



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño e implementación de un sistema articulado de extracción localizada de humos de soldadura en la celda robotizada con brazo KUKA KR5 – ARC del Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE – L

Calvopiña Terán, Carlos David y Tituaña Cárdenas, Darío Xavier

Departamento de Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecatrónico

Ing. Singaña Amaguaña, Marco Adolfo

12 de Marzo de 2021



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ARTICULADO DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA DE HUMOS DE SOLDADURA EN LA CELDA ROBOTIZADA CON BRAZO KUKA KR5 – ARC DEL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE – L**” fue realizado por los señores **Calvopiña Terán, Carlos David** y **Tituaña Cárdenas, Darío Xavier**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 12 de Marzo de 2021



Firmado electrónicamente por:
MARCO ADOLFO
SINGANA
AMAGUANA

.....
Ing. Singaña Amaguaña, Marco Adolfo

C.C.: 0501627889



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

REPORTE URKUND

URKUND

Document Information

Analyzed document	Escrito_11_03_2021_Calvopiña_Tituaña.pdf (D98049134)
Submitted	3/12/2021 3:47:00 AM
Submitted by	Singaña Amaguaña Marco Adolfo
Submitter email	masingania@espe.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	masingania.espe@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Documento_tesis.pdf Document Documento_tesis.pdf (D54369965) Submitted by: djmendoza@espe.edu.ec Receiver: djmendoza.espe@analysis.arkund.com	1
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS.Diseño de celda robotizada.pdf Document TESIS.Diseño de celda robotizada.pdf (D54405208) Submitted by: wfpolo@espe.edu.ec Receiver: masingania.espe@analysis.arkund.com	4
W	URL: https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/20688/1/T-ESPEL-MEC-0182.pdf Fetched: 8/10/2020 8:24:36 AM	4
W	URL: https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/87/1/Monografia_Y... Fetched: 12/4/2019 8:32:36 AM	2
W	URL: https://docplayer.es/117049688-Trabajo-de-titulacion-tipo-proyectos-de-investigaci... Fetched: 5/27/2020 5:21:40 AM	1
W	URL: https://docplayer.es/22995696-B-ambientes-de-trabajo-con-vistas-a-la-comodidad-de-... Fetched: 10/13/2019 9:47:33 PM	2
W	URL: https://docplayer.es/48802403-Universidad-politecnica-salesiana-sede-quito.html Fetched: 12/2/2019 11:56:06 PM	1
SA	Proyecto Final de tesis (Patricio Pazmiño).pdf Document Proyecto Final de tesis (Patricio Pazmiño).pdf (D11271098)	1
W	URL: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29535/1/Tesis%20I.%20M.%20504%20... Fetched: 12/27/2020 1:04:56 AM	2



Firmado electrónicamente por:
**MARCO ADOLFO
SINGANA
AMAGUANA**

Ing. Singaña Amaguaña, Marco Adolfo

C.C.: 0501627889



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Calvopiña Terán, Carlos David** con cédula de ciudadanía N° 0550208607 y **Tituaña Cárdenas, Darío Xavier**, con cédula de ciudadanía N° 1725471336, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ARTICULADO DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA DE HUMOS DE SOLDADURA EN LA CELDA ROBOTIZADA CON BRAZO KUKA KR5 – ARC DEL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE – L”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 12 de Marzo de 2021

.....
Calvopiña Terán, Carlos David

C. C.: 0550208607

.....
Tituaña Cárdenas, Darío Xavier

C.C.: 1725471336



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Calvopiña Terán, Carlos David** con cédula de ciudadanía N° 0550208607 y **Tituaña Cárdenas, Darío Xavier**, con cédula de ciudadanía N° 1725471336, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ARTICULADO DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA DE HUMOS DE SOLDADURA EN LA CELDA ROBOTIZADA CON BRAZO KUKA KR5 – ARC DEL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE – L”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 12 de Marzo de 2021

.....
Calvopiña Terán, Carlos David

C. C.: 0550208607

.....
Tituaña Cárdenas, Darío Xavier

C.C.: 1725471336

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación está dedicado de manera especial a mis queridos padres Enrique y Mercedes, quienes han sido mi apoyo incondicional en cada momento de vida, más aún durante este proceso universitario, este triunfo es de ellos.

A mi hermano Danilo y familiares, por impulsarme a seguir adelante hasta alcanzar este objetivo. A mi abuelito, quien me brindó su amor y cuidado, y a pesar de ya no estar presente físicamente en estos momentos estará feliz por este éxito alcanzado.

A mis docentes y amigos con quienes compartí gratos momentos en este trayecto universitario.

Carlos David

A Dios, por haberme dado la vida y salud, iluminar mi mente y guiar mi camino en momentos más necesitados, por darme su infinito amor y bondad.

A mis padres Víctor Tituaña y María Cárdenas que, con su infinito amor, todo el sacrificio, voluntad y apoyo me han convertido en un hombre de bien, gracias a su ejemplo y perseverancia, les debo este y todos mis logros, el triunfo es de ellos.

A mis hermanas Adriana y Anahí, por siempre alentarme a seguir adelante y creer en mí, gracias por su apoyo incondicional que me ha permitido llegar hasta aquí.

A mis docentes y compañeros por compartir este trayecto, los momentos vividos los llevare en mi corazón.

Darío Xavier

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy gracias a Dios, por haberme brindado la oportunidad de vida, el conocimiento y experiencias para finalizar este objetivo. A mis padres, familia y amigos que siempre estuvieron al pendiente de este trabajo y nunca faltó su apoyo hasta culminarlo. Un sincero y especial agradecimiento a nuestro tutor Ing. Marco Singaña, quien supo brindarnos su tiempo, conocimiento y experiencia para desarrollar este proyecto de titulación, muchas gracias. De igual manera agradecer la ayuda brindada a Don Patricio Anchatuña, colaborador dentro del Laboratorio de Robótica. A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L y a toda la familia Mecatrónica por la oportunidad brindada para formarme como un profesional. A Xavier, mi compañero de tesis, pues sus conocimientos, ideas y ayuda permitieron finalizar este proyecto.

Carlos David

En primer lugar, a Dios, que me ha dado la voluntad, la fuerza y la sabiduría para culminar este proyecto. A mi padre Víctor por confiar en mí y alentarme a conseguir este éxito profesional, sus consejos y ejemplo como padre me han guiado hasta este éxito, a mi madre María por su amor y preocupación prestada cuando estuve lejos de casa. Un sincero y especial agradecimiento a nuestro tutor Ing. Marco Singaña que siempre nos supo prestar sus conocimientos y experiencia para poder culminar con éxito este trabajo, muchas gracias. A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, por formarme como profesional. A mi compañero de tesis, Carlos, por brindarme su amistad y confianza, su apoyo incondicional y conocimiento permitieron culminar con éxito este trabajo.

Darío Xavier

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte urkund.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimientos	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de tablas	12
Índice de figuras.....	13
Resumen	19
Abstract.....	20
Generalidades.....	21
Robótica industrial	21
<i>Definición de brazo robótico industrial</i>	21
<i>Características del brazo robótico</i>	22
<i>Partes del brazo robótico</i>	27
<i>Aplicaciones del robot industrial</i>	29
Celdas robotizadas	30
<i>Celda de manufactura robotizada</i>	30
<i>Celdas robotizadas de soldadura</i>	31
<i>Componentes de una celda robotizada de soldadura</i>	32
Proceso de soldadura.....	33
<i>Definición de soldadura</i>	34
<i>Soldadura por arco (AW)</i>	34

<i>Proceso GMAW (MIG/MAG)</i>	34
<i>Proceso de soldadura robotizada GMAW</i>	35
Sujetadores para procesos de soldadura	36
<i>Definición de jig de soldadura</i>	37
<i>Jigs de soldadura estáticos</i>	37
<i>Jigs de soldadura móviles</i>	38
<i>Tipos de sujeción</i>	39
Humos emitidos en el proceso de soldadura	41
<i>Introducción</i>	41
<i>Procedentes del metal base de las piezas</i>	42
<i>Contaminantes del material de recubrimiento</i>	42
<i>Contaminantes por material de aporte</i>	43
<i>Contaminantes procedentes del aire y sus impurezas</i>	44
<i>Gases generados</i>	45
Sistemas de extracción de humos en soldadura	46
<i>Sistema de extracción en la antorcha de soldadura</i>	46
<i>Sistema de extracción por campana móvil</i>	47
<i>Sistema de extracción mediante banco con aspiración ascendente</i>	48
<i>Sistemas de brazos de extracción</i>	49
<i>Partes esenciales de un sistema de extracción de humos</i>	50
Diseño de sistemas	52
Levantamiento de la línea base del ambiente de trabajo	52
Layout de la celda robotizada	54
Sistema de extracción de humos	55
<i>Diseño de la campana de aspiración</i>	56
<i>Diseño del ducto</i>	65

	10
<i>Filtros</i>	67
<i>Pérdidas de carga del sistema</i>	75
<i>Curva característica del sistema</i>	83
<i>Selección del ventilador</i>	85
<i>Control eléctrico del motor</i>	87
<i>Control para mantenimiento del sistema</i>	88
<i>Diseño mecánico del brazo de extracción</i>	90
<i>Diseño mecánico de la estructura principal</i>	104
<i>Ensamble extractor de humos</i>	107
Jigs de soldadura	108
<i>Criterios (consideraciones) de diseño</i>	108
<i>Diseño mecánico de la estructura principal de los jigs</i>	109
<i>Diseño jig 1</i>	110
<i>Ensamble jig 1</i>	123
<i>Validación de diseño jig 1</i>	125
<i>Diseño jig 2</i>	128
<i>Ensamble jig 2</i>	131
<i>Validación de diseño jig 2</i>	132
Implementación de sistemas	135
Características de componentes en la celda robotizada	135
<i>Brazo robótico KUKA KR5-ARC</i>	135
<i>Sistema de soldadura FRONIUS TransPuls Synergic 4000</i>	138
<i>Sistema de extracción de humos</i>	139
<i>Jigs de soldadura</i>	140
Implementación y construcción del sistema de extracción de humos	142
<i>Base de la estructura principal</i>	142

<i>Carcasa exterior de la estructura principal</i>	143
Campana de extracción	145
<i>Brazo de extracción</i>	146
<i>Motor y filtros</i>	147
<i>Control del sistema de extracción de humos</i>	148
<i>Circuito contador de horas</i>	149
Jigs de soldadura	151
<i>Jig 1</i>	152
<i>Jig 2</i>	153
Pruebas y resultados	155
Sistema de extracción de humos	155
<i>Prueba circuito contador de horas</i>	157
Jigs de soldadura	159
Aplicación de soldadura con sistemas implementados	161
<i>Programación de robot KUKA KR5-ARC para aplicación de soldadura</i>	162
Evaluación del ambiente de trabajo	164
Validación de hipótesis	166
Conclusiones y recomendaciones	173
Conclusiones	173
Recomendaciones	176
Bibliografía.....	178
Anexos	186

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Contaminantes procedentes del material base</i>	42
Tabla 2 <i>Contaminantes del material de recubrimiento</i>	43
Tabla 3 <i>Contaminantes por material de aporte</i>	44
Tabla 4 <i>Contaminantes procedentes del aire y sus impurezas</i>	45
Tabla 5 <i>Gases generados y efectos en la salud</i>	46
Tabla 6 <i>Resultado global de la evaluación de humo de soldadura</i>	53
Tabla 7 <i>Eficiencia y normas equivalentes de filtros</i>	70
Tabla 8 <i>Características cilindro MA6432 20x50-S</i>	116
Tabla 9 <i>Peso de componentes (Jig1)</i>	125
Tabla 10 <i>Peso de componentes (Jig2)</i>	132
Tabla 11 <i>Características técnicas del robot KUKA KR5 – ARC</i>	136
Tabla 12 <i>Rangos de movimiento de los ejes del robot KUKA KR5 – ARC</i>	137
Tabla 13 <i>Características técnicas sistema FRONIUS TransPuls Synergic 4000</i>	139
Tabla 14 <i>Datos técnicos extractor de humos</i>	140
Tabla 15 <i>Datos técnicos Jig de soldadura</i>	142
Tabla 16 <i>Pruebas de capacidad de absorción del sistema de extracción</i>	156
Tabla 17 <i>Pruebas de funcionamiento de circuito contador de horas</i>	158
Tabla 18 <i>Pruebas de sujeción Jig1</i>	159
Tabla 19 <i>Pruebas de sujeción Jig2</i>	160
Tabla 20 <i>Parámetros de soldadura</i>	162
Tabla 21 <i>Resultado global de la nueva evaluación de humo de soldadura</i>	165
Tabla 22 <i>Resultados del compuesto Fosfina</i>	166
Tabla 23 <i>Resultados del compuesto Monóxido de carbono</i>	168
Tabla 24 <i>Resultados para validación de hipótesis</i>	170

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Brazo robótico industrial</i>	22
Figura 2 <i>Configuraciones mecánicas clásicas</i>	23
Figura 3 <i>Grados de libertad</i>	24
Figura 4 <i>Capacidad de carga</i>	25
Figura 5 <i>Campo de trabajo</i>	26
Figura 6 <i>Precisión y exactitud</i>	27
Figura 7 <i>Partes del brazo robótico KUKA</i>	28
Figura 8 <i>Componentes mecánicos del manipulador</i>	28
Figura 9 <i>Aplicaciones del robot industrial (soldadura por arco)</i>	29
Figura 10 <i>Ejemplo de celda robotizada</i>	31
Figura 11 <i>Componentes de una celda robotizada de soldadura</i>	33
Figura 12 <i>Esquema del proceso GMAW</i>	35
Figura 13 <i>Soldadura robotizada GMAW</i>	36
Figura 14 <i>Jig de soldadura</i>	37
Figura 15 <i>Jig estático</i>	38
Figura 16 <i>Jig móvil</i>	38
Figura 17 <i>Clamps manuales</i>	39
Figura 18 <i>Clamps neumáticos</i>	40
Figura 19 <i>Clamps hidráulicos</i>	41
Figura 20 <i>Extracción en la antorcha de soldadura</i>	47
Figura 21 <i>Sistema de extracción por campana</i>	48
Figura 22 <i>Extracción mediante banco</i>	49
Figura 23 <i>Extracción mediante brazos articulados</i>	50
Figura 24 <i>Componentes de un sistema de extracción</i>	51

Figura 25 <i>Layout de la celda robotizada de soldadura</i>	55
Figura 26 <i>Velocidad de captura en diferentes aplicaciones industriales</i>	56
Figura 27 <i>Parámetros recomendados para un sistema de extracción localizada de soldadura</i>	57
Figura 28 <i>Caudal recomendado en brazos de extracción flexible</i>	57
Figura 29 <i>Diámetros y caudales recomendados en ductos flexibles</i>	58
Figura 30 <i>Formas de campanas de captación</i>	59
Figura 31 <i>Perímetro de campana en función de la distancia de contaminación</i>	61
Figura 32 <i>Diseño de campana</i>	62
Figura 33 <i>Variación de velocidad en la periferia de la campana</i>	63
Figura 34 <i>Velocidad de arrastre y velocidad de entrada en la campana</i>	64
Figura 35 <i>Líneas de flujo a la entrada de la campana</i>	64
Figura 36 <i>Disposición de ángulos y medidas del ducto</i>	65
Figura 37 <i>Simulación de flujo para ducto de 8 pulgadas</i>	66
Figura 38 <i>Simulación de flujo para ducto de 7 pulgadas</i>	66
Figura 39 <i>Filtros más usados en la industria</i>	68
Figura 40 <i>Desempeño de los sistemas de filtración de aire</i>	69
Figura 41 <i>Pre filtro de aluminio</i>	70
Figura 42 <i>Filtro MERV 13</i>	72
Figura 43 <i>Horas de uso filtros</i>	74
Figura 44 <i>Presión dinámica en función de la velocidad de aire</i>	76
Figura 45 <i>Perdida de carga en manga flexible</i>	77
Figura 46 <i>Coeficiente de pérdida de presión en codos</i>	79
Figura 47 <i>Coeficiente de pérdida de presión en codo a 125°</i>	80
Figura 48 <i>Pérdida de carga pre filtro</i>	81

	15
Figura 49 <i>Pérdida de carga filtro MERV</i>	82
Figura 50 <i>Pérdida de carga total del sistema</i>	83
Figura 51 <i>Curva característica del sistema</i>	84
Figura 52 <i>Características del ventilador</i>	85
Figura 53 <i>Punto de funcionamiento del ventilador TDA 7/7 L</i>	86
Figura 54 <i>Características del motor WEG W22, carcasa 71</i>	87
Figura 55 <i>Arranque directo de motor trifásico</i>	88
Figura 56 <i>Diagrama esquemático del circuito cuenta horas</i>	89
Figura 57 <i>Esquema del brazo de extracción</i>	90
Figura 58 <i>Acople para campana</i>	91
Figura 59 <i>Acople doble</i>	92
Figura 60 <i>Brazo secundario</i>	92
Figura 61 <i>Brazo principal</i>	93
Figura 62 <i>Ensamble del brazo de extracción</i>	94
Figura 63 <i>Masa y centro de gravedad de componentes</i>	94
Figura 64 <i>Esfuerzo equivalente de Von Mises del brazo principal</i>	95
Figura 65 <i>Deformación total del brazo principal</i>	95
Figura 66 <i>Factor de seguridad del brazo principal</i>	96
Figura 67 <i>Brazo principal modificado</i>	97
Figura 68 <i>Esfuerzo equivalente de Von Mises del brazo principal modificado</i>	98
Figura 69 <i>Deformación del brazo principal modificado</i>	98
Figura 70 <i>Factor de seguridad del brazo principal modificado</i>	99
Figura 71 <i>Brazo secundario modificado</i>	99
Figura 72 <i>Masa y centro de gravedad de campana y acople</i>	100
Figura 73 <i>Esfuerzo equivalente de Von Mises de brazo secundario modificado</i>	101

