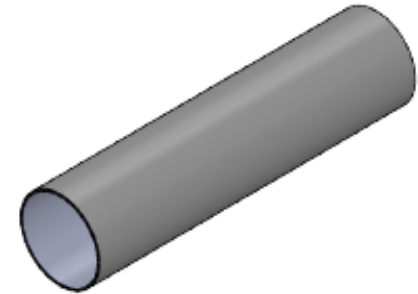


SECCIÓN R-R



NOTA: CANTIDAD: 4
 LÁMINA DE ACERO SAE 1010
 CALIBRE 18
 SOLDADURA 6010 PARA UNIÓN ENTRE
 CODO Y TUBO

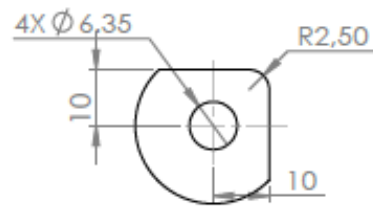
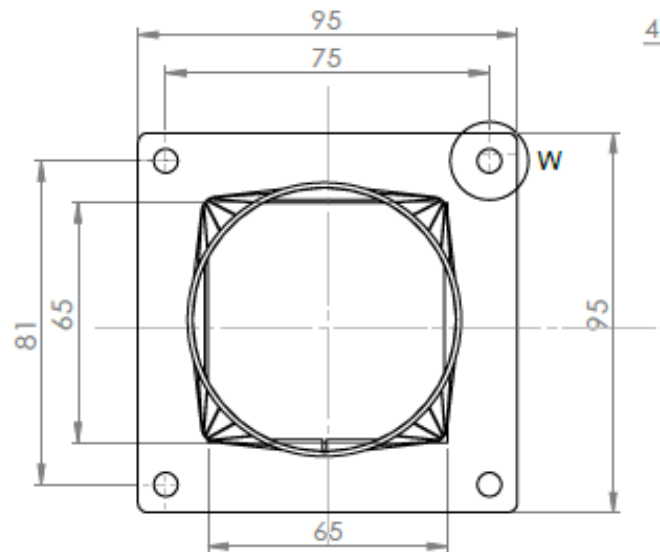
	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			CODO 90°		PIEZA N°3	MATERIAL: ACERO SAE 1010
	ESCALA: 1 : 2	MEDIDAS EN: mm	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Bóez María Fernanda Cuéllar		HOJA: 06/13	PL. 06



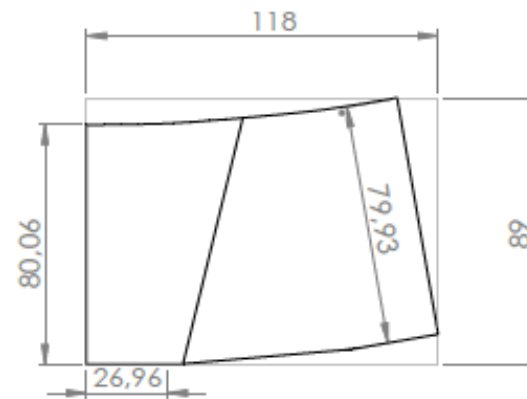
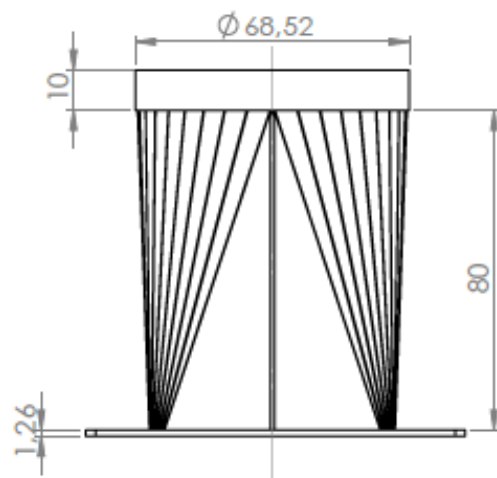
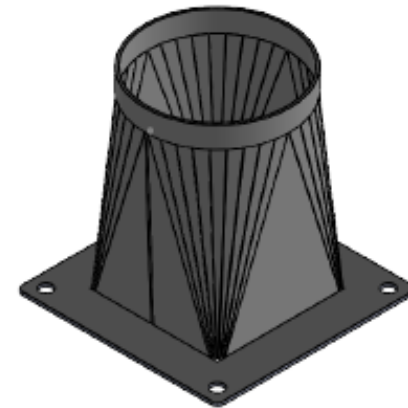
SECCIÓN U-U
ESCALA 1 : 2

NOTA: LÁMINA DE ACERO SAE 1010
CALIBRE 18
SOLDADURA 6010 PARA UNIÓN
ENTRE CODO Y TUBO

	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			CONDUCTO SECUNDARIO		PIEZA N°4	MATERIAL: ACERO SAE 1010
	ESCALA: 1 : 2	MEDIDAS EN: mm	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Bóez María Fernanda Cuéllar			HOJA: 07/13



DETALLE W
ESCALA 2 : 1.5



NOTA: CANTIDAD: 2
LÁMINA DE ACERO SAE 1010 CALIBRE 18
SOLDADURA 6010 PARA UNIÓN ENTRE PLACA
Y DUCTO DE TRANSICIÓN

Universidad
Industrial de
Santander



ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

ESCALA: 1 : 1.5

MEDIDAS EN: mm

FECHA: 02/04/2020

CONDUCTO DE TRANSICIÓN

DIBUJADO POR:
Federico Acosta Báez
María Fernanda Cuéllar

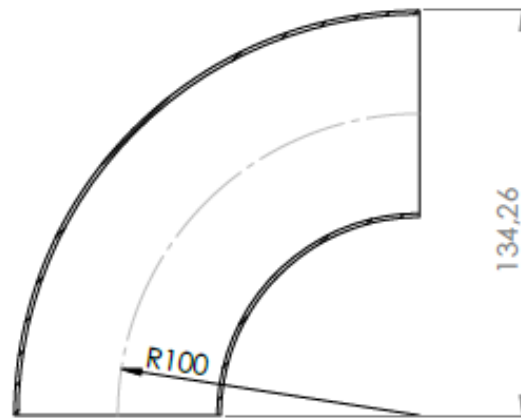
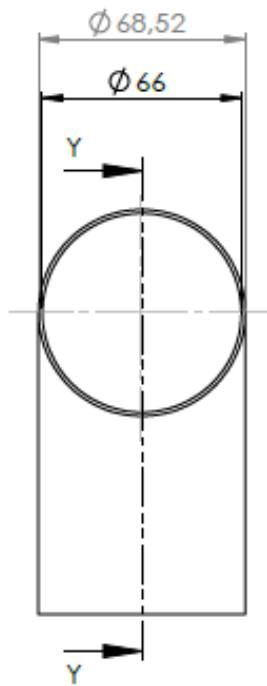