Figura 74 <i>Deformación total de brazo secundario modificado</i>	101
Figura 75 <i>Factor de seguridad de brazo secundario modificado</i>	102
Figura 76 <i>Campana y elementos de acople</i>	102
Figura 77 <i>Esfuerzo equivalente de Von Mises para campana y acople</i>	103
Figura 78 <i>Deformación total para campana y acople</i>	103
Figura 79 <i>Factor de seguridad para campana y acople</i>	104
Figura 80 <i>Estructura principal</i>	105
Figura 81 <i>Esfuerzo equivalente de Von Mises para estructura principal</i>	106
Figura 82 <i>Deformación total para estructura principal</i>	106
Figura 83 <i>Factor de seguridad para estructura principal</i>	107
Figura 84 <i>Ensamble de extractor de humos de soldadura</i>	107
Figura 85 <i>Modelo inicial de la estructura principal</i>	109
Figura 86 <i>Estructura principal</i>	110
Figura 87 <i>Distribución del espacio Jig 1</i>	111
Figura 88 <i>Perfiles de trabajo Jig 1</i>	112
Figura 89 <i>Clamp para perfiles</i>	112
Figura 90 <i>Clamp para ángulos estructurales</i>	113
Figura 91 <i>Tope para ángulos estructurales</i>	114
Figura 92 <i>Clamp fijo para placas</i>	114
Figura 93 <i>Clamp móvil para placas</i>	115
Figura 94 <i>Tope rectangular</i>	115
Figura 95 <i>Cilindro MA6432 20x50-S</i>	117
Figura 96 <i>Garra de sujeción</i>	119
Figura 97 <i>Soporte cilindro neumático</i>	119
Figura 98 <i>Clamp neumático</i>	120

Figura 99 <i>Esfuerzo equivalente de Von Mises de soporte de cilindro</i>	120
Figura 100 <i>Esfuerzo equivalente Von Mises de garra de sujeción</i>	121
Figura 101 <i>Esfuerzo equivalente Von Mises de tope rectangular</i>	122
Figura 102 <i>Circuito neumático Jig1</i>	123
Figura 103 <i>Estructura Jig1</i>	124
Figura 104 <i>Ensamble Jig1</i>	124
Figura 105 <i>Esfuerzo equivalente de Von Mises de Jig1</i>	126
Figura 106 <i>Deformación total Jig1</i>	127
Figura 107 <i>Factor de seguridad Jig1</i>	127
Figura 108 <i>Marco metálico</i>	128
Figura 109 <i>Perfil de trabajo Jig2</i>	129
Figura 110 <i>Clamp de ajuste Jig2</i>	129
Figura 111 <i>Circuito neumático Jig2</i>	130
Figura 112 <i>Estructura Jig2</i>	131
Figura 113 <i>Ensamble Jig2</i>	132
Figura 114 <i>Esfuerzo equivalente de Von Mises de Jig2</i>	133
Figura 115 <i>Deformación total Jig2</i>	134
Figura 116 <i>Factor de seguridad Jig2</i>	134
Figura 117 <i>Componentes del robot KUKA KR5 – ARC</i>	136
Figura 118 <i>Componentes sistema FRONIUS TransPuls Synergic 4000</i>	138
Figura 119 <i>Jigs de soldadura implementados en la celda robotizada</i>	141
Figura 120 <i>Construcción de la base de la estructura principal</i>	143
Figura 121 <i>Construcción de la carcasa del extractor de humos</i>	144
Figura 122 <i>Carcasa del extractor de humos</i>	144
Figura 123 <i>Tapa de carcasa</i>	145

Figura 124 <i>Campana de extractor</i>	146
Figura 125 <i>Brazo del sistema de extracción</i>	146
Figura 126 <i>Ubicación de motor y filtros en el sistema</i>	147
Figura 127 <i>Componentes eléctricos del control del extractor</i>	148
Figura 128 <i>Elementos del panel de control del extractor</i>	149
Figura 129 <i>Circuito contador de horas</i>	150
Figura 130 <i>Opciones del circuito contador de horas</i>	150
Figura 131 <i>Placa y estructura de jigs de soldadura</i>	151
Figura 132 <i>Estructuras de Jig1 y Jig 2</i>	151
Figura 133 <i>Topes y clamps de Jig1 contruidos</i>	152
Figura 134 <i>Clamp neumático construido</i>	153
Figura 135 <i>Jig1 construido</i>	153
Figura 136 <i>Topes y clamps de Jig2 contruidos</i>	154
Figura 137 <i>Jig2 construido</i>	154
Figura 138 <i>Pruebas del sistema de extracción de humos</i>	157
Figura 139 <i>Simulación de luz piloto de advertencia</i>	158
Figura 140 <i>Sujeción de piezas metálicas Jig1</i>	160
Figura 141 <i>Sujeción de piezas metálicas Jig2</i>	161
Figura 142 <i>Configuración de Jigs para pruebas de funcionamiento</i>	161
Figura 143 <i>Código utilizado en KUKA KR5 – ARC</i>	163
Figura 144 <i>Pruebas de funcionamiento del sistema de extracción de humos y jigs</i>	164
Figura 145 <i>Tabla de distribución Chi – Cuadrado</i>	172

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo el diseño e implementación de un sistema de extracción localizada de humos de soldadura, con la finalidad de disminuir la concentración química de los principales contaminantes del proceso MIG/MAG al trabajar con acero estructural y acero galvanizado dentro de la celda robotizada de soldadura del Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-L. Al realizar un levantamiento de la línea base del ambiente de trabajo se determinó la presencia de dos contaminantes. Fosfina, con una concentración promedio de 0.39 ppm y Monóxido de carbono en una concentración promedio de 9.53 ppm, valores que conllevan a una dosis de concentración total de 3.05 en el puesto de soldadura, superando el límite recomendado igual a 1. Es así, que para disminuir la dosis de concentración se diseñó el extractor de humos en base a una búsqueda exhaustiva en manuales, normas y especificaciones técnicas, para establecer requerimientos de caudal, pérdida de carga, tipo de ventilador y sistema de filtración a implementar. Además, utilizando software de diseño CAD/CAE y simulaciones de flujo se evalúa el comportamiento de todos los elementos previo a su construcción e implementación en la celda robotizada. Al desarrollar pruebas y una nueva evaluación del ambiente de trabajo se evidenció una reducción del 100% en cuanto al compuesto Fosfina, mientras que el Monóxido de carbono disminuyó en un 89.44%. De esta manera, se alcanzó una eficiencia promedio del 94.72% del sistema extractor de humos en cuanto a disminuir la concentración de los contaminantes procedentes del proceso de soldadura robotizada MIG/MAG.

Palabras clave:

- **HUMO DE SOLDADURA**
- **EXTRACCIÓN LOCALIZADA**
- **EXTRACTOR DE HUMO**
- **SOLDADURA ROBOTIZADA**

ABSTRACT

The objective of this degree work is the design and implementation of a localized welding fume extraction system, with the purpose of reducing the chemical concentration of the main contaminants of the MIG/MAG process when working with structural steel and galvanized steel inside the robotic welding cell of the Industrial Robotics Laboratory of ESPE-L. By performing a baseline survey of the work environment, the presence of two contaminants was determined. Phosphine, with an average concentration of 0.39 ppm and carbon monoxide with an average concentration of 9.53 ppm, values that lead to a total concentration dose of 3.05 in the welding station, exceeding the recommended limit equal to 1. Thus, to reduce the concentration dose, the fume extractor was designed based on an exhaustive search in manuals, standards and technical specifications, to establish flow requirements, pressure drop, type of fan and filtration system to be implemented. In addition, using CAD/CAE design software and flow simulations, the behavior of all the elements was evaluated prior to their construction and implementation in the robotic cell. By developing tests and a new evaluation of the work environment, a 100% reduction of the Phosphine compound was evidenced, while Carbon Monoxide decreased by 89.44%. Thus, an average efficiency of 94.72% of the fume extraction system was achieved in terms of reducing the concentration of pollutants from the MIG/MAG robotic welding process.

Key words:

- **WELDING FUME**
- **LOCALIZED EXTRACTION**
- **FUME EXTRACTOR**
- **ROBOTIC WELDING**

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

En el presente capítulo se detalla ciertos fundamentos teóricos asociados al proyecto de investigación, tales como: definiciones, características de robótica industrial, celdas robotizadas, procesos de soldadura, sujetadores (jigs) que suelen utilizarse en operaciones automatizadas, humos emitidos durante este proceso y los sistemas utilizados para su extracción.

1.1 Robótica Industrial

La robótica industrial está orientada al “estudio de la automatización y mejora de procesos de la industria, con el fin de sustituir la actividad física del hombre en tareas repetitivas, de gran exigencia física, desagradables o peligrosas” (Ñique, 2011). Estos estudios permiten además optimizar tiempos y recursos que se traducen en una mejora evidente del nivel de producción.

1.1.1 *Definición de Brazo Robótico Industrial*

Acorde con la Organización Internacional de Estandarización ISO 8373:2012, un brazo robótico industrial es considerado como un “manipulador multifuncional, controlado automáticamente, reprogramable en tres o más ejes, que puede estar fijo o móvil para uso en aplicaciones de automatización industrial”. Esta definición se considera como referencia base del trabajo de investigación, puesto que el contexto de desarrollo está orientado a aplicaciones de carácter industrial, focalizando el área de manufactura. La Figura 1 muestra un manipulador industrial de características antes mencionadas.

Figura 1

Brazo robótico industrial



Nota. Tomado de *Robot Industrial, Brazo Robótico, Robot PNG*, por Freepng.es, 2019, <https://img2.freepng.es/20180528/ots/kisspng-industrial-robot-robotic-arm-industry-abb-group-robot-arm-5b0c795c125011.905836251527544156075.jpg>

1.1.2 Características del Brazo Robótico

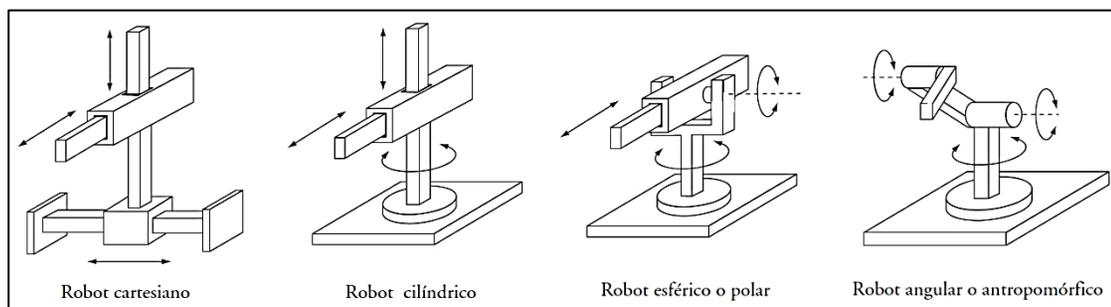
Al hablar de brazos robóticos los autores suelen enlistar un gran número de características; de acuerdo con el trabajo de (Legarreta & Martínez, 2017) se puede mencionar las siguientes: configuración mecánica, grados de libertad, capacidad de carga, campo de trabajo, precisión, exactitud, repetibilidad, resolución espacial, entre otras.

Configuración mecánica. En la Figura 2 es posible apreciar diferentes configuraciones de un robot industrial, se puede identificar: robots tipo cartesiano que constan únicamente de articulaciones prismáticas, robots cilíndricos que dentro de su estructura incluyen una articulación rotacional, robots tipo polar o esférico que constan de dos articulaciones de tipo rotacional y una prismática, y robots antropomórficos que

disponen articulaciones de tipo rotacional y angular. (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007)

Figura 2

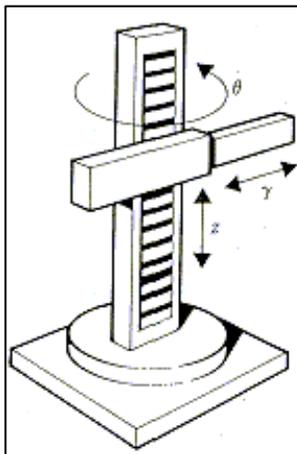
Configuraciones mecánicas clásicas



Nota. Tomado de *Fundamentos de Robótica* (p.35), por Barrientos, Peñín, Balaguer & Aracil, 2007, McGRAW-HILL/Interamericana de España, S. A. U.

Grados de libertad. Los grados de libertad (GDL) hacen referencia al “número de coordenadas independientes necesarias para expresar la posición de todas sus partes” (Rodríguez, 2015). Dicho de otro modo, el número de grados de libertad indica los movimientos independientes (sea prismático o de rotación) que puede efectuar el manipulador a fin de posicionar y orientar su extremo terminal.

En la Figura 3 se puede apreciar un manipulador de configuración cilíndrica con 3 grados de libertad. El valor de θ representa un movimiento tipo rotacional, mientras que z, γ permiten describir movimientos de tipo traslacional.

Figura 3*Grados de libertad*

Nota. Tomado de *Grados de Libertad de un Robot*, por A. Viscarra, 2008,

http://4.bp.blogspot.com/_vNNYsko23ek/STwCI7QSCel/AAAAAAAAAB4/ss18CpR6LBs/s200/Cilindr%C3%ADca.png

Capacidad de carga. La capacidad de carga es un dato que suelen proporcionar los fabricantes y es vital a la hora de seleccionar un robot industrial para una determinada aplicación. Se define como la máxima carga permisible expresada en kilogramos que es capaz de mover un robot, manteniendo sus prestaciones. En el caso de un robot soldador este valor oscila en torno a los 50 kilogramos (Legarreta & Martínez, 2017).

En la Figura 4 puede observar como un robot industrial está manipulando un vehículo sin mayor problema, demostrando así sus prestaciones en cuanto a la capacidad de carga.

Figura 4

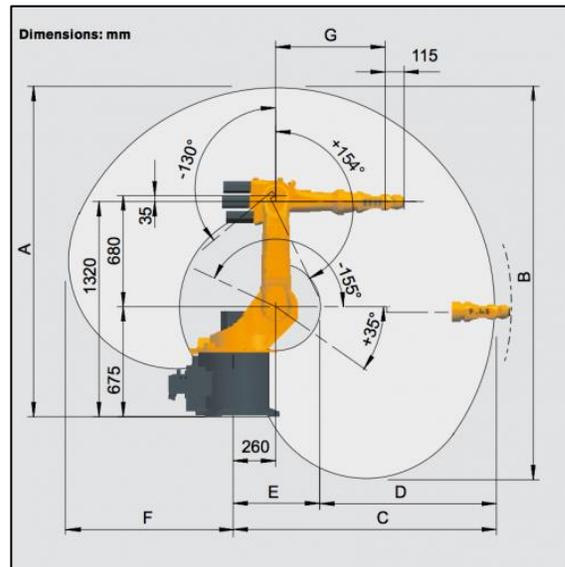
Capacidad de carga



Nota. Tomado de *iREX 2017 La vanguardia de la robótica*, por infoPLC.net, 2017, https://www.infoplcn.net/files/imagenes/noticias/2017/104952_04.jpg

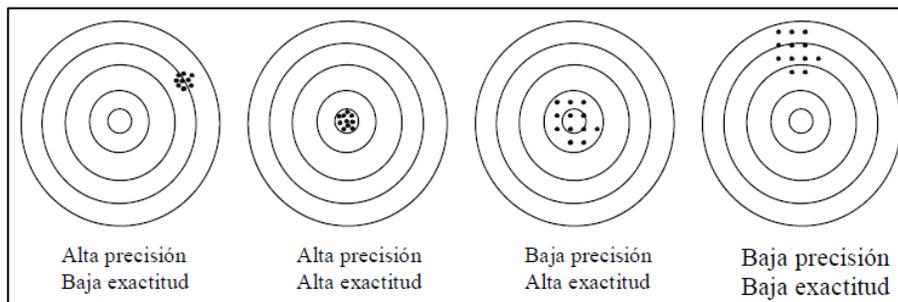
Campo de trabajo. El campo o espacio de trabajo suele definirse como el volumen formado por todos los puntos en los que se puede ubicar fácilmente el extremo del manipulador, es decir sin tener que recurrir a movimientos forzosos en las articulaciones de la configuración mecánica (Moldes & Aginaga, 2014).

En la Figura 5 se muestra el campo de trabajo de un robot antropomórfico de la empresa KUKA, la vista lateral proporcionada permite observar la envolvente conformada por aquellos puntos a los que accede sin mayor complicación el extremo terminal del robot.

Figura 5*Campo de trabajo*

Nota. Tomado de KUKA KR 16-2, por EUROBOTTS, 2016, https://www.eurobots.es/thumbs/medium/diagram/det_233_kuka_kr16_working_envelope_1.png

Precisión, Exactitud, Repetibilidad y Resolución espacial. La precisión de los movimientos de un manipulador industrial tiene que ver con la capacidad del robot para lograr una determinada ubicación dentro de su volumen de trabajo y está en función de las tres características restantes: exactitud, repetibilidad y resolución espacial (Figura 6). La exactitud es la posibilidad que tiene el robot para situar el punto extremo de su muñeca en un destino descrito, en cuanto a la repetibilidad es la capacidad para volver a un punto ya programado, mientras que la resolución espacial es el más pequeño incremento de movimiento que puede ejecutar el manipulador (MEKKAM, 2015).

Figura 6*Precisión y exactitud*

Nota. Tomado de *Tipos de errores*, por L. Hernández, 2012,

<https://todoingenieriaindustrial.files.wordpress.com/2012/10/14.png?w=690&h=243>

1.1.3 Partes del Brazo Robótico

Un brazo robótico generalmente está constituido por los siguientes elementos: el manipulador o brazo mecánico, elementos motrices o actuadores, controlador, efector terminal, la herramienta y ciertos sensores de información en el caso de robots inteligentes (UdeSantiagoVirtual, 2016).

KUKA, uno de los fabricantes de robots industriales a nivel mundial, da a conocer que su sistema robótico está compuesto de tres elementos fundamentales: armario de control (1), manipulador o mecánica del robot (2), unidad manual de programación y de operación (3) como se observa en la Figura 7. Además, menciona que el software y los cables de conexión también forman parte del sistema robot; mientras que todo aquel elemento fuera de los límites del propio robot recibe el nombre de periféricos, por ejemplo: herramientas, dispositivos de protección, cintas transportadoras, sensores, máquinas, entre otros. (KUKA Roboter, 2013)

Figura 7

Partes del brazo robótico KUKA

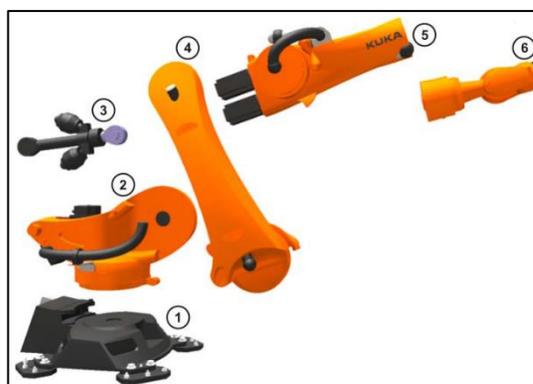


Nota. Tomado de *Nociones básicas sobre robots* (p. 7), por KUKA Roboter, 2013.

El fabricante KUKA también describe la mecánica del robot, en la Figura 8 puede observar los siguientes componentes: base (1), columna giratoria (2), compensación de peso (3), brazo de oscilación (4), brazo (5), muñeca (6).

Figura 8

Componentes mecánicos del manipulador



Nota. Tomado de *Mecánica de un robot KUKA* (p. 9), por KUKA Roboter, 2013.

1.1.4 *Aplicaciones del robot industrial*

En el campo de la robótica industrial existe un sinnúmero de aplicaciones; no obstante, (PROGRABOX, 2016) en su publicación resalta las siguientes:

- Soldadura de arco (Arc welding) (Figura 9)
- Soldadura por punto (Spot welding)
- Manipulación de materiales
- Recolección, empaquetado y paletizado
- Ensamblaje
- Molienda de corte mecánico, desbardado y pulido
- Pegado, sellado adhesivo y pulverizado de materiales
- Otros procesos como: inspección, corte con chorro de agua, entre otros.

Figura 9

Aplicaciones del robot industrial (soldadura por arco)



Nota. Tomado de *Crecimiento del mercado de robots industriales de soldadura*, por infoPLC.net, 2015, https://www.infoplc.net/media/k2/items/cache/eb528431540721ef20cebd71a2a437c_XL.jpg

1.2 Celdas Robotizadas

1.2.1 *Celda de manufactura robotizada*

“Una celda de manufactura es una unidad de trabajo más grande que una máquina o un sitio de trabajo individual pero más pequeña que el departamento generalmente. Típicamente, cuenta con 3 a 12 personas y puede estar formada por 5 a 15 sitios de trabajo en un arreglo compacto” (Sekine, 1993).

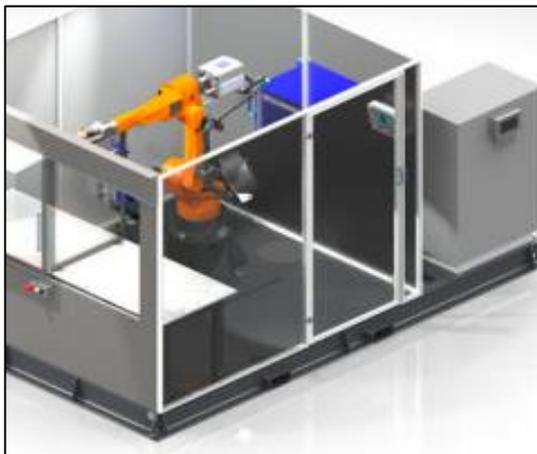
Una celda de manufactura es la combinación más efectiva de operaciones manuales y mecánicas para aumentar el valor añadido y reducir el desperdicio. Son implementadas en cualquier lugar dónde existan actividades continuas, pasando una pieza a la vez, de una estación de trabajo a otra. (Collectors, 2014)

“La celda de manufactura robotizada es un conjunto de componentes electromecánicos, que trabajan de manera coordinada con un robot para lograr un producto, y que además permiten la fabricación en serie de dicho producto”. (Zambrano & Polo, 2019)

Las celdas de manufactura robotizada adquieren flexibilidad cuando se pueden ajustar a las necesidades del mercado, ya que están constituidas principalmente por máquinas de control numérico y robots. El aumento de la competencia y la variedad de microprocesadores actualmente hacen que los costos de la simulación de procesos y celdas robotizadas hayan dejado de ser para grandes empresas y sean de fácil acceso para cualquier entidad y proceso (Cassani, 2011). En la Figura 10 puede observar un ejemplo de una celda robotizada.

Figura 10

Ejemplo de celda robotizada



Nota. Tomado de *Celda Robotizada de soldadura QR-CC-2.1* por [directindustry.es](https://www.directindustry.es), s.f., <https://www.directindustry.es/prod/cloos/product-9248-1619005.html>

1.2.2 *Celdas robotizadas de soldadura*

Según (Macias, s.f.) “Hasta hace poco tiempo los procesos de soldadura se realizaban de forma manual, pero debido al incremento en los procesos productivos se ha migrado a sistemas automatizados” (p.1). Por ejemplo, en la industria automotriz o carrocería, la industria naval, etc., en donde se despliegan grandes cantidades de trabajo que al ser realizados de forma manual no podrían ser desarrollados con el tiempo y la calidad que lo permite un proceso de soldadura robotizada.

Entre las principales ventajas que se pueden describir de una celda robotizada de soldadura contra una manual (Ektoboter, s.f.), son las siguientes:

- Pueden trabajar las 24 horas sin necesidad de descanso.
- Los robots antropomórficos son altamente maniobrables y pueden ejecutar soldaduras complejas.

- Una vez programados pueden realizar el proceso de soldadura con una precisión y calidad consistente
- Incremento de la cantidad de producción
- Disminución de la cantidad de escoria producida
- Reducir el costo de inspecciones (Todas las soldaduras son iguales)
- Reducir el tiempo de entrenamiento de operadores

1.2.3 Componentes de una celda robotizada de soldadura

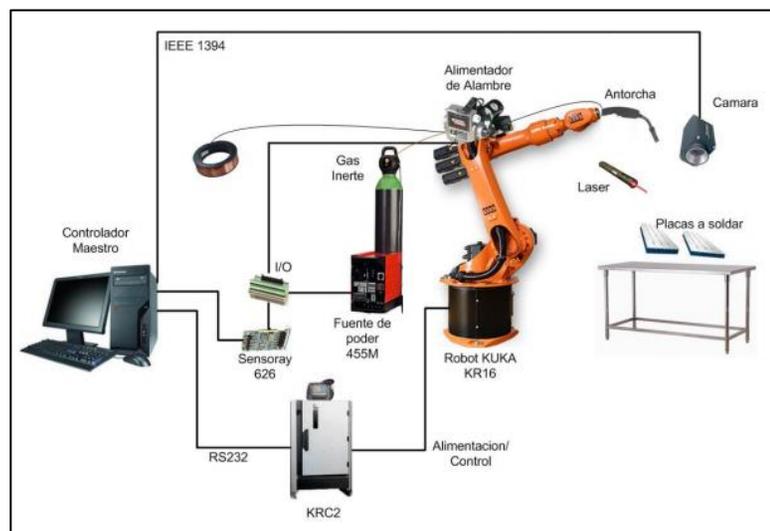
Una celda de soldadura robotizada debe contener elementos básicos para poder operar; entre los cuales según (Dávila & López, 2011) son:

- Robot de soldadura
- Estación de soldadura
- Alimentador de alambre
- Antorcha
- Tanque de gas

A continuación, en la Figura 11 se observa los principales componentes de una celda de soldadura robotizada; conformada por un manipulador industrial, unidad de control, equipo de soldadura y demás periféricos acordes al trabajo a desarrollar.

Figura 11

Componentes de una celda robotizada de soldadura



Nota. Tomado de *Integración de celdas robotizadas con compensación automática de trayectorias* (p.5), por (Dávila & López, 2011), <http://www.itsbasicas.com/davila/dyna2011.pdf>

1.3 Proceso de Soldadura

La soldadura no es más que el arte de unir metales, no obstante, este pequeño concepto ha resultado de gran importancia para todas las industrias del mundo (alimenticia, automotriz, aeroespacial, construcción, metalmecánica, robótica, etc.) puesto que de una u otra forma utilizan algún proceso para llevar a cabo sus actividades de producción. Es así que la mayoría de objetos que se utiliza a diario están compuestos de alguna parte metálica que probablemente fue soldada; la soldadura es una de las tecnologías más valiosas y que desempeñó un papel importante en la revolución industrial (Bernad, 2019).

1.3.1 Definición de soldadura

La Sociedad Americana de Soldadura (AWS) la define como: “un proceso de unión que produce la coalescencia de materiales calentándolos a la temperatura de soldadura, con o sin la aplicación de presión y con o sin el uso de metal de aporte” (AWS, 2020).

1.3.2 Soldadura por arco (AW)

Los procesos de soldadura son realmente numerosos, la AWS, ente rector de este campo ha clasificado en siete grandes grupos a todos los procesos incluidos los de unión (WELDING JOURNAL, 2009).

Entre uno de los procesos se encuentra la soldadura por arco, mismo que genera el calentamiento de los metales a partir de un arco eléctrico; además, en ciertas operaciones se aplica presión durante el proceso y la mayoría utiliza un metal de aporte (Groover, 2007). Inmerso en este grupo se encuentra la soldadura por arco metálico protegida por gas (GMAW).

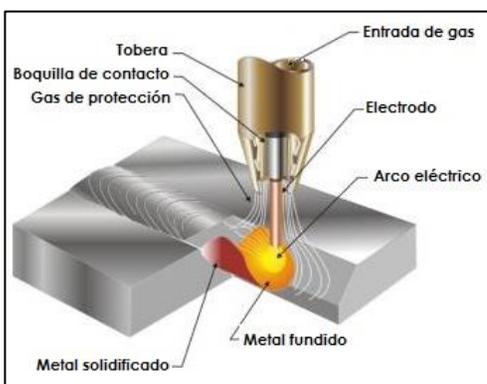
1.3.3 Proceso GMAW (MIG/MAG)

GMAW proviene del inglés Gas Metal Arc Welding (Soldadura de gas y arco metálico) o también llamado MIG / MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas), es uno de los procesos más utilizados en la industria por sus múltiples ventajas, pues su alimentación continua y mayores tasas de deposición deriva a una mayor productividad, sin embargo depende de la calibración de algunos parámetros como: voltaje, corriente, velocidad de avance... para obtener el resultado deseado (Madariaga, Modenesi, & Rincón, 2020).

La (AWS, 2020) lo define como un proceso de soldadura que utiliza un arco entre un electrodo de metal de relleno continuo y el charco de soldadura; dicho proceso emplea además el blindaje o protección de un gas suministrado externamente y sin la aplicación de presión. La Figura 12 muestra un esquema del proceso GMAW.

Figura 12

Esquema del proceso GMAW



Nota. Tomado de *Proceso GMAW*, por A. Marín, 2016,

https://lh3.googleusercontent.com/proxy/6C-LHS2CQZZNDqMyBZzHH-8CCvsdREzDoPdu6KtCJ_2OOBuX2WV9bWI7157RqGX3qXJpjpz_vnM-ADwAmLZW9y_HeZUkx4pzO6Cp_5AORiMktVuPYBaHphrDQJUPzqJD

1.3.4 **Proceso de soldadura robotizada GMAW**

En primera instancia, la soldadura robotizada es considerada como “el uso de robots para llevar a cabo un proceso de soldadura completamente automático, además brinda soporte a las diferentes tareas repetitivas y propaga entornos más seguros para los trabajadores” (Alpe Industrial, 2018).

En este punto cabe resaltar que el brazo robótico puede soldar toda una pieza, orientarla, transportarla y realizar los acabados de un modo automático, puesto que

todos los parámetros y coordenadas de localización de la unión a soldar se programan mediante una unidad control numérico computarizado (Marín, 2016). La Figura 13 muestra un proceso GMAW robotizado.

Figura 13

Soldadura robotizada GMAW



Nota. Tomado de *Proceso GMAW*, por A. Marín, 2016,
https://lh3.googleusercontent.com/proxy/-Qvpk8Em_9yxfH3UjWiqL5gijOOL0OW0Jlj-I55pg5Yf8jDOs1JZG9u0kYL38p07xNcCatTcDPCtDCaZmdAOoXBzSF-AAchEk2WgjOina9oX6oQnu2YHJ1vpZFaCMQeIdGNzxx2POEYRmpUQ2I09_Hg

1.4 Sujetadores para procesos de soldadura

Los sujetadores empleados pueden ser: soportes mecánicos, matrices, jigs (plantillas) que permiten mantener un proyecto de soldadura estable frente a variables como: presión, calor, movimiento, fuerza.

Estos sujetadores deben tener un diseño óptimo, gran soporte y calidad, pues agilizarán el trabajo de soldadura manteniendo las piezas firmes con ayuda de algún mecanismo de sujeción y sin ocasionar defectos o daños. Tales características permiten

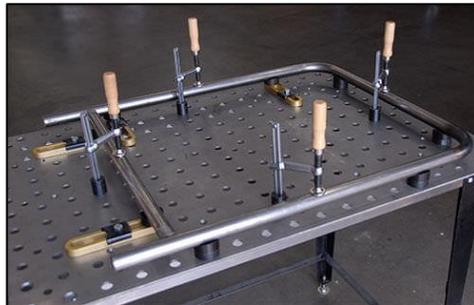
que puedan ser utilizados tanto en procesos manuales, automáticos o robotizados (iQuip, 2018).

1.4.1 **Definición de jig de soldadura**

Los Jigs de soldadura son dispositivos que sirven de soporte al momento de ensamblar, unir o estandarizar una estructura; mismo que tiene como objetivo alcanzar la producción de elementos en masa gracias a un proceso repetitivo y a una matriz de generación (Guerra, 2015). En la Figura 14 puede observar un jig a utilizar en procesos de soldadura de tubos metálicos.

Figura 14

Jig de soldadura



Nota. Tomado de *Mesa para soldadura*, por Direct Industry, 2020, https://img.directindustry.com/images_di/photo-g/86009-5446653.jpg

1.4.2 **Jigs de soldadura estáticos**

La Figura 15 muestra un ejemplo de este tipo de jigs, mismos que son “dispositivos para ensamblaje de estructuras en los que el bastidor o bancada permanece estático, es decir no tiene ninguna clase de movimiento” (Guerra, 2015).

Figura 15

Jig estático



Nota. Tomado de *Mesa para soldadura*, por Direct Industry, 2020, https://img.directindustry.es/images_di/photo-g/86009-5446647.jpg

1.4.3 Jigs de soldadura móviles

Al igual que los anteriores, éstos son dispositivos para ensamblaje de estructuras, no obstante, el bastidor o bancada tiene algún tipo de movimiento para facilitar la soldadura, sea horizontal, vertical o de rotación (Guerra, 2015). La Figura 16 muestra un jig que puede efectuar un movimiento rotacional.

Figura 16

Jig móvil



Nota. Tomado de *Stainless-Steel Welding Jig*, por IndiaMART, 2020, <https://5.imimg.com/data5/EM/BI/MY-4469712/welding-jig-500x500.jpg>

1.4.4 Tipos de sujeción

Los jigs necesitan de accesorios o herramientas que permitan sujetar las piezas durante el proceso a desarrollar. Estos elementos se conocen como clamps, los cuales pueden brindar sujeciones de tipo manual (mecánica), neumática o hidráulica acorde a aspectos como diseño, aplicación a implementar o requerimientos del usuario. A continuación, se detallan ciertas características de los respectivos sistemas de sujeción:

Clamps de sujeción manual (mecánica). Son clamps que generalmente utilizan una abrazadera de palanca manual y otros mecanismos para la sujeción (Figura 17). Éstas pueden ser: abrazaderas de alta resistencia, abrazaderas de sujeción (con mango vertical u horizontal), abrazaderas de cierre y abrazaderas de acción recta o de compresión (Destaco, 2019).