PIEZA Nº5

HOJA: 08/13

MATERIAL:
ACERO SAE 1010





PL. 08

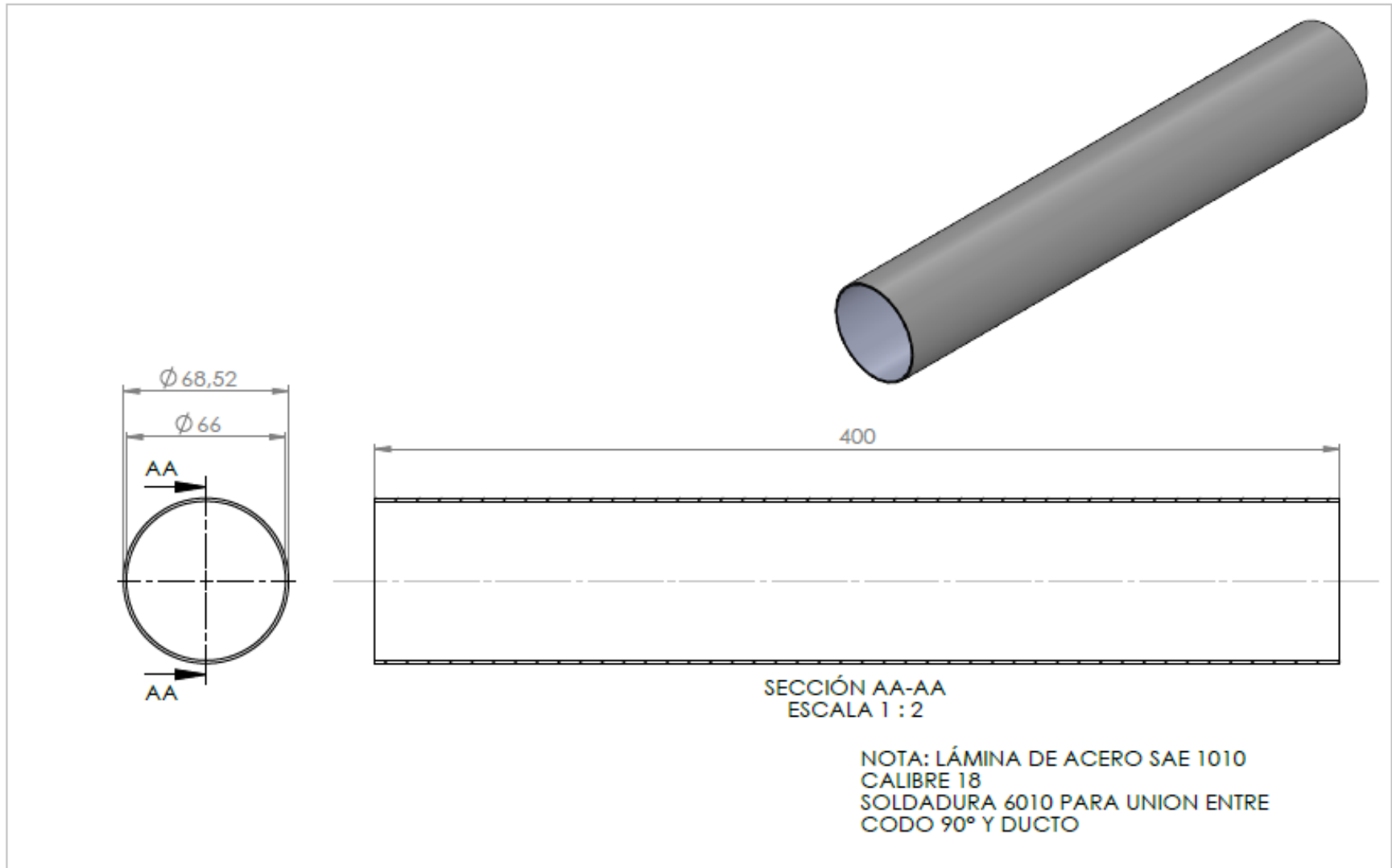


SECCIÓN Y-Y

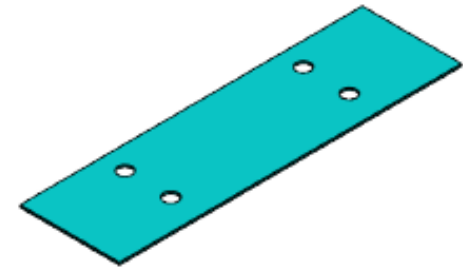
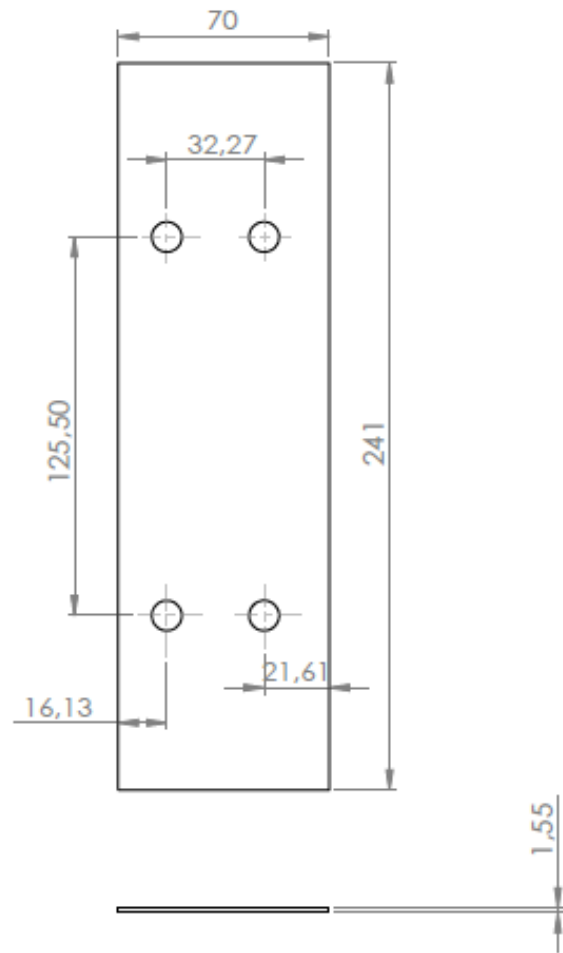


NOTA: CANTIDAD :4
 LÁMINA DE ACERO SAE 1010 CALIBRE 18
 SOLDADURA 6010 PARA UNIÓN ENTRE CODO
 Y DUCTO DE TRANSICIÓN

		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			CODO DE 90°		PIEZA N°6	MATERIAL: ACERO SAE 1010
		ESCALA: 1 : 2	MEDIDAS EN: mm	FECHA: 30/03/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Bóez María Fernanda Cuéllar	 	HOJA: 09/ 13	PL. 09