Figura 17

Clamps manuales

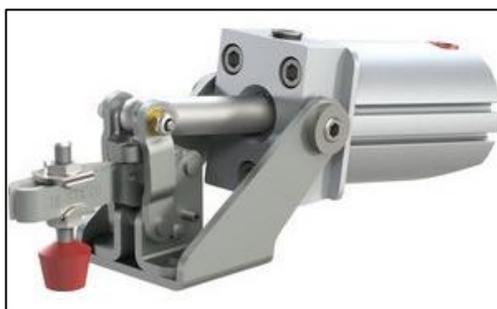


Nota. Tomado de *Manual Campin*, por Destaco, 2019,
<https://www.destaco.com/assets/images/manualclamps.jpg>

Clamps de sujeción neumática. Los clamps de este grupo suelen utilizar cilindros accionados por aire para ejecutar la acción de sujeción (Figura 18), estos elementos son ideales para una sujeción rápida en operaciones de producción repetitivas, son portátiles y económicas para usar en trabajos de corta duración con fijación temporal. Además, en función de sus características técnicas pueden ser utilizados en industrias como: aeroespacial, automoción, alimentación, embalaje y aplicaciones de: fijación y pruebas, soldadura, mecanizado CNC, entre otras (Destaco, 2019).

Figura 18

Clamps neumáticos



Nota. Tomado de *Light-Duty Pneumatic Clamping*, por Destaco, 2019,
https://s3.amazonaws.com/assetbank-us-east-1-repurposed/destaco_a0a4525ffa98f8c42a1a29b3ae26cb32%2Ff4b%2F9xaq0VnLK7cl01DW4IEPKx5iTvXOgqJ.jpg

Clamps de sujeción hidráulica. Los productos de sujeción hidráulicos proporcionan altas fuerzas de sujeción para la industria (Figura 19), pues utilizan elementos combinados con un accionamiento rápido, repetible y fiable (Destaco, 2019).

Figura 19

Clamps hidráulicos



Nota. Tomado de *Brida de sujeción hidráulica*, por Direct Industry, 2020,

https://img.directindustry.es/images_di/photo-g/16654-9652112.jpg

1.5 Humos emitidos en el proceso de soldadura

1.5.1 Introducción

Se conoce que los diferentes tipos de procesos por soldadura producen efectos que provocan daños en el organismo y que pueden afectar gravemente a la salud.

Durante el proceso de soldadura se producen humos y gases dependiendo del material y el tipo de soldadura utilizado. Como lo menciona en su manual de soldadura (Osalan, 2012):

Los humos de soldadura son una mezcla de partículas y gases generados por el fuerte calentamiento de las sustancias presentes en el entorno de soldadura o de oxicorte, estas sustancias dependen fundamentalmente de: las piezas a soldar, materiales de aporte, recubrimientos en las superficies de las piezas, el aire en la zona de soldadura y su contaminación. (p. 8)

1.5.2 *Procedentes del metal base de las piezas*

Los contaminantes que se pueden presentar dependerán de la estructura del material de las piezas a soldar, es así como diferentes clases de acero pueden producir en mayor o menor medida contaminantes, por ejemplo: los aceros dulces producen óxidos de hierro y de manganeso, mientras que los aceros aleados pueden generar óxidos de las diferentes aleaciones de la que están constituidos, en la Tabla 1 se puede observar los diferentes tipos de materiales y desechos que emiten.

Tabla 1

Contaminantes procedentes del material base

Metal Base	Contaminante característico
Acero Inoxidable	Magnesio, Níquel, Cromo, Óxido de hierro
Acero de Baja Aleación	Cromo, Magnesio, Vanadio
Aleaciones de Cobre	Berilio, Cromo, Plomo, Níquel
Aluminio	Oxido de aluminio
Aceros al Manganeso	Cromo, Cobalto, Manganeso, Vanadio, Níquel

Nota. Recuperado de *Welding Handbook* por (Society, 2001) cómo se citó en (Nuñez, 2012) (p.19).

1.5.3 *Contaminantes del material de recubrimiento*

Se producen distintos tipos de contaminantes ya que los recubrimientos o materiales de aporte inciden en los desechos provocados por el proceso de soldadura algunos de estos se pueden ver en la Tabla 2.

Tabla 2*Contaminantes del material de recubrimiento*

Recubrimiento	Contaminante
Galvanizado	Óxido de Zinc
Cromado	Óxido de Cromo
Cadmiado	Óxido de Cadmio
Niquelado	Óxido de Níquel
Fosfatado	Fosfina
Pinturas y plásticos	Plomo, Zinc, Óxido de plomo, Cromo
Disolventes clorados	
Tricloroetileno	Fosgeno
Percloroetileno	

Nota. Recuperado de *Riesgos higiénicos existentes en las operaciones de soldadura con arco eléctrico* (p. 60, 61) por (Castillo, 2014). *El soldador y los humos de soldadura* (p. 10) por (Osalan, 2012).

1.5.4 Contaminantes por material de aporte

Debido a los materiales de aporte de la soldadura GMAW y al tener gases de protección como: oxígeno, dióxido de carbono y argón se producen contaminantes procedentes de estos gases protectores, mismos que se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3*Contaminantes por material de aporte*

Material de aporte	Tipo de soldadura	Contaminantes característicos
Varilla o alambre desnudo	TIG, MIG, MAG	Óxidos de los metales del hilo o de la varilla de aporte y Óxidos de cobre
Gas de protección	MAG, TIG, Plasma	Monóxido y dióxido de Carbono (CO y CO_2)
Gases de combustión	Oxigás	Óxidos Nitrosos, por impurezas de nitrógeno en el oxígeno y anhídrido carbónico
	Oxiacetilénica	Fosfina, impurezas de fósforo

Nota. Recuperado de *El soldador y los humos de soldadura* (p. 11) por (Osalan, 2012).

1.5.5 Contaminantes procedentes del aire y sus impurezas

Compuestos producidos por contaminación o estado del aire en el que se realizan los trabajos de soldadura, son ejemplos claros las soldaduras TIG y MIG que pueden producir radiaciones ultravioletas. En la Tabla 4 se detallan las principales operaciones y sus contaminantes.

Tabla 4*Contaminantes procedentes del aire y sus impurezas*

Operaciones	Contaminantes	Reacciones que originan
Soldadura Oxiacetilénica	Dióxido de Nitrógeno	Oxidación de nitrógeno con el aire
Soldaduras de arco TIG, MIG, Plasma, especialmente aluminio	Ozono	Radiaciones ultravioletas producidas por el arco
Disolventes de Hidrocarburos clorados	Fosgeno	Tricloroetileno, percloroetileno.

Nota. Recuperado de *Los riesgos de la soldadura y su prevención* (p. 9) por (Bernaola, 2012) y *Guía de prevención de riesgos en trabajos de soldadura* (p. 14) por (educativos, s.f.).

1.5.6 Gases generados

En el estudio realizado por (Ortiz & Quintana, 2001) “aproximadamente 0.5 a 1% de los consumibles de soldadura por arco se convierten en contaminantes.”

Principalmente lo que se genera son óxidos de los componentes de las superficies de revestimiento de los materiales soldados, se puede destacar como los principales y más peligrosos al óxido de nitrógeno (NO), monóxido de carbono (CO), ozono (O_3) y dióxido de carbono (CO_2), esto señalado en un estudio realizado por (Falcone & Erdely, 2018).

En la tabla 5 se ven los efectos sobre la salud que pueden generar la emanación de estos gases.

Tabla 5

Gases generados y efectos en la salud

Gases	Origen	Efectos sobre la salud
Ozono	Formado por arco de soldadura	Efectos agudos, incluyendo hemorragias y derrames en pulmón.
Óxido de nitrógeno	Formado en el arco de soldadura	Neumonitis, edema pulmonar, bronquitis crónica, fibrosis pulmonar.
Monóxido de carbono	Dióxido de carbono generado durante la soldadura al arco. Protección de electrodos	Dolor de cabeza, náuseas, efectos crónicos y cardiovasculares e incluso muerte.

Nota. Recuperado de *Jornada Técnica de trabajos de soldadura*, 2009, como se citó en (Chimbo & Ortiz, 2012) (p.17).

1.6 Sistemas de extracción de humos en soldadura

1.6.1 Sistema de extracción en la antorcha de soldadura

En la Figura 20 se observa un sistema de extracción integrado en la antorcha de soldadura que tienen una pequeña tubería ubicada en la parte superior, la cual está disponible para captar el humo de soldadura desde su origen. Es usual que en este tipo de sistemas los flujos de volumen requeridos sean bajos, por el mismo hecho de que esta próximo al área donde se produce la soldadura, no obstante, requieren de una

subpresión más alta. Una de sus mayores desventajas es que puede provocar deficiencias en las posiciones para soldar.

Figura 20

Extracción en la antorcha de soldadura



Nota. Tomado de *El soldador y los humos de soldadura* (p. 32) por (Osalan, 2012).

1.6.2 Sistema de extracción por campana móvil

Este equipo cuenta con un sistema de extracción formado por una campana móvil de aspiración y ductos flexibles, como el de la Figura 21. Debido a que esta unidad cuenta con una gran boquilla, es recomendable situar el ducto lo más cerca posible de la zona de trabajo; acción que se puede realizar gracias a la movilidad de las articulaciones que se encuentran cubriendo el ducto flexible

Figura 21

Sistema de extracción por campana



Nota. Tomado de *Smart Master aparato de aspiración* por (Kemper, s.f.),
https://www.kemper.eu/es/productos/smartmaster-aparato-de-aspiracion_kp17871

1.6.3 Sistema de extracción mediante banco con aspiración ascendente

Según lo mencionado por (Haro & Ñacato, 2006), este tipo de sistema suele definirse como:

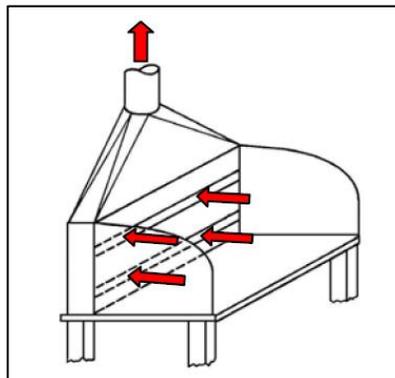
Un sistema que consiste de una mesa con una parrilla en la parte superior.

El aire es aspirado hacia abajo a través de la parrilla hacia el ducto de evacuación. La velocidad del aire debe ser suficiente para que los vapores y gases no contaminen el aire aspirado. Las piezas no deben ser demasiado grandes para no cubrir completamente el ducto e impedir el efecto de extracción. (p. 26)

En la Figura 22 se observa este sistema, y como el flujo de extracción de aire se transporta de forma ascendente, razón por lo que lleva dicho nombre.

Figura 22

Extracción mediante banco



Nota. Tomado de *El soldador y los humos de soldadura* (p. 30) por (Osalan, 2012).

1.6.4 Sistemas de brazos de extracción

Este tipo de sistema es uno de los más utilizados porque permite direccionar la boca de aspiración hacia el puesto de trabajo de soldadura. En la Figura 23 puede observar un ejemplo de sistema articulado de la empresa Worky, el cual consta de elementos flexibles acoplados al conducto principal, la estructura mantiene su estabilidad gracias a los elementos mecánicos de soporte y se encuentra conectada con el ventilador que se encarga de transportar el flujo de aire. Este sistema es eficiente cuando se trabaja en ambientes interiores y confinados.

Figura 23

Extracción mediante brazos articulados



Nota. Recuperado de (Worky-italy.com, 2019), <https://www.worky-italy.com/es/aspiracion-humos-de-soldadura/brazos/brazo-articulado-autoportante-de-150-mm-de-diametro-par-la-aspiracion-de-humos-de-soldadura-sba>

1.6.5 Partes esenciales de un sistema de extracción de humos

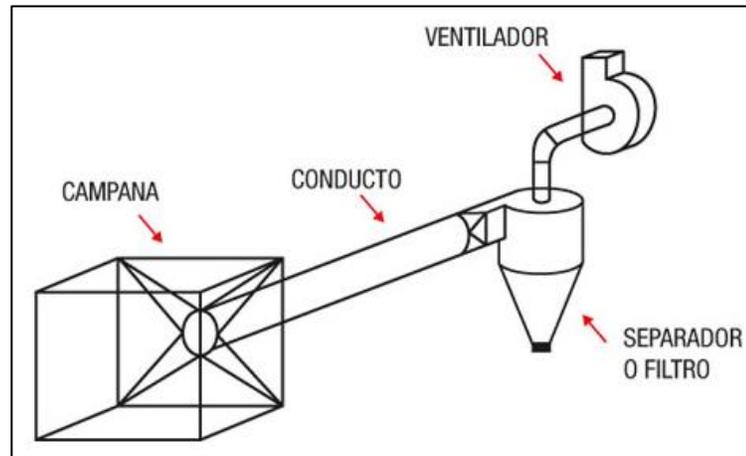
Los sistemas de extracción de acuerdo con (Mundo HVAC&R, 2018) suelen estar compuestos por los siguientes elementos:

- Campana extractora
- Sistema de ductos
- Dispositivo de limpieza o separación
- Ventiladores
- Ducto de descarga

A continuación, en la Figura 24 se observa un esquema de los elementos mencionados.

Figura 24

Componentes de un sistema de extracción



Nota. Tomado de *Elementos de un sistema de extracción*, Dirección de Seguridad e Higiene, Asepeyo como se citó en (Mundo HVAC&R, 2018)

CAPITULO II

2. DISEÑO DE SISTEMAS

En este capítulo se establece la línea base del ambiente de trabajo, características, parámetros de diseño, organización de los componentes y los nuevos sistemas que formaran parte de la celda robotizada.

2.1 Levantamiento de la línea base del ambiente de trabajo

En este ítem se realiza una primera evaluación del ambiente de trabajo, mismo que consiste en realizar una medición de la concentración química de los principales contaminantes producidos durante el proceso de soldadura MIG/MAG de la celda robotizada: Fosfina (PH_3), Monóxido de carbono (CO), Sulfuro de hidrógeno (H_2S).

Bajo este referente, se realiza una búsqueda en la zona centro del país de empresas o instituciones dedicadas a desarrollar esta actividad, puesto que el Laboratorio de Robótica Industrial no dispone del equipo necesario. Es así que se coordina y gestiona los detalles necesarios con la empresa HES Consultores S.A. de la ciudad de Ambato para este propósito.

Adicional a ello, se lleva a cabo el diseño de una aplicación de soldadura industrial robotizada, a fin de incrementar el volumen de trabajo del brazo robótico y evaluar de mejor manera el ambiente en cuestión.

Una vez receptado el informe por parte de la empresa (Anexo A1), se obtiene los datos de dosis individual y total de los compuestos químicos analizados, mismos que se observa en la Tabla 6.

Tabla 6

Resultado global de la evaluación de humo de soldadura

Puesto	Dosis FOSFINA (PH₃)	Dosis SULFURO DE HIDROGENO (H₂S)	Dosis MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	Dosis Total
Soldadura	2.95	0.00	0.10	3.05

Nota. Recuperado de (HES Consultores, 2020).

Al analizar dichos valores numéricos, la empresa (HES Consultores, 2020) da a conocer las siguientes conclusiones:

Se observa que el puesto analizado de soldador con Mig tiene un resultado de la dosis acumulada de 3.05 superando en el 205%, ya que los valores de concentración superan los límites recomendados.

La dosis individual indica una participación de 96,7% del compuesto Fosfina, determinando valores altos para el trabajo analizado de soldador. (p.15)

Este valor de dosis total supera el límite recomendado que es igual a 1, en el caso de la Fosfina su dosis es de 2.95 ya que tiene una concentración promedio de 0.39 ppm superando ampliamente el valor límite de umbral y media ponderada en el tiempo (TLV – TWA) igual a 0.05 ppm. El monóxido de carbono en cambio tiene una dosis individual de 0.1 ya que su concentración química promedio es de 9.53 ppm, valor que no supera el umbral (TLV – TWA) de 35 ppm, pero aporta a la dosis total de la estación de soldadura. Estos y otros valores producto de la medición se puede constatar en la sección de anexos (Anexo A1, p. 11–15).

De igual manera, las recomendaciones a considerar para futuros de trabajos de soldadura por parte de (HES Consultores, 2020) son:

Por resultados de Dosis total > 1 , se recomienda determinar medidas de control inmediatas en los puestos de trabajo determinados como críticos por presencia de compuestos orgánicos volátiles, debiendo mejorar la circulación de aire en el área del módulo central de producción, sugiriéndose una campana de extracción localizada o algún medio de renovación de aire eólico.

Se recomienda el uso obligatorio de mascarilla con filtro para gases ácidos al personal que ocupa el área de soldadura. Además, capacitar a los trabajadores en el uso del equipo de protección personal y enfermedades de trabajo por sustancias químicas.

Por valores de la dosis que superan el límite recomendado, se recomienda vigilancia de la salud a patología laboral relacionada a la exposición a los compuestos derivados de los gases analizados. (p.15)

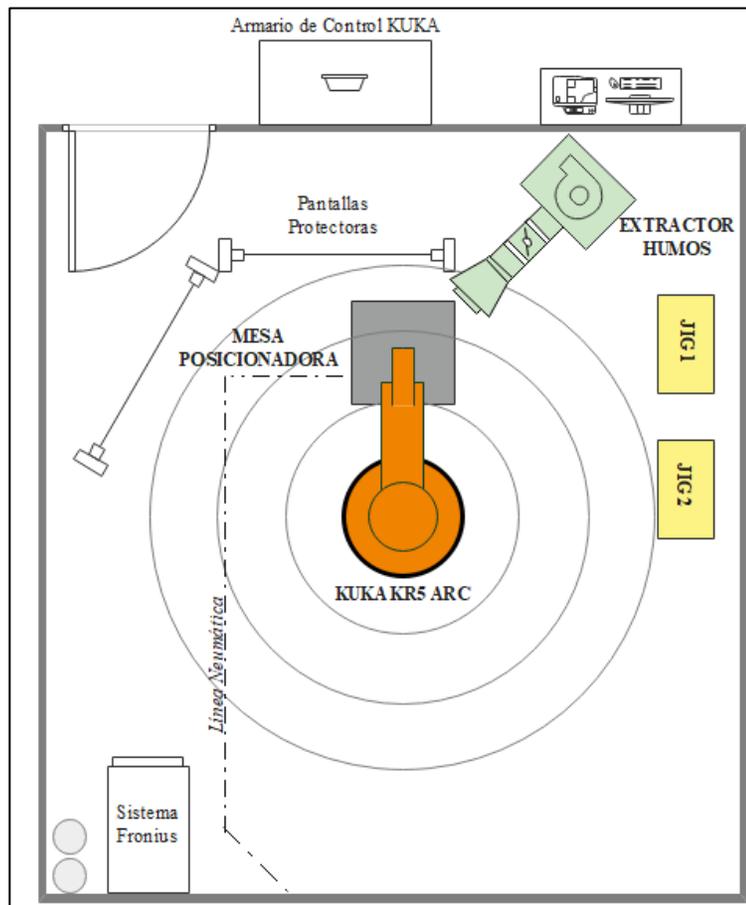
Acorde a este levantamiento de línea base del ambiente de trabajo es evidente llevar a cabo el diseño de un sistema de extracción localizado de humos de soldadura que permita disminuir los valores de dosis tanto individual y total.

2.2 Layout de la celda robotizada

Los componentes que se encuentran en la celda robotizada deben tener una distribución adecuada, para ello se elabora un esquema o layout (Figura 25) que permite una visualización previa.

Figura 25

Layout de la celda robotizada de soldadura



Nota. El esquema muestra la ubicación que tendrán los sistemas a incluirse en la celda robotizada (sistema móvil de extracción de humos y jigs de soldadura)

2.3 Sistema de extracción de humos

Para determinar los parámetros de diseño del sistema de extracción de humos se inicia con una revisión exhaustiva de recomendaciones técnicas, manuales de ventilación y estándares internacionales como: AWS F3.2M, ASHRAE HANDBOOK HVAC, Manual Práctico de Ventilación Soler&Palau Ventilation Group.

2.3.1 Diseño de la campana de aspiración

Como primer punto se requiere conocer el valor de la velocidad de arrastre de los humos de soldadura, esta velocidad V_a , es la velocidad necesaria para poder capturar los contaminantes hacia arriba de la campana (ASHRAE HANDBOOK, 2011). Dicho valor se describe en el capítulo 32 del manual ASHRAE APPLICATIONS Tabla 1 (Figura 26), en donde se recomienda velocidades entre 0,5 y 1 m/sg.

Figura 26

Velocidad de captura en diferentes aplicaciones industriales

Condition of Contaminant Dispersion	Examples	Capture Velocity, m/s
Released with essentially no velocity into still air	Evaporation from tanks, degreasing, plating	0.25 to 0.5
Released at low velocity into moderately still air	Container filling, low-speed conveyor transfers, welding	0.5 to 1.0
Active generation into zone of rapid air motion	Barrel filling, chute loading of conveyors, crushing, cool shakeout	1.0 to 2.5
Released at high velocity into zone of very rapid air motion	Grinding, abrasive blasting, tumbling, hot shakeout	2.5 to 10

Nota. Tomado de *HVAC APPLICATIONS* (p.32.3) por (ASHRAE HANDBOOK, 2011)

Se considera un valor promedio de 0,75 m/sg como velocidad de arrastre; a continuación, se determina un valor de velocidad de entrada (velocidad en la boca de la campana) $V_e = 7,5$ m/sg y velocidad en los conductos $V_c = 15$ m/sg que debe tener el sistema. Estos valores se seleccionan acorde al Manual Práctico de Ventilación de (Soler&Palau Ventilation Group, 2012), tal y como se observa en la Figura 27.

Figura 27

Parámetros recomendados para un sistema de extracción localizada de soldadura

EXTRACCIÓN LOCALIZADA PORTÁTIL PARA SOLDADURA		
CAMPANA MÓVIL		
X, mm	Conducto simple m ³ /s	Con pestaña o pieza cónica m ³ /s
Hasta 150	0,16	0,12
150-225	0,35	0,26
225-300	0,63	0,47

- Velocidad en la cara abierta = 7,5 m/s
- Velocidad en conducto = 15 m/s
- Pérdida en la entrada conducto simple = 0,93 PD_{conducto}
- Pérdida en la entrada con pantalla o cono = 0,25 PD_{conducto}

Nota. Tomado de *Manual Práctico de ventilación* (p.28) por (Soler&Palau Ventilation Group, 2012)

A continuación, se establece el valor de caudal con el cual va a trabajar la campana de aspiración y por ende el resto de componentes del sistema. Como primera referencia se consulta la norma AWS F3.2M, donde el flujo de aire para brazos de extracción flexible se observa en la Figura 28.

Figura 28

Caudal recomendado en brazos de extracción flexible

Sistema	Flujo de Aire Típico (m ³ /h)	Comentario
Pistola de soldadura con extractor integrado	50-100	Extrae el humo de la zona de soldadura con pistolas de FCAW y GMAW
Captador por tobera de alto vacío	150-300	Permite posicionamiento por parte del soldador.
Brazos de extracción flexible	900-1400	Mueven un volumen de aire mayor, permiten la ubicación y reubicación por parte del soldador.
Campana de extracción fija	2500-3000	Usada para la captura sobre cabeza en locaciones fijas.

Nota. Tomado de *Ventilation Guide for Weld Fume* (p.4), (AWS, 2017), como se citó en (Sierra, 2015) (p.13)

Antes de fijar un valor de caudal para todo el sistema, se revisa también la Tabla F1 de la norma AWS F3.2M (Figura 29), misma que proporciona mayor detalle en cuanto al diámetro del conducto, longitud y caudal a manejar. Se considera entonces un ducto circular flexible de 200 mm de diámetro como partida para el diseño y un valor promedio de 1200 m³/h como caudal del sistema de extracción, puesto que dichos valores se ajustan a la información descrita en la Figura 28.

Figura 29

Diámetros y caudales recomendados en ductos flexibles

Table F1 Pressure Loss Coefficients for Typical Flexible Welding Fume Extraction Arms			
(Experiments were conducted in 1994 at the Bioenvironmental Engineering Research Laboratory of the University of Illinois at Urbana, on request from AWS) ⁽¹⁾			
No.	Extraction Arm Type	Average Pressure Loss Coefficient $\xi^{(2)}$	Airflow Rate m ³ /h [cfm]
1	150 mm ID [6 in.] welding arm with a 3 m [10 ft] full-length flexible hose	25.5	425–680 [250–400]
2	160 mm ID [6.3 in.] welding arm with a full-length flexible hose	12.5–18	680–850 [400–500]
3	160 mm ID [6.3 in.] 3–4 m [10–14 ft] welding arm with a two sectional rigid ducts	4.7	680–1530 [400–900]
4	160 mm ID [6.3 in.] welding arm with one section 3–5 m [10–16 ft] rigid arm and one section 2 m (8 ft) flexible hose	12.3	680–1190 [400–700]
5	180 mm ID [7 in.] welding arm with a 3 m [10 ft] full length flexible hose	13.8	680–1190 [400–700]
6	200 mm ID [8 in.] welding arm with a 3 m [10 ft] full length flexible hose	9.0	850–1530 [500–900]
7	200 mm ID [8 in.] welding arm with 3 m [10 ft] two rigid duct sections	11.1	850–1530 [500–900]

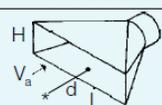
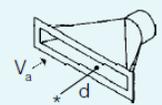
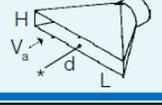
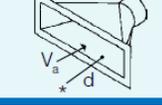
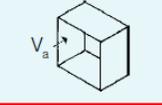
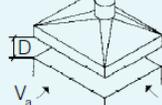
Nota. Tomado de *Ventilation Guide for Weld Fume* (AWS, 2017) como se citó en (Sierra, 2015) (p.17)

A continuación, se procede a definir la forma de la campana de aspiración, para ello en el manual desarrollado por (Salvador Escoda S.A., 2002) en colaboración con Soler&Palau se presenta una variedad de formas como se observan en la Figura 30. De las cuales se considera tres posibles variantes: una abertura a canto vivo, canto con

brida, campana. Sin embargo, ya que la campana no será ubicada completamente horizontal al punto de contaminación se descarta las opciones de abertura a canto vivo, canto con brida y se selecciona la abertura tipo campana; además, hay que tener en cuenta que trabajará en conjunto con la mesa posicionadora de la celda de soldadura y el brazo robótico para su diseño. Cabe resaltar que la forma y parámetros ya descritos anteriormente serán evaluados con ayuda de una simulación de flujo.

Figura 30

Formas de campanas de captación

CAPTACION DE AIRE CONTAMINADO			
TIPO DE BOCA	ABERTURA	DIMENS.	CAUDAL NECESARIO
 V_a = Velocidad aire captación	RANURA	$\frac{H}{L} \leq 0,2$	$Q = 13500 V_a Ld$
	RANURA CON BRIDA	$\frac{H}{L} \leq 0,2$	$Q = 10000 V_a Ld$
	A CANTO VIVO	$\frac{H}{L} \geq 0,2$	$Q = 3600 V_a (10 d^2 + S)$ $S = L \times H$
	CANTO CON BRIDA	$\frac{H}{L} \geq 0,2$	$Q = 2750 V_a (10 d^2 + S)$ $S = L \times H$
	CABINA	De acuerdo a la función	$Q = 3600 V_a S$
	CAMPANA	De acuerdo a la función	$Q = 5000 V_a PD$ $P = \text{Perímetro [m]}$

d, H, L [m]; V [m/s]; * = Punto contaminación; Q [m³/h]

FIG. 14

Nota. Tomado de *Manual Práctico de Ventilación* (p. 32) por (Salvador Escoda S.A., 2002)

Se utiliza la fórmula de la abertura tipo campana mostrada en la Figura 30:

$$Q = 5000 \times V_a \times P \times D \quad (1)$$

Dónde:

Q : Caudal [m^3/h]

V_a : Velocidad de arrastre [m/sg]

P : Perímetro [m]

D : Distancia al punto de contaminación [m]

Reemplazando los datos para un caudal de trabajo de $1200 \text{ m}^3/\text{h}$, una velocidad de arrastre de $0,75 \text{ m}/\text{sg}$; se obtiene:

$$1200 = 5000 \times 0,75 \times P \times D$$

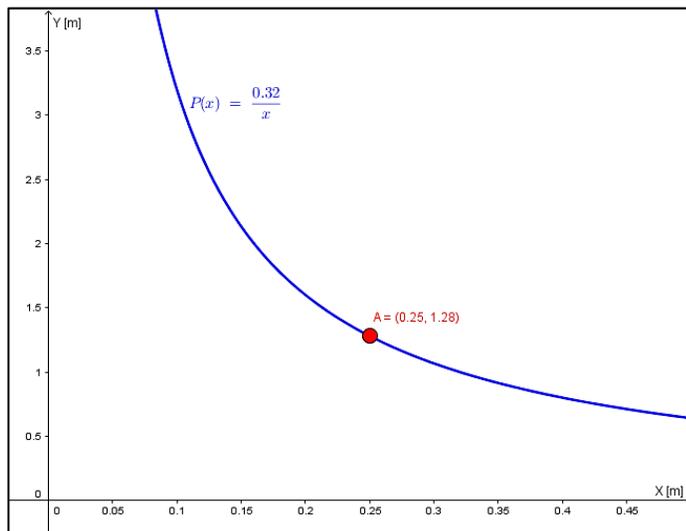
$$0,32 = P \times D$$

$$P = \frac{0,32}{D} \quad (2)$$

Graficando la Ecuación 2 (Figura 31), se observa la relación entre las variables perímetro y distancia del punto de contaminación. Se selecciona un punto que permita trabajar con magnitudes dentro de los rangos recomendados. Es así que el punto A presenta un valor de $1,28 \text{ m}$ para el perímetro de la campana a una distancia de $0,25 \text{ m}$ del punto de contaminación.

Figura 31

Perímetro de campana en función de la distancia de contaminación



Asumiendo una campana cuadrada se obtiene la dimensión de uno de sus lados utilizando la fórmula de perímetro:

$$P = l + l + l + l \quad (3)$$

Dónde:

P : Perímetro de un cuadrado

l : Dimensión de uno de los lados

Al encontrar el valor de un lado de la Ecuación 3 se obtiene:

$$l = \frac{1,28}{4}$$

$$l = 0,32 [m]$$

Con dicho valor se procede a realizar una corrección ya que la campana debe ser rectangular, para ello se considera 0,30 m de ancho y 0,33 m de largo. Se comprueba nuevamente su perímetro.

$$P = 2(\text{ancho}) + 2(\text{largo}) \quad (4)$$

$$P = 2(0,30) + 2(0,33)$$

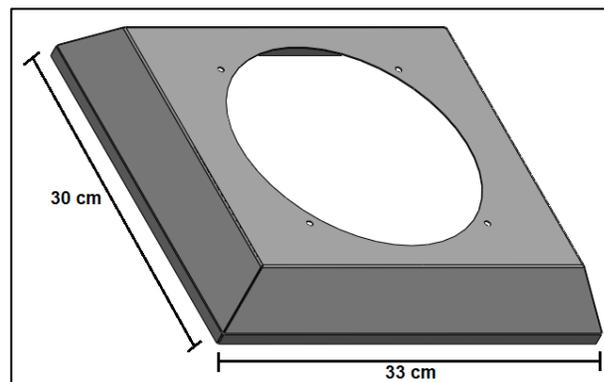
$$P = 1,26 \text{ [m]}$$

El valor de perímetro hallado tiene una diferencia de 0,02 m con respecto al inicial, por el momento se considera despreciable este pequeño margen de variación ya que una vez desarrollado el análisis de flujo se evidenciará el comportamiento de todos los parámetros de la campana de aspiración.

Con los valores y forma seleccionada, se modela en un software CAD la campana de aspiración (Figura 32); cabe mencionar que posteriormente deberá ser ensamblada con el ducto flexible.

Figura 32

Diseño de campana



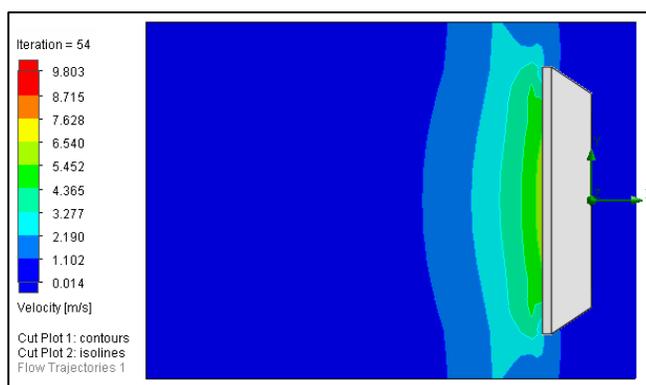
Nota. El material de la campana es una lámina de 0,9 mm en acero galvanizado, dimensiones y más detalles se muestran en el Anexo B1 (Plano 1-022).

Ahora se procede a desarrollar un análisis de flujo utilizando Solidworks Flow Simulation para determinar su comportamiento y evaluar los parámetros de velocidad. Se considera un caudal de 1200 m³/h a la entrada de la campana, mientras que a la

salida se le asigna una condición de presión ambiente (101325 Pa). En la Figura 33 puede observar la variación de velocidad que se genera en torno a la geometría de la boca de aspiración.