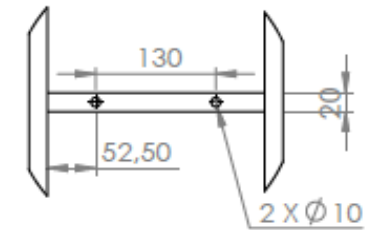
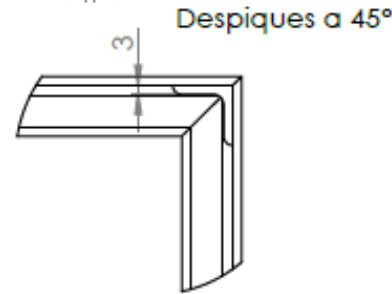
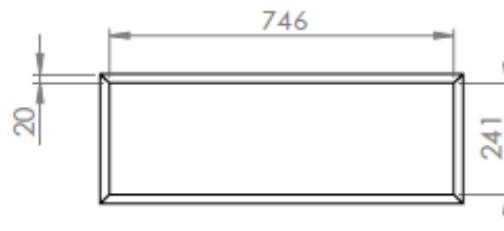
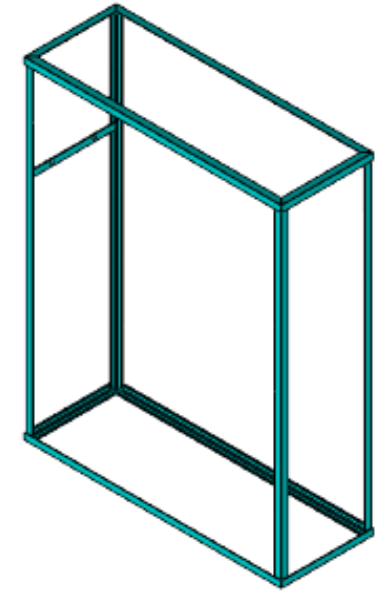
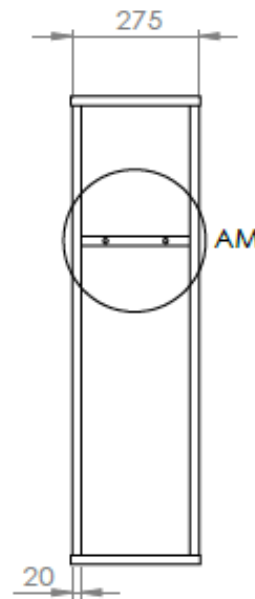
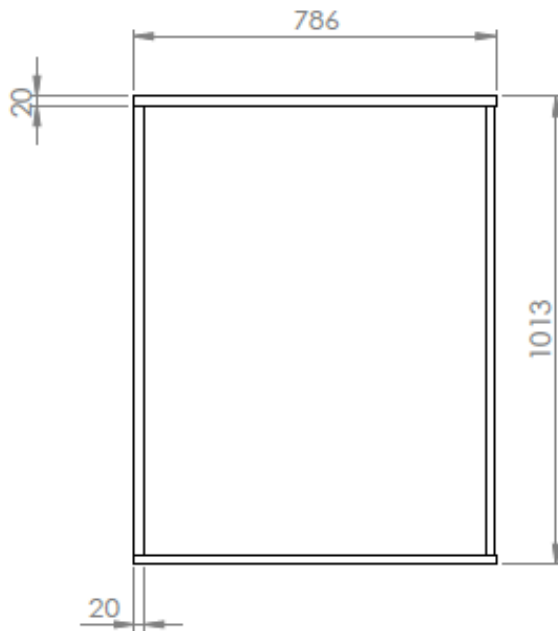


	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			CONDUCTO DE DESCARGA	PIEZA N°7	MATERIAL: ACERO SAE 1010
	ESCALA: 1 : 2	MEDIDAS EN: mm	FECHA: 30/03/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Bóez María Fernanda Cuéllar		HOJA: 10/13 PL. 10



NOTA: LÁMINA DE ACERO SAE 1010
 CALIBRE 16
 SOLDADURA 6010 PARA LA UNION ENTRE
 LA PLACA Y EL CHASIS

	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			BASE DE VENTILADOR		PIEZA N°8		MATERIAL: ACERO SAE 1010	
	ESCALA: 1 : 2	MEDIDAS EN: mm	FECHA: 30/03/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Bóez María Fernanda Cuéllar				HOJA: 11/13	



DETALLE
ESCALA 1 : 2

DETALLE AM
ESCALA 2 : 13

NOTA : SOLDADURA 6010 PARA TODOS LOS
ELEMENTOS A SOLDAR EN EL BASTIDOR
ACERO SAE 1010 ANGULAR DE 20X20X3

Universidad
Industrial de
Santander



ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

BASTIDOR

PIEZA N° 9

MATERIAL:
ACERO SAE 1010

ESCALA: 1 : 13

MEDIDAS EN: mm

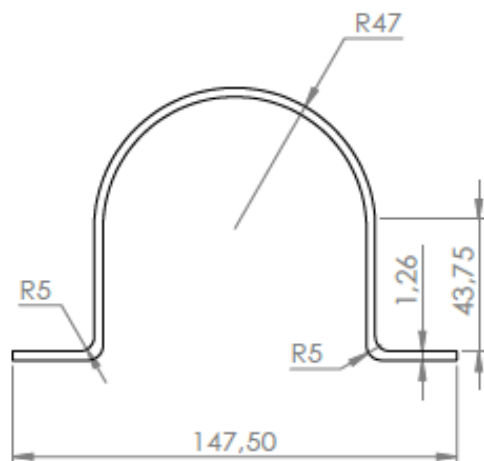
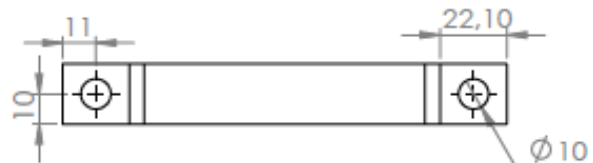
FECHA: 30/03/2020

DIBUJADO POR:
Federico Acosta Bóez
María Fernanda Cuéllar







HOJA: 12/13

PL. 12



NOTA: LÁMINA DE ACERO SAE 1010
CALIBRE 18

		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			ABRAZADERA DEL VENTILADOR	PIEZA N° 10	MATERIAL: ACERO SAE 1010
		ESCALA: 2 : 1	MEDIDAS EN: mm	FECHA: 30/03/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Bóez María Fernanda Cuéllar	 	HOJA: 13/13

Anexo U. Soporte de pared VK

Soportes de pared

VK



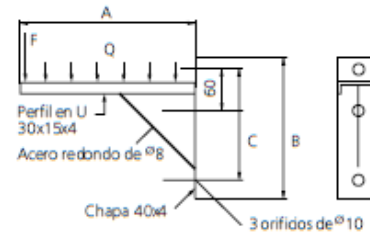
Descripción

Soportes para montaje en la pared.
Electrolanizados.