Figura 33

Variación de velocidad en la periferia de la campana

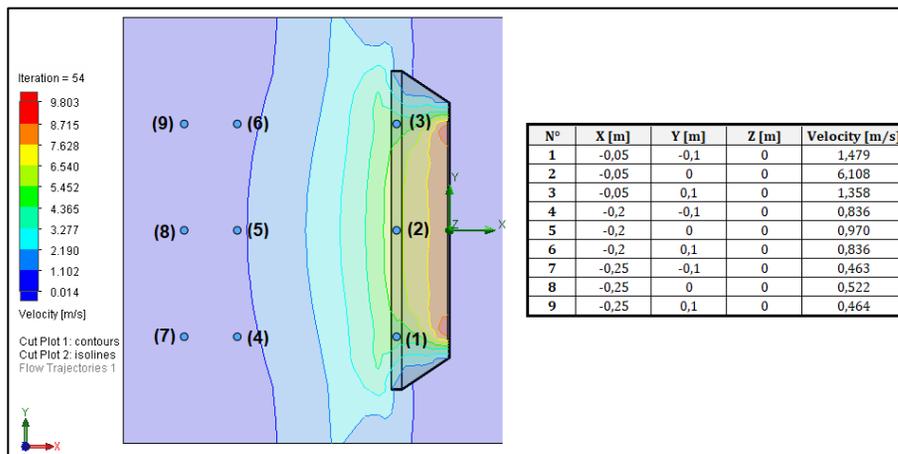


Nota. Puede observar que la velocidad disminuye su valor a medida que se aleja de la boca de aspiración.

Se toma algunos puntos de muestra para verificar la velocidad de arrastre y de entrada a la boca de la campana (Figura 34). El punto 2 presenta una velocidad de entrada de 6,108 m/s a la entrada de la campana, sin embargo, al avanzar en la dirección X positiva la velocidad se acerca al valor recomendado de 7,5 m/s. En cuanto a la velocidad de arrastre se encuentra en un intervalo de 0,970 a 0,522 m/s para un rango de distancia de 0,2 a 0,25 m respectivamente; valores recomendados dentro del Manual Práctico de ventilación por (Soler&Palau Ventilation Group, 2012), como se observó en la Figura 27. En base a este criterio se considera correcto el diseño y geometría de la campana de aspiración.

Figura 34

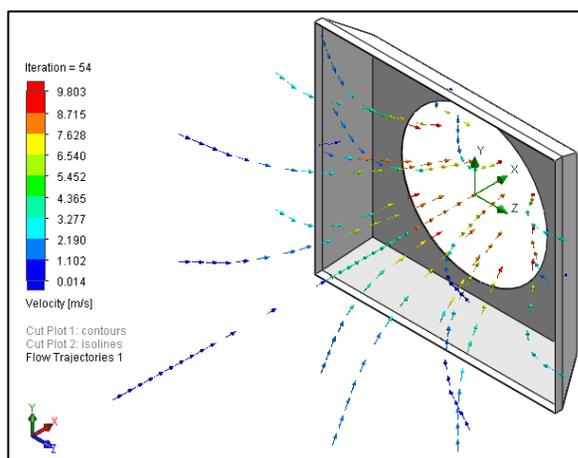
Velocidad de arrastre y velocidad de entrada en la campana



Finalmente, en la Figura 35 puede observar como las líneas de flujo son captadas por la campana y avanzan hacia el agujero donde se conectará el ducto flexible.

Figura 35

Líneas de flujo a la entrada de la campana



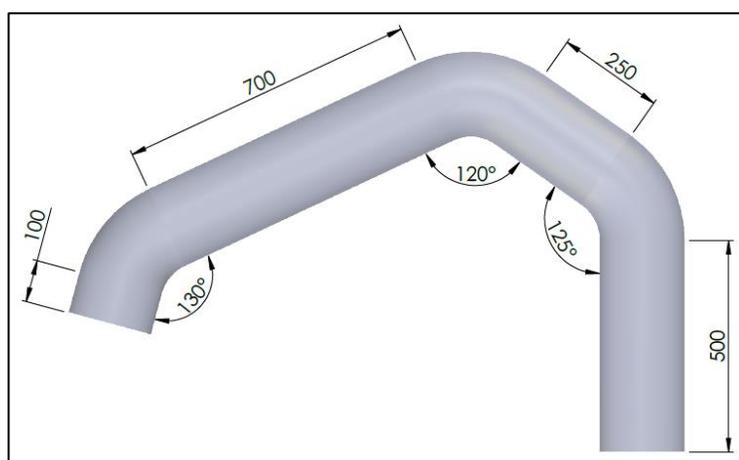
2.3.2 Diseño del ducto

El sistema de ductos consta de diferentes elementos, sea tramos rectos, codos, derivaciones, uniones, que permiten conectar la campana de extracción con el motor impulsor. Al momento de su diseño es necesario considerar variables como: diámetro de la tubería, velocidad de flujo en su interior, pérdidas de presión o también llamadas pérdidas de carga debido al rozamiento entre el flujo de aire con las paredes del material del ducto.

Como se observó en la Figura 29, para un caudal de $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ el diámetro recomendado es de 200 mm (8 pulgadas), adicional a ello se menciona que es un conducto flexible y con una longitud no mayor a 3 metros del brazo de extracción. Por tal razón, se consideró el uso de una tubería flexible de aluminio de dicho diámetro ya que es fácil de encontrar en el mercado nacional. En la Figura 36 puede observar dimensiones y ángulos a utilizar para simular el flujo en su interior.

Figura 36

Disposición de ángulos y medidas del ducto



Una vez desarrollada la simulación de flujo, en la Figura 37 puede observar los valores de velocidad que experimenta el flujo, de manera general este valor oscila alrededor de los 11 m/sg, un valor bajo con respecto a los 15 m/sg que es el recomendado. Debido a esta observación, se reduce el diámetro del ducto a un valor de 178 mm (7 pulgadas), se realiza otra simulación bajo las mismas condiciones y los resultados se muestra en la Figura 38.

Figura 37

Simulación de flujo para ducto de 8 pulgadas

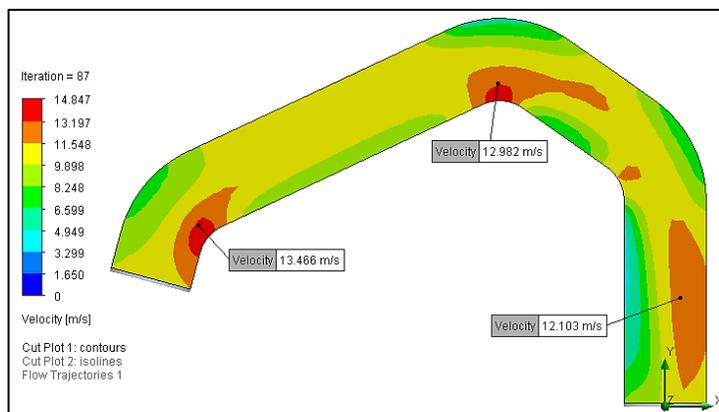
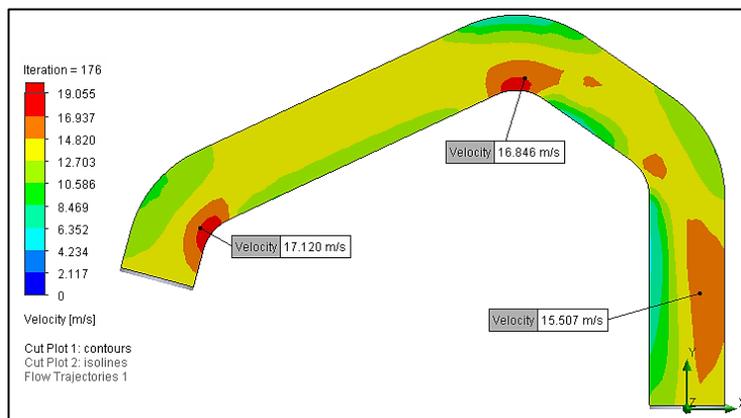


Figura 38

Simulación de flujo para ducto de 7 pulgadas



Contrastando los resultados de las simulaciones se observa que al disminuir el diámetro de la tubería a 7 pulgadas los valores de velocidad a nivel general incrementan su valor; no obstante, aparecen zonas críticas con una velocidad mayor a la recomendada en los codos del trayecto, mismas que pueden generar turbulencia e inestabilidad durante el funcionamiento, a más de ello este valor de diámetro es muy difícil de encontrar en la zona centro del país. Por dichos motivos se considera apropiado mantener la tubería flexible de 200 mm de diámetro (8 pulgadas), garantizando así que durante todo el trayecto no se supere el valor de velocidad recomendado.

Finalmente, mencionar que los elementos mecánicos que brindarán soporte a la tubería flexible se describirán en un apartado posterior al igual que las pérdidas de carga ocasionadas a lo largo del trayecto.

2.3.3 Filtros

Una vez establecido el diseño de la campana de aspiración y ductos, se debe seleccionar los medios de filtración para el aire contaminado absorbido por el sistema; para dicho efecto se toma como referencia la bibliografía técnica concerniente a los sistemas de filtración para la polución de aire industrial, dicha temática se puede encontrar en el capítulo 30 del manual ASHRAE HANDBOOK HVAC SYSTEMS AND EQUIPMENT.

El sistema recomendado de filtración según (ASHRAE, 2016) se especifica en la Tabla 4 del manual en donde consta los colectores de partículas más usados en la industria y se encuentra la aplicación específica de soldadura. Siendo de uso más

frecuente un filtro intercambiable acorde a la información de la Figura 39 y específicamente un filtro de cartucho como se puede observar en la Figura 40.

Figura 39

Filtros más usados en la industria

Operation	Concentration	Particle Size	Cyclone	High-Efficiency Centrifugal	Rotating Centrifugal Mist	Wet Collectors		Self-Cleaning Fabric Filter	Disposable Media Filter	Electrostatic Precipitators		Notes
						Medium-Pressure	High-Energy			High-Voltage	Low-Voltage	
Metal mining and rock products												
Material handling	Moderate	Fine to medium	Rare	Occasional	N/A	Usual	N/U	Considerable	N/A	N/U	N/A	30
Dryers, kilns	Moderate	Medium to coarse	Frequent	Occasional	N/A	Frequent	Occasional	N/U	N/A	Occasional	N/A	31
Cement rock dryer	Moderate	Fine to medium	N/A	Frequent	N/A	Occasional	Rare	N/U	N/A	Occasional	N/A	30
Cement kiln	Heavy	Fine to medium	N/A	Frequent	N/A	Rare	N/U	Usual	N/A	Usual	N/A	32
Cement grinding	Moderate	Fine	N/A	Rare	N/A	N/U	N/U	Usual	N/A	Rare	N/A	33
Cement clinker cooler	Moderate	Coarse	N/A	Occasional	N/A	N/U	N/U	Occasional	N/A	N/U	N/A	34
Metal working												
Production grinding, scratch brushing, abrasive cutoff	Light	Coarse	Occasional	Frequent	N/A	Considerable	N/U	Considerable	N/A	N/U	N/A	35
Portable and swing frame	Light	Medium	Rare	Frequent	N/A	Frequent	N/U	Considerable	N/A	N/U	N/A	—
Buffing	Light	Varied	Frequent	Rare	N/A	Frequent	N/U	Rare	N/A	N/U	N/A	36
Tool room	Light	Fine	Frequent	Frequent	N/A	Frequent	N/U	Frequent	N/A	N/U	N/A	37
Cast-iron machining	Moderate	Varied	Rare	Frequent	N/A	Considerable	N/U	Considerable	N/A	N/U	N/A	38
Steel, brass, aluminum machining	Light to moderate	1 µm smoke, mod. mist to solids	N/A	N/A	Frequent	Occasional	N/U	Occasional	Frequent	N/U	Frequent	39
Welding	Light to moderate	1 µm fine to med.	N/A	N/A	N/A	Occasional	N/U	Frequent	Frequent	Rare	Occasional	40
Plasma and laser cutting	Moderate		N/A	N/A	N/A	Occasional	N/U	Frequent	Rare	N/A	N/U	41
Laser welding	Moderate		N/A	N/A	N/A	Occasional	N/U	Frequent	Rare	N/A	N/U	41
Abrasive machining	Moderate to heavy	Fine to 1 µm	N/A	N/U	Occasional	Occasional	N/U	Rare	Frequent	N/A	Rare	39
Milling, turning, cutting tools	Light to moderate	Fine to 1 µm	N/A	N/U	Frequent	Occasional	N/U	N/A	Frequent	N/A	Frequent	—
Annealing, heat treating, induction heating, quenching	Moderate to heavy	1 µm	N/A	N/U	N/A	Rare	Rare	N/A	Rare	N/A	Frequent	—
Pharmaceutical and food products												
Mixers, grinders, weighing, blending, bagging, packaging	Light	Medium	Rare	Frequent	N/A	Frequent	N/U	Frequent	Occasional	N/U	N/U	42
Coating pans	Varied	Fine to medium	Rare	Rare	N/A	Frequent	N/U	Frequent	Rare	N/U	N/U	43

Nota. Se ubica la fila correspondiente a la aplicación de soldadura (welding).

Recuperado de *ASHRAE HANDBOOK HVAC SYSTEMS AND EQUIPMENT* (ASHRAE, 2016)

Figura 40

Desempeño de los sistemas de filtración de aire

Table 3 Measures of Performance for Gas-Cleaning Equipment

Type of Particle Collector	Particle Diameter, ^a μm	Max. Loading, g/m^3	Collection Efficiency, % by mass	Pressure Loss		Utilities per m^3/s (gas)	Comparative Energy Requirement	Superficial Velocity, ^b m/s	Capacity Limits, m^3/s	Space Required (Relative)
				Gas, Pa	Liquid, kPa					
Dry inertial collectors										
Settling chamber	>40	>10	50	25 to 125	—	—	1	1.5 to 3.0	None	Large
Baffle chamber	>20	>10	50	125 to 625	—	—	1.5	5.0 to 10	None	Medium
Skimming chamber	>20	>2	70	<250	—	—	3.0	10 to 20	25	Small
Louver	>10	>2	80	75 to 500	—	—	1.5 to 6.0	10 to 20	15	Medium
Cyclone	>15	>2	85	125 to 750	—	—	1.5 to 9.0	10 to 20	25	Medium
Multicyclone	>5	>2	95	500 to 2500	—	—	6.0 to 20	10 to 20	95	Small
Impingement	>10	>2	90	250 to 500	—	—	3.0 to 6.0	10 to 20	None	Small
Dynamic	>10	>2	90	Provides pressure	—	0.75 to 1.5 kW	10 to 20	—	25	—
Electrostatic precipitators										
High-voltage	>0.01	>0.2	99	50 to 250	—	0.1 to 0.6 kW	0.8 to 2.0	0.3 to 2.0	5 to 940	Large
Low-voltage	>0.001	1	90 to 99	50 to 125	—	0.03 to 0.06 kW	0.5 to 1.0	1.0 to 3.5	0.5 to 50	Medium
Fabric filters										
Baobhouses	>0.08	>1	99	500 to 1500	—	—	6.0 to 20	0.005 to 0.10	95	Large
Cartridge filters	>0.05	>0.2	99+	500 to 2000	—	—	—	0.0025 to 0.025	20 to 25	Medium
Wet scrubbers										
Gravity spray	>10	>2	70	25 to 250	140 to 690	70 to 270 L/s	5.0	0.5 to 1	50	Medium
Centrifugal	>5	>2	90	500 to 2000	140 to 690	0.14 to 1.4 L/s	12 to 26	10 to 20	50	Medium
Impingement	>5	>2	95	500 to 2000	140 to 690	0.14 to 0.7 L/s	9.0 to 31	15 to 30	50	Medium
Packed bed	>5	>0.2	90	125 to 2500	35 to 210	0.7 to 70 L/s	4.0 to 34	0.5 to 1.5	25	Medium
Dynamic	>2	>2	95	Provides pressure	35 to 210	0.14 to 0.7 L/s, 2.25 to 15 kW	30 to 200	15 to 20	25	Small
Submerged orifice	>2	>0.2	90	500 to 1500	None	No pumping	9.0 to 21	15	25	Medium
Jet	>2	>0.2	90	Provides pressure	345 to 610	7 to 14 L/s	15 to 30	10 to 100	50	Small
Venturi	>0.1	>0.2	95 to 99	2500 to 15 000	70 to 210	0.4 to 1.4 L/s	30 to 300	60 to 210	50	Small

Nota. Recuperado de *ASHRAE HANDBOOK HVAC SYSTEMS AND EQUIPMENT*

(ASHRAE, 2016)

Cabe mencionar que este tipo de filtros son de bajo costo, fáciles de encontrar y de proporcionar mantenimiento ya que solo requieren un reemplazo. No obstante, es posible alargar la vida útil de este elemento colocando un pre filtro capaz de captar partículas que puedan dañar al filtro de cartucho. Por tanto, el sistema contará con dos medios de filtración, un pre filtro grueso y el filtro fino.

El pre filtro seleccionado es un filtro lavable compuesto de capas de aluminio que permite la captación de partículas grandes y así evitar taponamientos (Figura 41). Las dimensiones del filtro son 20 pulgadas x 20 pulgadas y un espesor de 2 pulgadas, valores estándar y de fácil adquisición en el mercado nacional.