Ejemplo de pedido

Código de producto: **VK** **aaa**
 Tipo _____
 A _____

Dimensiones



	A mm	B mm	C mm	F (kg)	Q (kg)
VK3	300	250	200	116	260
VK4	400	300	250	92	241
VK5	500	350	300	77	228
VK6	600	400	350	57	173
VK8	800	500	450	48	130
VK10	1000	600	550	44	111

F indica la carga puntual máx. permitida.
Q indica la carga lineal máx. permitida.

Accesorios para **SPIRO®system**

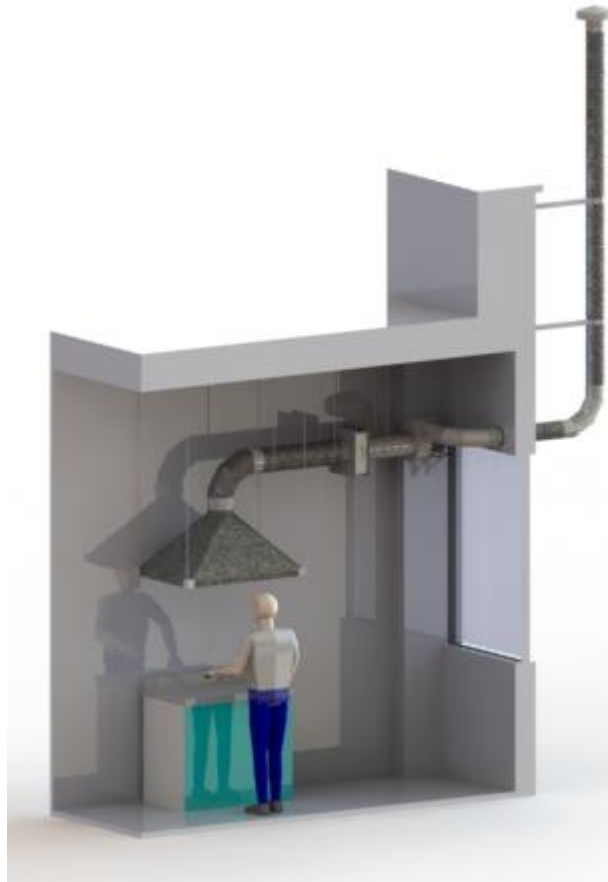
SPIROsystem es el prototipo por los derechos de propiedad intelectual. Reservado el derecho de modificación.

Fuente. Catálogo SPIRO® system: p.170.



**LABORATORIO DE COMBUSTIBLES
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

MANUAL DE OPERACIÓN



INTRODUCCIÓN

Con el fin de garantizar la seguridad del personal que trabaja en el laboratorio de combustión y los salones aledaños, se establece una manual de operación que asegure el uso apropiado del sistema de extracción de gases, así como procedimientos y normas para las practicas que se llevaran a cabo en este espacio con propósitos investigativos.

OBJETIVO

El presente manual de operación y mantenimiento tiene por objetivo garantizar un correcto funcionamiento del sistema de extracción en el laboratorio en base a revisiones periódicas de los mismos con el fin de que protejan a los estudiantes de la exposición a gases tóxicos.

Así mismo, se redacta una serie de procedimientos para la utilización de la campana.

ALCANCE

2.1. Definición del alcance: Este procedimiento es aplicable al laboratorio de combustión para proteger a los estudiantes de la exposición a gases o humos peligrosos.

2.2. Personal afectado: El presente procedimiento es aplicable a estudiantes, personal docente e investigador de la Universidad Industrial de Santander que utilice el sistema de extracción del laboratorio de combustibles de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

RESPONSABLES

El docente encargado del laboratorio con su respectivo auxiliar, serán los responsables de dar a conocer y hacer cumplir las normas básicas de uso.

PROTECCION PERSONAL

El equipo de protección se utiliza para prevenir que el personal que se encuentra en el laboratorio no presente lesiones asociadas a los contaminantes o sustancias tóxicas.

4.1. PROTECCIÓN FACIAL

- Anteojos de seguridad que disponen de protección lateral.

4.2. PROTECCION CORPORAL

Es obligatorio el cumplimiento de las siguientes normas:

- Usar bata en el laboratorio.
- Evitar uso de pantalones cortos.
- El calzado deberá ser cerrado y con el talón cubierto. No se podrá utilizar calzado tipo sandalias o similar.
- El cabello debe estar recogido, especialmente para las mujeres.
- Usar guantes apropiados para evitar el contacto con sustancias químicas.
- Usar tapaboca industrial para evitar la inhalación de gases y material particulado.

4.3. CUIDADO DEL AREA DE TRABAJO

El trabajo asociado a actividades de limpieza e higiene es indispensable para reducir los riesgos y proteger la integridad de los procedimientos.

Los procedimientos deben basarse en el mayor grado de riesgo al que se pueda enfrentar el estudiante. El personal del laboratorio es responsable de limpiar los equipos de trabajo. A continuación, se describen algunas actividades a realizar:

- a)** El laboratorio debe estar limpio y organizado.
- b)** Los pasillos y circulaciones deberán estar libres de obstrucciones.
- c)** Las instalaciones eléctricas deben revisarse con regularidad para verificar que se encuentren en buenas condiciones.

REQUERIMIENTOS NECESARIOS PARA UN CORRECTO FUNCIONAMIENTO

Entre las actividades que se realizan en el laboratorio se detallan los siguientes requerimientos para que el sistema de extracción funcione adecuadamente:

- a)** La campana debe estar alejada de las zonas de circulación del laboratorio, para evitar corrientes de aire producidas por el paso del personal.
- b)** El piso del laboratorio debe estar bien nivelado y plano.
- c)** Un mesón capaz de soportar el peso de la mufla y otros elementos de trabajo. El estudiante debe trabajar con comodidad.
- d)** Mantenga siempre la cabeza fuera de la campana, excepto cuando instale o desinstale equipos.
- e)** El sistema requiere de un filtro, el cual debe estar instalado en la caja de filtración donde se lleva a cabo el proceso de retención de partículas.

- f) El motor eléctrico debe estar conectado a una toma eléctrica con polo a tierra.

OPERACIÓN DEL EQUIPO

INSTRUCCIONES DEL MANEJO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

El personal que estará manipulando el sistema deberá tener presente los procedimientos y equipos a utilizar para efectuar el trabajo.

Deberá comentarle al profesor e auxiliar encargado para que el trabajo pueda realizarse con un mínimo de interrupciones.