Figura 41*Pre filtro de aluminio*


MODELO 2FML						
Medida Solicitada(")	1"		2"			
	Medida Real (")	300 FPM	Medida Real (")	300 FPM	500 FPM	RF RECOMENDADA
	L X A X E	CFM	L X A X E	CFM	CFM	
10 X 10	9 3/4 X 9 3/4 X 3/4	208	9 3/4 X 9 3/4 X 3/4	208	347	0.5" C.A.
10 X 20	9 3/4 X 19 3/4 X 3/4	417	9 3/4 X 19 3/4 X 3/4	417	694	0.5" C.A.
12 X 20	11 3/4 X 19 3/4 X 3/4	500	11 3/4 X 19 3/4 X 3/4	500	833	0.5" C.A.
12 X 24	11 3/4 X 23 3/4 X 3/4	600	11 3/4 X 23 3/4 X 3/4	600	1000	0.5" C.A.
14 X 20	13 3/4 X 19 3/4 X 3/4	583	13 3/4 X 19 3/4 X 3/4	583	972	0.5" C.A.
14 X 25	13 3/4 X 24 3/4 X 3/4	729	13 3/4 X 24 3/4 X 3/4	729	1215	0.5" C.A.
14 X 30	13 3/4 X 29 3/4 X 3/4	875	13 3/4 X 29 3/4 X 3/4	875	1458	0.5" C.A.
16 X 20	15 3/4 X 19 3/4 X 3/4	667	15 3/4 X 19 3/4 X 3/4	667	1111	0.5" C.A.
16 X 24	15 3/4 X 23 3/4 X 3/4	800	15 3/4 X 23 3/4 X 3/4	800	1333	0.5" C.A.
16 X 25	15 3/4 X 24 3/4 X 3/4	833	15 3/4 X 24 3/4 X 3/4	833	1389	0.5" C.A.
18 X 24	17 3/4 X 23 3/4 X 3/4	900	17 3/4 X 23 3/4 X 3/4	900	1500	0.5" C.A.
20 X 20	19 3/4 X 19 3/4 X 3/4	833	19 3/4 X 19 3/4 X 3/4	833	1389	0.5" C.A.

Nota. Para más detalles y especificaciones técnicas de este producto puede revisar la sección de Hojas de Especificaciones Técnicas (Anexo B3.1).

Para el filtrado principal se necesita de un filtro fino que pueda ser capaz de capturar partículas muy pequeñas, en este caso y según (REFRIPLAST, 2020) se recomienda un filtro desde MERV 8 hasta MERV 13 (nomenclatura ASHRAE) para humos de soldadura. Estos filtros tienen una eficiencia que van desde el 60% hasta el 90% de eficiencia, como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7*Eficiencia y normas equivalentes de filtros*

Eficiencia	Equivalencia entre normas		
	EN779	EUROVENT 4/5	ASHRAE 52.2
65%	G1	EU1	MERV 1
			MERV 2
			MERV 3

Eficiencia	Equivalencia entre normas		
	G2	EU2	MERV 4
75%	G3	EU3	MERV 5
			MERV 6
80% a 90%	G4	EU4	MERV 7
			MERV 8
40% a 60%	F5	EU5	MERV 9
			MERV 10
60% a 80%	F6	EU6	MERV 11
			MERV 12
80% a 90%	F7	EU7	MERV 13
90% a 95%	F8	EU8	MERV 14

Nota. Recuperado de *Equivalencia entre normas de (Infiltró, s.f.)*

Como dato adicional, mientras mayor sea el número MERV del filtro utilizado, mayor será su eficiencia de filtración, no obstante, demandará un mayor consumo de potencia por parte del impulsor debido a la pérdida de carga generada. Por esta razón se considera apropiado trabajar con filtros MERV 11 hasta MERV 13, a fin de mantener un equilibrio entre todos los parámetros del sistema. Para el diseño se elige utilizar un filtro MERV 13 (Figura 42), de 20 pulgadas x 20 pulgadas, espesor 2 pulgadas.

Figura 42

Filtro MERV 13

Performance Data						
Filter	Pleats Per Linear Foot	Rated Initial Resistance (in. w.g.)		Recommended Final Resistance (in. w.g.)	ASHRAE 52.2 MERV	Continuous Operating Temperature Limits
		300 FPM	500 FPM			
1" PREpleat M13	15	0.25	–	1.0	13	180°F (82°C)
2" PREpleat M13	15	0.16	0.30	1.0	13	180°F (82°C)
4" PREpleat M13	9	0.10	0.20	1.0	13	180°F (82°C)

Product Information – Standard Sizes						
Nominal Sizes (Inches) (W x H x D)	Actual Sizes (Inches) (W x H x D)	Rated Airflow (SCFM)			Pleats Per Filter	Gross Media Area (sq. ft.)
		300 FPM	500 FPM	625 FPM		
10 x 20 x 2	9½ x 19½ x 1¾	400	700	850	12	6.1
12 x 20 x 2	11½ x 19½ x 1¾	500	850	1050	14	7.3
12 x 24 x 2	11¾ x 23¾ x 1¾	600	1000	1250	14	8.8
14 x 20 x 2	13½ x 19½ x 1¾	600	950	1150	17	8.5
14 x 25 x 2	13½ x 24½ x 1¾	750	1200	1500	17	10.6
15 x 20 x 2	14½ x 19½ x 1¾	650	1050	1300	18	9.1
16 x 20 x 2	15½ x 19½ x 1¾	650	1100	1400	19	9.7
16 x 24 x 2	15½ x 23½ x 1¾	800	1350	1650	19	11.2
16 x 25 x 2	15½ x 24½ x 1¾	850	1400	1750	19	12.2
18 x 20 x 2	17½ x 19½ x 1¾	750	1250	1500	22	10.9
18 x 24 x 2	17½ x 23½ x 1¾	900	1500	1875	22	13.1
18 x 25 x 2	17½ x 24½ x 1¾	950	1550	1950	22	13.7
20 x 20 x 2	19½ x 19½ x 1¾	850	1400	1750	24	12.2
20 x 24 x 2	19½ x 23½ x 1¾	1000	1650	2100	24	14.6
20 x 25 x 2	19½ x 24½ x 1¾	1050	1750	2150	24	15.2
24 x 24 x 2	23¾ x 23¾ x 1¾	1200	2000	2500	29	17.5
25 x 25 x 2	24½ x 24½ x 1¾	1300	2150	2700	31	19.0

Nota. Para más detalles y especificaciones técnicas de este producto puede revisar la sección de Hojas de Especificaciones Técnicas (Anexo B3.2).

Una vez seleccionados ambos elementos es necesario identificar su tiempo de vida útil, para ello los fabricantes suelen especificar la pérdida máxima de presión en sus hojas técnicas, es decir, si existe una caída de presión mayor a la recomendada por el fabricante el filtro debe pasar por un proceso de limpieza de ser el caso; por el contrario, el filtro deberá ser reemplazado. En el caso del pre filtro de aluminio la caída de presión máxima debe ser 0,5 pulgadas de columna de agua (Figura 41), valor equivalente a 12,7 mm c.d.a. Mientras que para el Filtro MERV es de 1 pulgada de columna de agua o 25,4 mm c.d.a. (Figura 42).

No obstante, ciertos autores y fabricantes de equipos de extracción de humo consideran criterios como el entorno de trabajo, grado de contaminación, proceso de

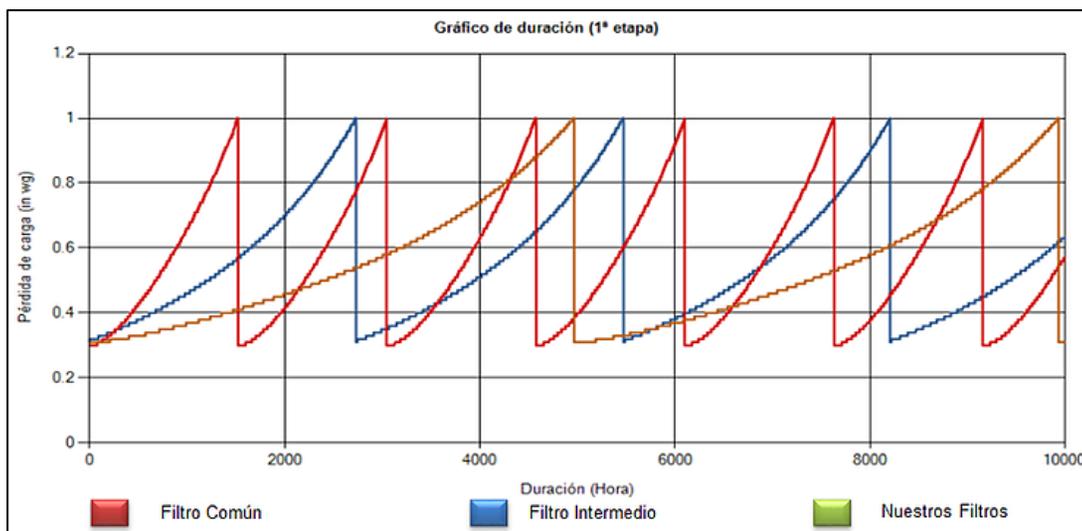
soldadura, materiales empleados, horas de trabajo y más aspectos para determinar la vida útil de un filtro o sistema de filtros. Gonzalo Quijano, colaborador de la Empresa Soldadura y Equipos Automáticos de la Ciudad de México, en una exposición de equipos de extracción KEMPER expresa “el pre filtro se cambia alrededor de 8 meses... y en el caso del filtro de cartucho dura alrededor de 12 a 13 meses” (SOLDADURA EQUIPOS, 2018, 1m22s).

Por otra parte, en una publicación desarrollada por parte de la Revista Cero Grados se da a conocer que:

El profesional establezca un calendario de reemplazo de filtros que considere los desechables que se cambian cada uno o tres meses, aproximadamente; los filtros Bolsa o Minipleat, cada seis u ocho meses; y los Filtros Aircell, V-Bank y HEPA cada año y medio, aunque dependerá del equipo, así como del área de trabajo y el tiempo promedio de uso. (Cero grados, 2014)

En la Figura 43 se muestra un gráfico de las horas de vida de los filtros desarrollados por la empresa (VEFLOX):

Se puede observar el desempeño de tres filtros plisados (el primero es un filtro de bajo costo inicial, el segundo es un filtro premium de la competencia y el tercero es uno de nuestros filtros) en base al tiempo de vida, su rango de diferencia de presión y su capacidad de retener partículas bajo ciertos parámetros, las cuales son las principales características del desempeño de un filtro.

Figura 43*Horas de uso filtros*

Nota. Recuperado de (VEFLOX),

https://static.wixstatic.com/media/67fad3_25eabe4ac5c644de882e27cddd943ac5.png/v1/fill/w_743,h_360,al_c,q_85,usm_0.66_1.00_0.01/67fad3_25eabe4ac5c644de882e27cddd943ac5.webp

Según la gráfica, un filtro común tiene una vida útil de aproximadamente 1400 horas, un filtro intermedio un valor cercano a 2700 horas y un filtro de la empresa VEFLOX alcanza unas 4800 horas de funcionamiento, superada esa cantidad la caída de presión es mayor a la recomendada (1 pulgada de columna de agua). Bajo una consideración de 8 horas diarias de funcionamiento, se transforma estos valores de vida útil a fin de contrastarlos con los criterios ya mencionados, obteniendo: 9 meses, 16 meses, 30 meses respectivamente.

Entonces, adicional al dato de caída de presión proporcionado en las hojas técnicas y tomando como referencia los criterios expuestos, se considera apropiado un

tiempo de revisión del sistema de filtración cada 3 meses (480 horas), como una actividad de mantenimiento preventivo. Y posterior a los 12 meses (1900 horas) de trabajo realizar un mantenimiento correctivo reemplazando los filtros para garantizar un óptimo funcionamiento y filtración del equipo.

2.3.4 Pérdidas de carga del sistema

Las pérdidas de carga o también conocidas como pérdidas de presión se deben principalmente al rozamiento generado entre el flujo y las paredes del conducto. Además de los accidentes que están presentes a lo largo del tramo de conducción del fluido, sean estos codos, derivaciones, uniones, objetos sólidos, entre otros. Así que para determinar la pérdida total de carga del sistema se procede a calcular de manera individual para cada elemento.

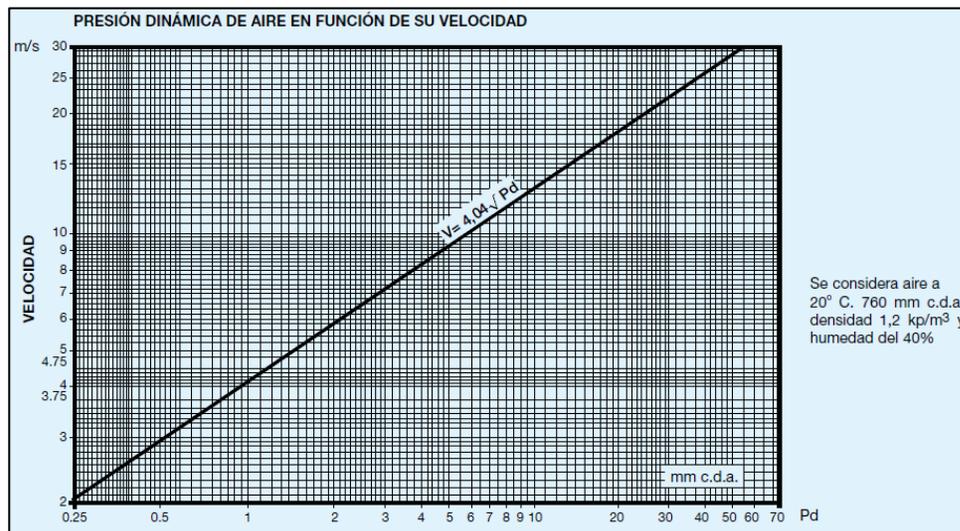
Para iniciar con el cálculo es necesario definir el término presión dinámica, pues la pérdida de carga está en función de la misma. El manual desarrollado por (Soler&Palau Ventilation Group, 2012) la define como “la presión que acelera el aire desde cero a la velocidad de régimen. Se manifiesta sólo en la dirección del aire y viene relacionada con la dirección del mismo”. Con ayuda de la información proporcionada en la Figura 44 se obtiene una ecuación que permite calcular su valor.

$$v = 4,04\sqrt{Pd}$$
$$Pd = \left(\frac{v}{4,04}\right)^2 \quad (5)$$

El valor de presión obtenido se expresa en milímetros de columna de agua (mm c.d.a.); para transformar esta cantidad a un valor expresado en Pascales basta con saber que: 1 mm c.d.a es igual a 9,806 Pa.

Figura 44

Presión dinámica en función de la velocidad de aire



Nota. Tomado de *Manual Práctico de Ventilación* (p. 7) por (Soler&Palau Ventilation Group, 2012)

Pérdida en la campana. Para la pérdida de carga en la campana se utiliza el método de coeficiente η descrito por (Soler&Palau Ventilation Group, 2012), el cual trabaja con la velocidad de conducto para hallar la presión dinámica. La Ecuación 6 describe este método:

$$\Delta P = n \times Pd \quad [mm \text{ c. d. a.}] \quad (6)$$

Acorde a la recomendación de la Figura 27, η es igual a 0,25. Mientras que la velocidad es 15 m/sg, que corresponde al valor recomendado en conductos.

Reemplazando el valor de presión dinámica de la Ecuación 5 en la Ecuación 6 de pérdida de carga se obtiene:

$$\Delta P_{campana} = 0,25 \times \left(\frac{v}{4,04} \right)^2$$

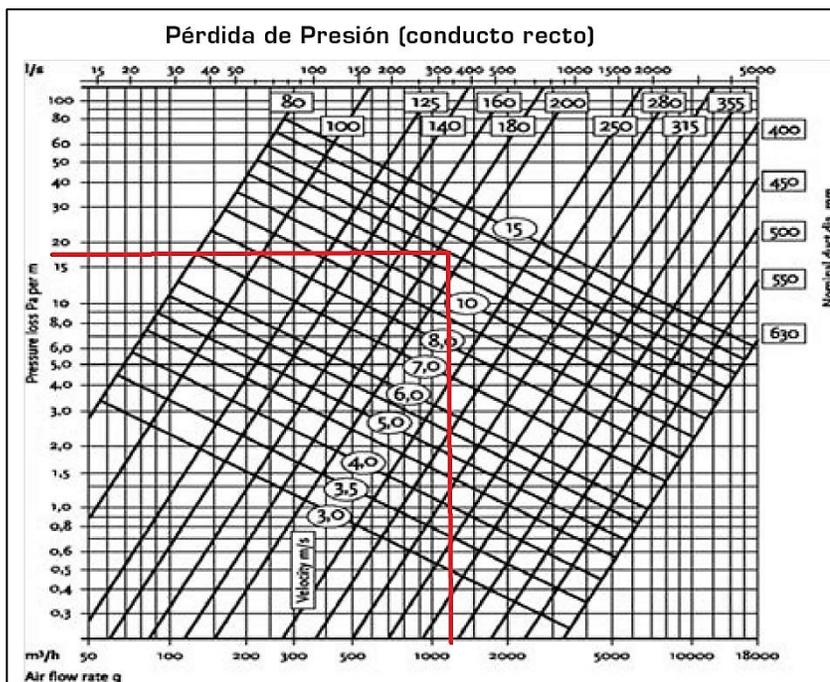
$$\Delta P_{campana} = 0,25 \times \left(\frac{15}{4,04} \right)^2$$

$$\Delta P_{campana} = 3,446 \text{ mm c. d. a.}$$

Pérdida en los tramos rectos del ducto. El ducto está constituido por una manga flexible de aluminio, por ende, al revisar su hoja técnica de especificaciones proporcionada por el fabricante se obtiene el valor de pérdida de carga por cada metro (Figura 45), a este valor se lo denotará como V_p .