6.1. PONER EN MARCHA EL SISTEMA DE EXTRACCIÓN.

- a) Preparar el área de trabajo.
- b) Verificar que el mesón esté limpio.
- c) Encender el ventilador del sistema.
- d) Permitir que el aire fluya libremente al menos por diez minutos, para que se establezca el estado de flujo estacionario.
- e) Verificar que el estado del filtro que se encuentra en la caja de filtración.

6.2. PREVIA UTILIZACIÓN

- a) Utilizar bata manga larga acompañada de elementos de protección personal.

6.3. MATERIALES Y EQUIPOS

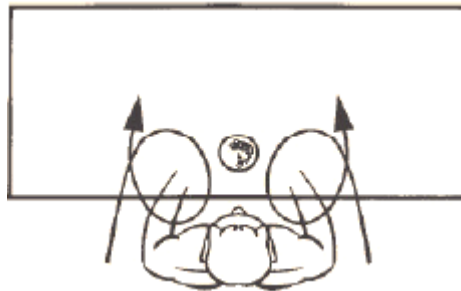
- a) Tener a la vista los materiales y equipos de trabajo

- b) Colocar en el mesón únicamente el material requerido para realizar el procedimiento.
- c) Ubicar los equipos de forma que no se crucen los materiales sucios, evitando la succión de estos.

6.4. DESARROLLO DE LOS PROCEDIMIENTOS

- a) Introducir cuidadosamente las manos dentro del área de trabajo.
- b) Realizar los procesos y actividades hacia el centro del área de trabajo (véase figura xx)

Figura 63. Posición correcta en el área de trabajo



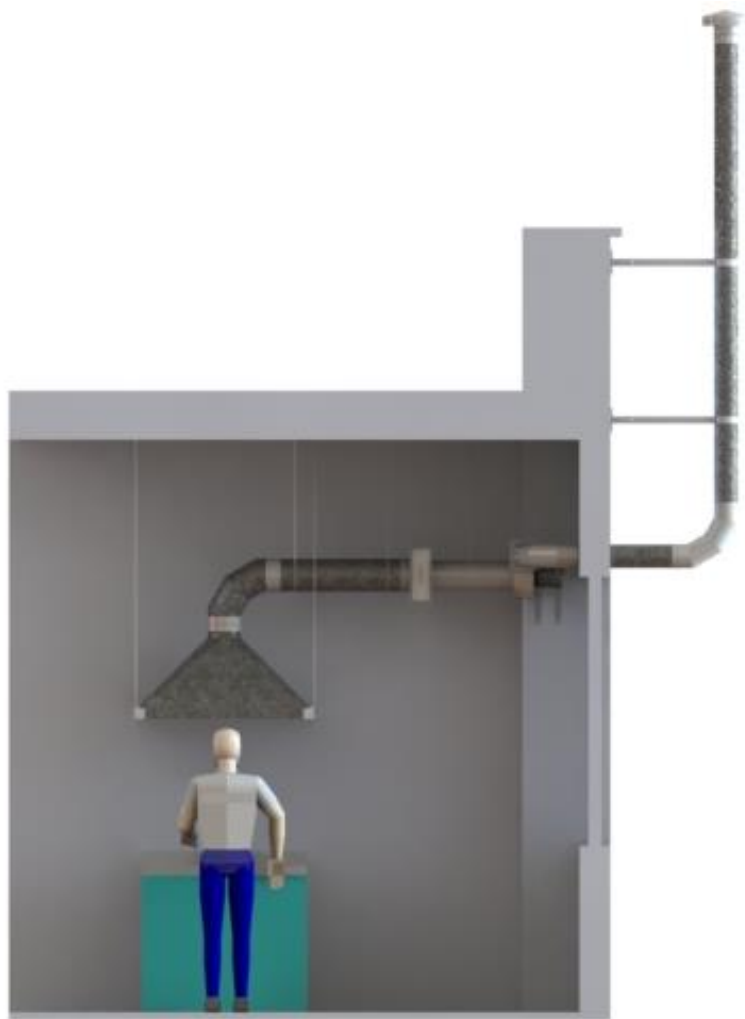
- c) Evitar cualquier proceso que pueda alterar el flujo del aire en la campana.
- d) Evitar el uso de llamas abiertas ya que puede llegar a quemar el filtro.
- f) Al finalizar el trabajo, mantenga encendido el ventilador durante cinco minutos para garantizar que todos los vapores sean desalojados y no queden remanentes en las tuberías.
- g) Retirar todos los elementos que se han utilizado y limpiar la campana.

6.5. APAGAR EL SISTEMA

- a) Desconectar el ventilador.



MANUAL DE MANTENIMIENTO



INTRODUCCIÓN

El sistema de extracción instalado en el Laboratorio de Combustión de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, debe tener un programa de mantenimiento preventivo con el fin de alargar la vida útil del equipo y mantener la seguridad del personal que trabaja en esta aula.

Se deben seguir las pertinentes recomendaciones del fabricante, realizando inspecciones periódicas al sistema, desde la entrada de captación hasta la salida del ducto, realizando un registro de la fecha y mantenimiento realizado.

El sistema de extracción deberá disponer de una ficha de registro donde se anoten las operaciones realizadas (Véase Anexo W.).

De acuerdo con la norma internacional desarrollada por la National Air Duct Cleaners Association (Asociación Nacional de limpiadores de conductos de Aire) NADCA, se recomienda limpiar el sistema de extracción cuando una inspección adecuada indique una de las siguientes condiciones:

- El sistema de extracción está contaminado por acumulación de partículas.
- El rendimiento se ve afectado por acumulación de contaminación
- El sistema emite olores intolerables.
- Daños provocados por fuego, humo o agua causando contaminación en el sistema.
- El sistema está en riesgo debido a un peligro de incendio.
- El sistema de extracción ha sido invadido por aves, roedores, insectos o sus excrementos.
- Se evidencia suciedad en el sistema de extracción.
- Hay contaminación por restos de construcción.
- La contaminación por moho ha alcanzado la condición 2 o condición 3.⁶⁰

⁶⁰ Norma de la NADCA para la evaluación, la limpieza y la restauración de los sistemas HVAC; 2013.

MANTENIMIENTO SEMANAL

Antes de realizar un mantenimiento preventivo, se procede a realizar una limpieza superficial para liberar del sistema cualquier tipo de suciedad o contaminación que entorpezca el proceso anteriormente nombrado. Siempre que se vaya a efectuar alguno de los siguientes procesos se debe descontaminar el sistema.

- Cambio de filtro
- Verificación del estado del ventilador
- Limpieza del subsistema de ventilación

Para alargar la vida útil del equipo y mantener los espacios del laboratorio en óptimas condiciones de uso, se recomienda realizar la limpieza del sistema de extracción de manera semanal.

El acero galvanizado posee un revestimiento con óxido de zinc que protege de manera efectiva contra la oxidación el daño y el deterioro. Para que el acero galvanizado mantenga su misma apariencia se debe realizar su respectiva limpieza semanalmente. Para retirar la suciedad se acostumbra a utilizar agua y jabón preferiblemente detergente líquido.

El procedimiento para la limpieza superficial del sistema es el siguiente:

- Aplicar agua limpia sobre la superficie interior y exterior de la campana con una esponja para retirar las partículas de polvo y suciedad que se encuentran en el acero.
- Colocar media tasa de detergente suave en un recipiente o balde y adicionar 4 litros de agua (1 galón).

- Aplicar la solución líquida de jabón sobre el acero galvanizado con un cepillo de cerdas duras. Realizar la limpieza con movimientos circulares.
- Humedecer una tela suave y retirar los residuos de jabón hasta lograr el resultado esperado.
- Una vez la superficie esté completamente seca, se coloca una capa fina de cera sobre un paño suave y se distribuye uniformemente sobre la superficie del acero.
- Dejar secar la cera durante 30 minutos.
- Una vez la cera está seca se utiliza un paño suave para quitar los residuos y comenzar a brillar el metal.

MANTENIMIENTO TRIMESTRAL

Se realiza mediante la inspección de los ductos del sistema. Para un correcto funcionamiento del equipo se procede a realizar una inspección rigurosa, que busca identificar deficiencias que degradan el sistema de extracción, incluidos sus componentes. Esto con el fin de tomar acciones para corregir deficiencias.

Antes de empezar las funciones de mantenimiento se recomienda realizar la limpieza superficial.

Las inspecciones deberán realizarse para determinar la necesidad de limpieza. De igual manera se realizan para determinar el ámbito de trabajo, controles de ingeniería, las medidas de seguridad, las herramientas y equipos necesarios para llevar a cabo la limpieza y restauración

Cuando realizar una inspección: Se recomienda realizar inspecciones de rutina como parte de un plan proactivo de gestión de calidad de la energía y del aire en el interior del laboratorio.

Inspección de ductos de suministro: La inspección de limpieza debe incluir los ductos de aire, cajas de filtración y demás componentes internos.

Inspecciones de ductos de escape: El ducto de escape se considera una parte del sistema de ventilación y por lo tanto se debe inspeccionar de manera general.

Inspección para detectar contaminación por moho: Se recomienda que la inspección de limpieza incluya una determinación preliminar del nivel sospechado de contaminación por moho (Condición 1, 2 o 3). En caso de identificarse un supuesto crecimiento de moho u otra actividad biológica, se recomienda que la

causa y el alcance sean evaluados a mayor profundidad, lo descrito anteriormente debe ser realizado por un profesional en calidad ambiental e interiores.

En caso tal de identificar algún tipo de contaminación, se procede inmediatamente a realizar una descontaminación y luego una limpieza profunda del subsistema de ventilación.

MANTENIMIENTO ANUAL

Los conductos de aire deberán limpiarse para eliminar todas las sustancias no adheridas y deberán ser capaces de pasar todas las pruebas de verificación de la NADCA.

A los ductos de aire deberá accederse de manera sencilla para facilitar la labor de mantenimiento y de esta manera permitir el procedimiento de limpieza mecánica y la verificación de la limpieza.

Los ductos de aire deberán limpiarse por medio de agitación mecánica para eliminar partículas, restos de contaminación de superficie.

Las sustancias sueltas deberán capturarse con un dispositivo de recolección por aspiración

Las actividades de limpieza no deberán dañar ningún componente del sistema de extracción.

PROCEDIMIENTOS DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE DUCTOS

La limpieza de los ductos de aire se basa en la utilización de un método llamado PUSH/PULL, donde se aplica un procedimiento óptimo para el mantenimiento de sistemas de ventilación o en cualquier lugar que posea un sistema de conducción de aire.

El proceso de limpieza es el siguiente:

1. Se protege el área donde se va a realizar el trabajo, todas las zonas deben estar protegidas mediante un plástico para garantizar la no contaminación de los espacios del laboratorio.
2. Se realiza una prueba bacteriana contra moho, hongos para proporcionar una medida del grado de contaminación biológica dentro de los ductos.
3. Antes del ingreso del equipo de limpieza se realizan registros en los ductos principales, permitiendo que el cepillo y la máquina de presión negativa trabajen de manera más eficiente y succione el polvo que va removiendo el cepillo eléctrico.
4. Cuando se remueve el exceso de contaminantes y polvo se aplican químicos para desinfectar el sistema, lo cual se encargará de matar las bacterias y demás contaminantes.
5. Se realizan pruebas del sistema asegurando que no existan signos de contaminantes.

MANTENIMIENTO DEL VENTILADOR CENTRIFUGO

El correcto cuidado y mantenimiento es indispensable en la operación exitosa del ventilador. La periodicidad del mantenimiento depende del tipo de operación y cuidado como también del servicio que ejecutará y especialmente que rol ocupará como parte de otro equipamiento. La falta de un adecuado mantenimiento podría guiar a un extensivo y prematuro daño de la unidad.

Recomendaciones para la realización del mantenimiento del ventilador

- No intentar tocar, poner herramienta o partes del cuerpo cerca de piezas móviles del ventilador. Parar siempre el ventilador antes de hacer cualquier trabajo de mantenimiento.
- Mantenga el cuerpo, las manos y objetos extraños fuera de la entrada y de la descarga. El ventilador tiene piezas que giran y pueden estar calientes. No toque el ventilador durante su operación
- No exceda la temperatura máxima de operación o los límites de velocidad de operación para los cuales el ventilador fue diseñado
- Los registros de limpieza deben estar asegurados durante la operación.
- El personal inexperto nunca puede operar, instalar o dar mantenimiento al ventilador
- No opere el ventilador sin estar anclado firmemente y aterrizado eléctricamente

INSPECCIÓN PERIÓDICA

Se requiere una inspección registrada y actualizada del balanceo del ventilador. Cuando se realiza el mantenimiento hay que asegurarse de cortar la corriente eléctrica, chequear y limpiar todos los componentes.

Especial cuidado se debe tener en las partes que están directamente en el flujo de aire, especialmente el rodete ya que acumula materiales extraños en los alabes afectando el balanceo del ventilador.

MANTENIMIENTO DEL RODETE

Mediante el uso cotidiano del sistema de extracción se va acumulando materiales sobre las palas de un rodete, ocasionando debilitamiento en su estructura y vibraciones importantes. Si la vibración es demasiado fuerte, puede ocasionar la

ruptura de la estructura del ventilador. Se debe examinar periódicamente el rodete para saber si hay acumulación de suciedad.

SUBSISTEMA DE FILTRACIÓN

En este apartado se lleva a cabo el proceso de retención de partículas con el fin de llevar los gases a la atmósfera cumpliendo con todos los estándares y normativa vigente.

Para el mantenimiento de este subsistema se debe hacer una inspección periódica de la siguiente manera:

- Retirar el filtro de la caja de filtración, cuidando la integridad del mismo.
- Realizar una inspección visual del estado del filtro verificando que se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento (Véase Figura 64)

Figura 64. Filtro en buen estado de funcionamiento



Fuente. Catálogo de filtros American Air Filter (AAF)


- En caso tal de encontrar el filtro sucio (Véase Figura 65), se procede al cambio inmediato del mismo, verificando que el repuesto a comprar cumpla

con las mismas características del filtro instalado anteriormente en el sistema de extracción.

Figura 65. Filtro listo para ser reemplazado.



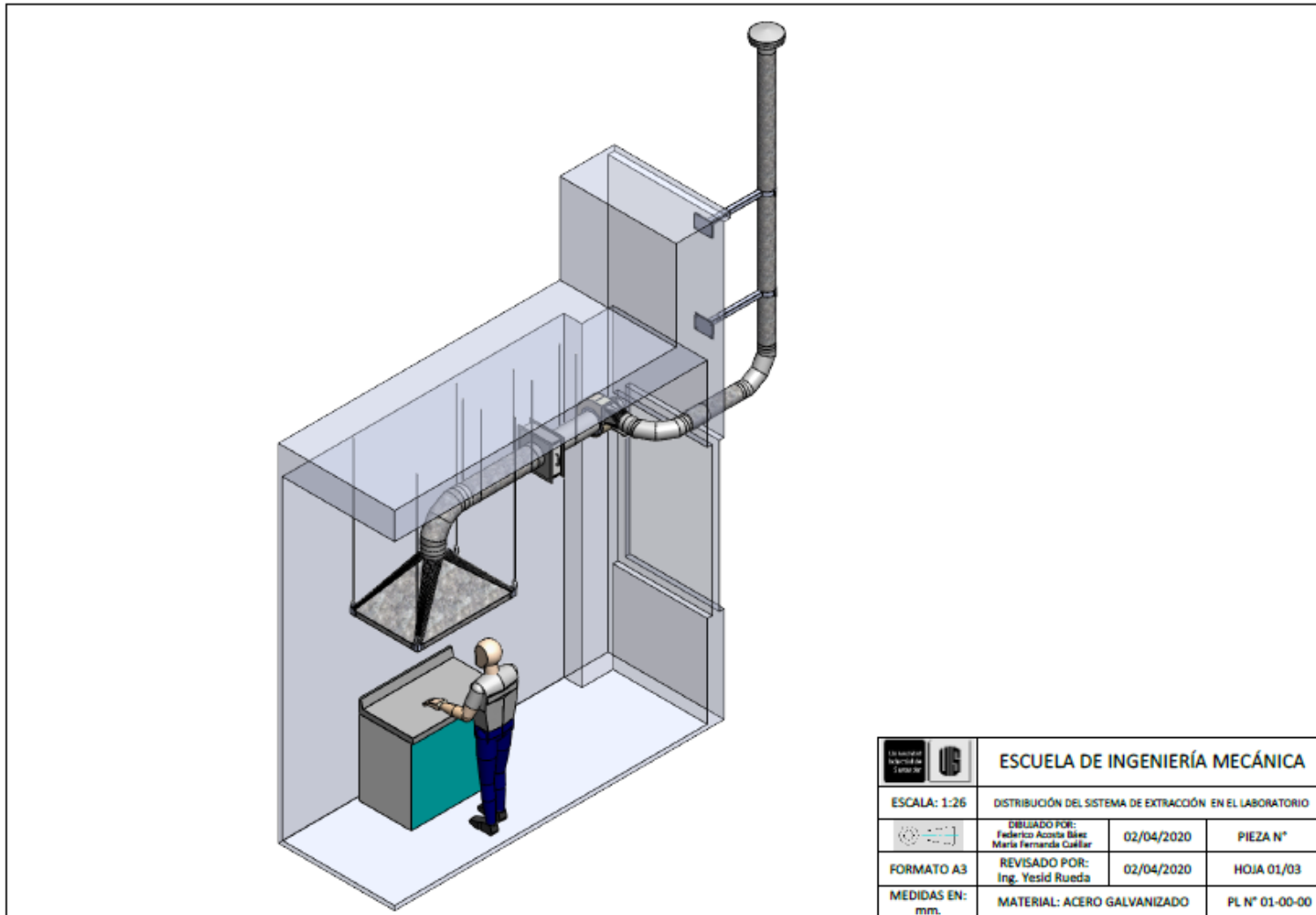
Anexo W. Ficha de registro de mantenimiento del sistema de extracción de gases

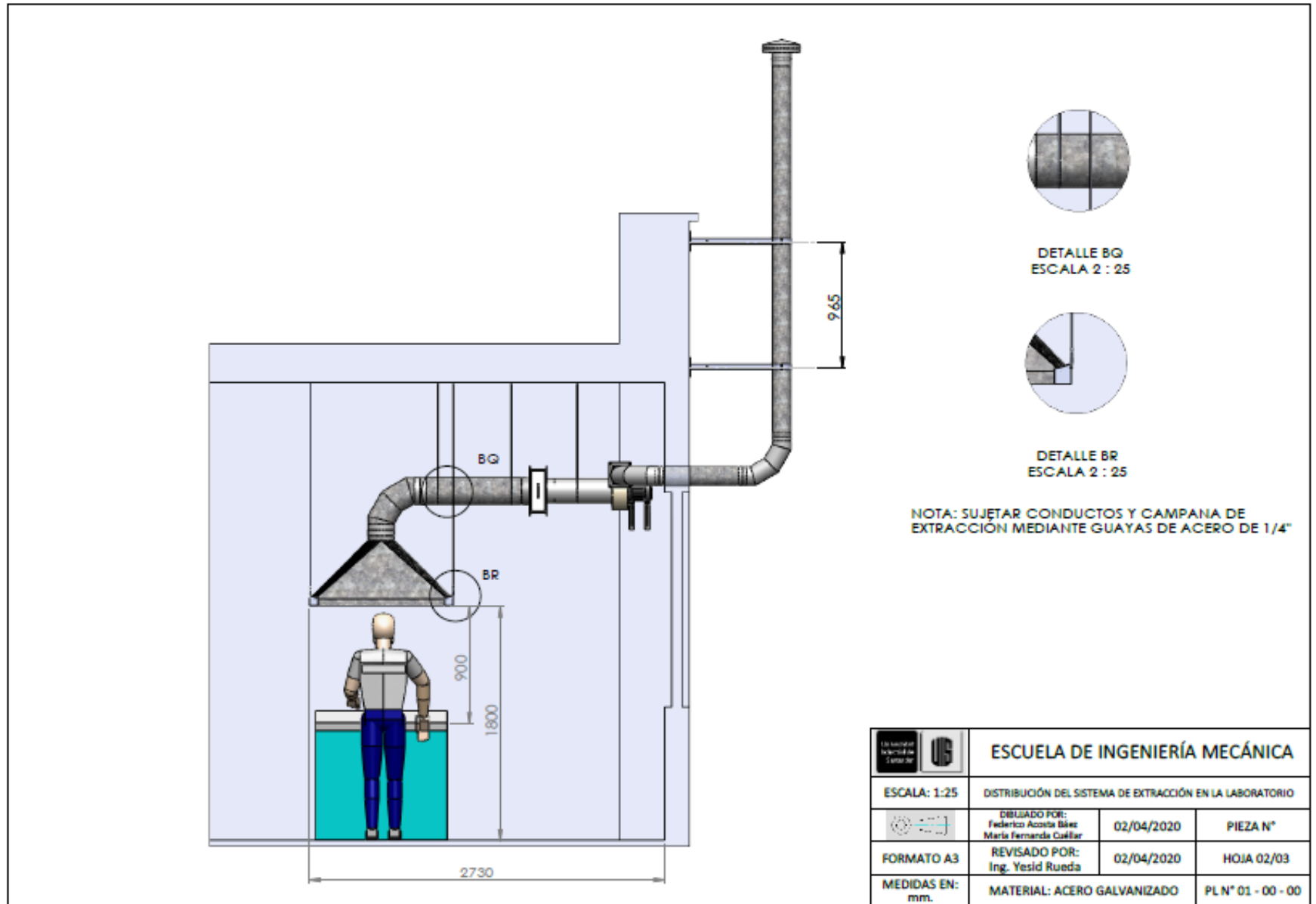
					UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
					ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
					LABORATORIO DE COMBUSTIBLES			
FICHA DE REGISTRO DE MANTENIMIENTO SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN								
MES	SEMANA				FRECUENCIA			ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO
	1°	2°	3°	4°	SEMANAL	TRIMESTRAL	ANUAL	
ENERO								
FEBRERO								
MARZO								
ABRIL								
MAYO								
JUNIO								
JULIO								
AGOSTO								
SEPTIEMBRE								
OCTUBRE								
NOVIEMBRE								
DICIEMBRE								

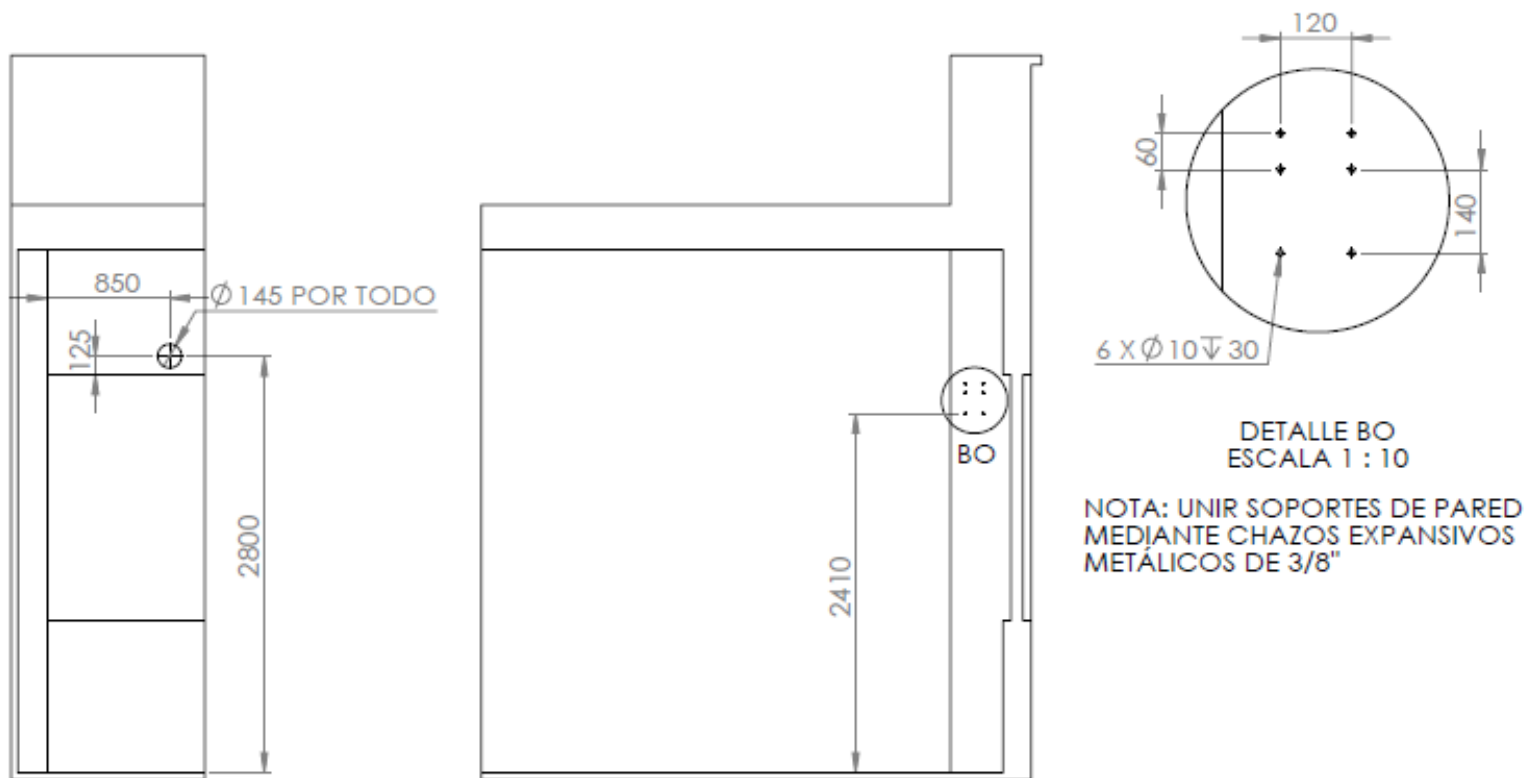
<p>ELABORADO POR :</p> <p>NOMBRES: _____</p> <p>FECHA: _____</p>	<p>REVISADO POR :</p> 	<p>APROBADO POR:</p>
--	---------------------------------------	--------------------------------------

Fuente. Elaboración de los autores.

Anexo X. Planos Distribución del sistema de extracción







	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN		PIEZA Nº1	MATERIAL:
	ESCALA: 1:40	MEDIDAS EN: mm.	FECHA: 02/04/2020	DIBUJADO POR: Federico Acosta Bages María Fernanda Cuéllar		HOJA: 03/03	PL. #01-00- 01