Figura 45

Pérdida de carga en manga flexible



Nota. Tomado de la Ficha Técnica de ALUDEC CLASSICS que se encuentra en la sección de anexos, Anexo B3.3.

Considerando un ducto de 200 mm de diámetro y un caudal de 1200 m³/h, el valor V_p a utilizar para la manga flexible es de aproximadamente 17 Pascales, valor equivalente a 1,734 mm c.d.a. En cuanto a la longitud total de tramo recto es de 1,55 metros, tal y como puede observar en la Figura 36. Utilizando la Ecuación 7 se calcula la pérdida de carga.

$$\Delta P_{\text{ducto}} = V_p \times L \quad (7)$$

$$\Delta P_{\text{ducto}} = \left(1,734 \frac{\text{mm c. d. a.}}{\text{m}} \right) \times (1,55 \text{ m})$$

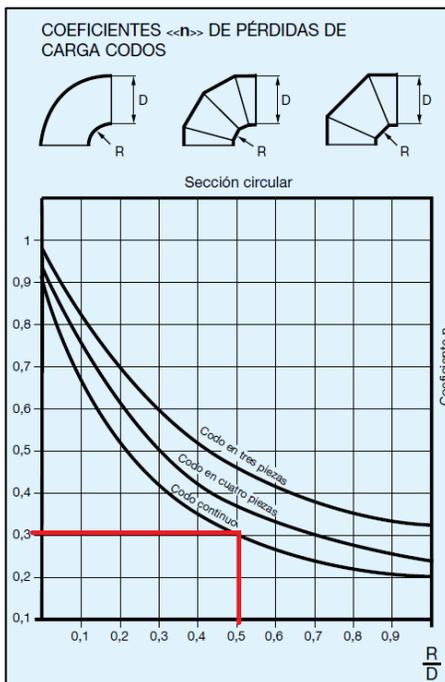
$$\Delta P_{\text{ducto}} = 2,687 \text{ mm c. d. a.}$$

Pérdida en los codos. El sistema constará de tres codos como se observa en la Figura 36, la condición más crítica es que dos de ellos se encuentren a 90° pues estarán sujetos a elementos móviles; como es material flexible se asume que es un codo continuo y se procede a aplicar nuevamente el método de coeficiente η para calcular la pérdida de carga.

En este caso, el valor de η se obtiene de la Figura 46, para ello se consideró un valor de 0,5 para la relación existente entre el radio de giro y diámetro del ducto.

Figura 46

Coefficiente de pérdida de presión en codos



Nota. Valor obtenido de aproximadamente 0,3. Recuperado de *Manual Práctico de ventilación* (p. 36) por (Soler&Palau Ventilation Group, 2012).

Aplicando el método de coeficiente η (Ecuación 6) se obtiene la pérdida de presión en el codo:

$$\Delta P_c = 0,3 \times \left(\frac{v}{4,04}\right)^2$$

$$\Delta P_c = 0,3 \times \left(\frac{15}{4,04}\right)^2$$

$$\Delta P_c = 4,135 \text{ mm c. d. a.}$$

Al considerar 2 codos bajo el mismo criterio:

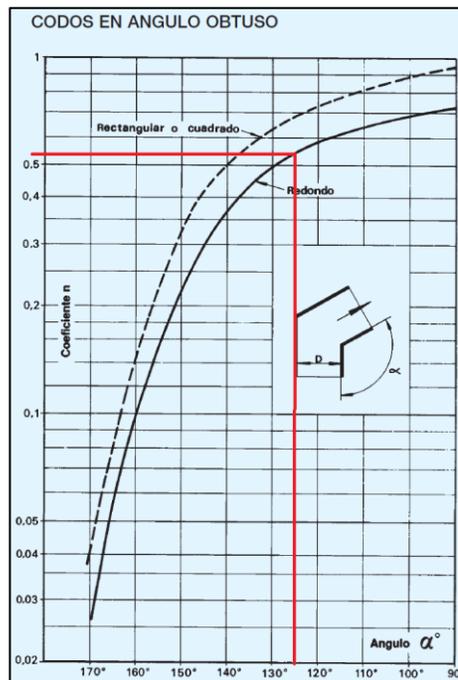
$$\Delta P_{c2} = 2 \times (4,135 \text{ mm c. d. a.})$$

$$\Delta P_{c2} = 8,271 \text{ mm c. d. a.}$$

El codo restante se encuentra a un ángulo fijo de 125°, utilizando una vez más el método de coeficiente η se calcula la pérdida de carga. En la Figura 47 se obtiene el valor de η .

Figura 47

Coeficiente de pérdida de presión en codo a 125°



Nota. Valor obtenido de aproximadamente 0,52. Recuperado de *Manual Práctico de ventilación* (p.62) por (Salvador Escoda S.A., 2002)

Aplicando el método de coeficiente η (Ecuación 6) se obtiene la pérdida de presión del codo:

$$\Delta P_c = 0,52 \times \left(\frac{v}{4,04} \right)^2$$

$$\Delta P_c = 0,52 \times \left(\frac{15}{4,04} \right)^2$$

$$\Delta P_c = 7,168 \text{ mm c. d. a.}$$

Finalmente, la pérdida de carga en los tres codos es igual a:

$$\Delta P_{\text{codos}} = (8,271 + 7,168) \text{ mm c. d. a.}$$

$$\Delta P_{\text{codos}} = 15,44 \text{ mm c. d. a.}$$

Pérdida en sistema de filtración. Como ya se especificó en apartados anteriores el sistema consta de un pre filtro de aluminio para la captación de partículas y un filtro de cartón de alta eficiencia, al consultar su hoja técnica se obtiene los valores de pérdida de carga.

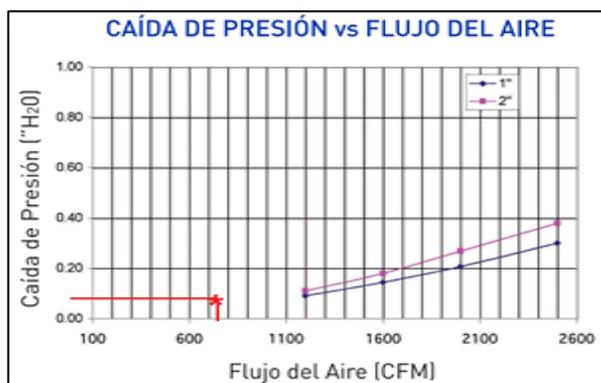
En la Figura 48 puede observar el valor para el pre filtro de aproximadamente 0,08 pulgadas de columna de agua, mismo que se obtiene para un caudal de 1200 m³/h (equivalente a 706,3 cfm) y un espesor del filtro de 2 pulgadas. Cabe mencionar que 1 pulgada de columna de agua equivale a 25,4 mm c.d.a. Así que al transformar dicho valor se obtiene:

$$\Delta P_{\text{pre filtro}} = 0,08 \times 25,4 \text{ mm c. d. a.}$$

$$\Delta P_{\text{pre filtro}} = 2,032 \text{ mm c. d. a.}$$

Figura 48

Pérdida de carga pre filtro



Nota. Tomado de la Ficha Técnica del Pre Filtro Lavable (Anexo B3.1).

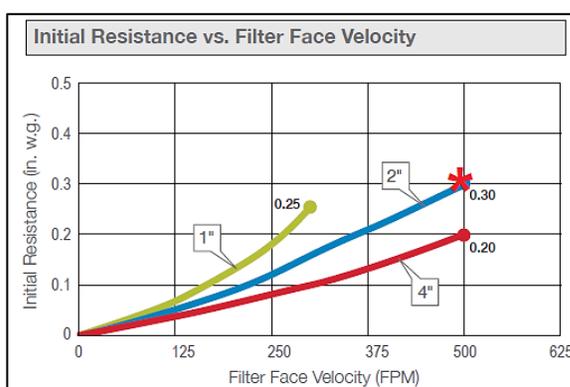
En la Figura 49 se muestra el valor de pérdida de carga para el filtro MERV 13, se considera el valor más alto de resistencia frente a una velocidad de flujo de 500 fpm, el cual es de 0,3 pulgadas de columna de agua, al transformarlo se tiene:

$$\Delta P_{\text{filtro MERV}} = (0,3) \times 25,4 \text{ mm c. d. a.}$$

$$\Delta P_{\text{filtro MERV}} = 7,62 \text{ mm c. d. a.}$$

Figura 49

Pérdida de carga filtro MERV



Nota. Tomado de la Hoja de Especificaciones Técnicas del Filtro MERV (Anexo B3.2).

Pérdida total de carga. Corresponde a la sumatoria de todas las pérdidas de carga de los diferentes componentes del sistema.

$$\Delta P_{TOTAL} = \sum \Delta P \quad (8)$$

$$\Delta P_{TOTAL} = 31,225 \text{ mm c. d. a.}$$

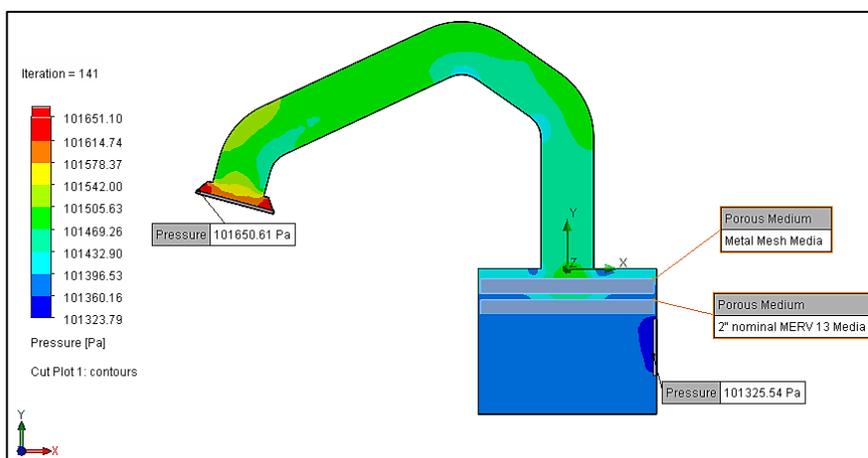
Este valor se comprueba con una simulación de flujo en Solidworks Flow Simulation, se considera todos los componentes del sistema: campana, ducto, filtros dentro de una caja manejadora y un valor de caudal de 1200 m³/h. Los resultados se presentan en la Figura 50, donde se puede apreciar una diferencia de presión entre la

boca de aspiración y salida del aire de 327,31 Pascales. Al transformar este valor a milímetros de columna de agua se tiene 33,395 mm c.d.a.

Con este análisis de flujo se da por terminado el cálculo de las pérdidas de carga del sistema, puesto que los resultados de ambos procedimientos convergen a un valor cercano a los 32 mm c.d.a. En el siguiente ítem se graficará la curva del sistema y seleccionará el impulsor que satisfaga estos requerimientos de presión y caudal.

Figura 50

Pérdida de carga total del sistema



Nota. El análisis muestra cómo va disminuyendo la presión a medida que avanza el flujo por todo el trayecto hasta llegar a la rejilla de expulsión.

2.3.5 Curva característica del sistema

La curva que rige el sistema es una gráfica que relaciona las pérdidas de presión en función del caudal de trabajo, (Salvador Escoda S.A., 2002) en su manual detalla la siguiente ecuación:

$$Pt_2 = Pt_1 \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^2 \quad (9)$$

Donde:

P_{t1} : Pérdida total de presión calculada para un caudal Q_1

Q_1 : Caudal

P_{t2} : Pérdida total de presión en función de un caudal Q_2

Q_2 : Caudal

Al reemplazar los valores calculados se obtiene la expresión:

$$P_{t2} = 31,225 \left(\frac{Q_2}{1200} \right)^2$$

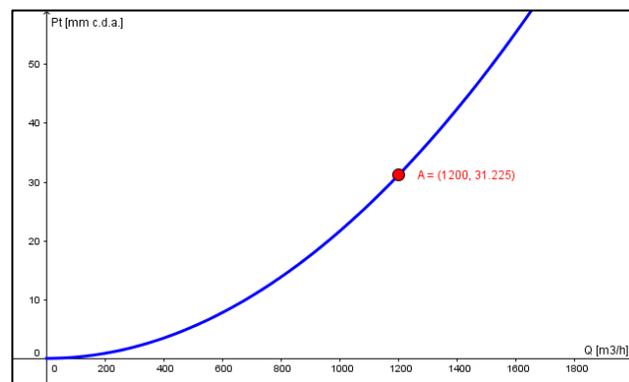
$$P_{t2} = \frac{31,225}{1200^2} (Q_2)^2$$

$$P_{t2} = (21,684 \times 10^{-6}) (Q_2)^2 \quad (10)$$

La gráfica de la Ecuación 10 se presenta en la Figura 51, además, se indica el punto con el valor de caudal y pérdida de carga que se está trabajando.

Figura 51

Curva característica del sistema



2.3.6 Selección del ventilador

Para seleccionar el ventilador se requiere conocer el caudal y el valor total de pérdida de carga (punto de trabajo), con esta información se recurre a las hojas técnicas que proporcionan la curva del ventilador. Entonces, el punto de trabajo debe coincidir con dicha curva para que la elección sea la más adecuada.

Acorde al mercado de la zona centro del país se realiza una búsqueda de empresas que proporcionen estos equipos conforme a disponibilidad y especificaciones de diseño, la empresa CLIMAPOWER (Quito – Ecuador) dispone del material ya que se dedica a esta área de ventilación industrial. Se seleccionó un ventilador centrífugo marca TECNIFAN, modelo TDA 7/7 L, cuyas principales características se presenta en la Figura 52.

Figura 52

Características del ventilador

	<u>Punto de trabajo requerido</u>	
	Caudal (V)	750 cfm
	Presión estática (P_{st})	1 In H2O
	Temperatura (t)	20 °C
	Altitud (h)	2750 m
	Densidad (ρ)	0,86 Kg/m ³
<u>Punto de funcionamiento</u>		
Modelo seleccionado	TDA 7/7 L	
Caudal (V)	750 cfm	
Presión estática (P_{st})	1 In H2O	
Presión dinámica (P_d)	0,09 In H2O	
Presión total (P_t)	1,09 In H2O	
RPM (n)	1623 min ⁻¹	
Velocidad tangencial (u)	16,8 m/s	
Velocidad de descarga (c)	7,3 m/s	
Rendimiento (η)	47 %	
Potencia absorbida (P_{abs})	0,21 kW	
Potencia motor mínima (P_{motmin})	0,25 kW	
Potencia específica (SFP)	1140 W/(m ³ /s)	
Motor recomendado	kW	CV
Potencia Motor (P_{mot})	0,25	1/3

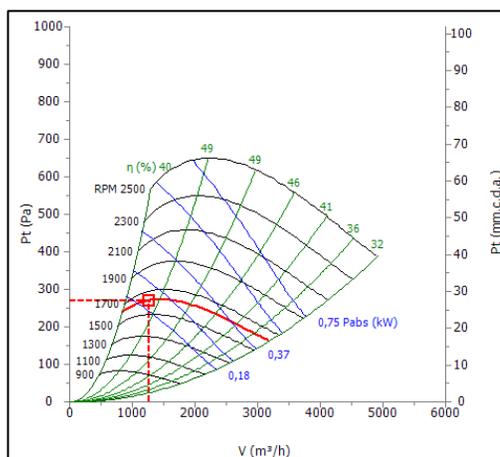
Nota. Recuperado de *Informe Técnico Optifan*, (Tecnifan, 2020).

El ventilador trabaja con un caudal de 750 cfm (pie cúbico por minuto) valor equivalente a 1274,258 m³/h y una presión de 1,09 pulgadas de columna de agua equivalente a 27,686 mm c.d.a. A pesar de tener una variación de 3,54 mm c.d.a. en cuanto a la pérdida de carga y 74 m³/h en cuanto al caudal es el que mejor se ajusta a los requerimientos del sistema, por tanto, se utilizará este equipo para construir el sistema de extracción.

En la Figura 53 puede observar el punto óptimo de funcionamiento proporcionado por el fabricante, mismo que mejor se ajusta a los requerimientos ya especificados.

Figura 53

Punto de funcionamiento del ventilador TDA 7/7 L



Nota. Para más detalles puede revisar la hoja técnica del ventilador que se encuentra en el Anexo B3.4. Recuperado de *Informe Técnico Optifan*, (Tecnifan, 2020).

Posterior a ello se selecciona un motor eléctrico que permita el giro del eje del ventilador mediante un sistema de transmisión con poleas, en este caso el proveedor dispone de un motor eléctrico trifásico WEG W22 Modelo TE1BFOXO# (Figura 54),

Carcasa 71, con una potencia de 0,5 HP (0,37 KW), 1700 RPM; valores que se ajustan a los requeridos por el ventilador.

Figura 54

Características del motor WEG W22, carcasa 71



Carcasa 63 a 132

W22 - IE2 High Efficiency - 60 Hz

Potencia		Carcasa	Par nominal (kgfm)	Corriente con rotor trabado I/In	Par con rotor trabado T/In	Par máximo T _B /T _n	Momento de Inercia J (kgm ²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB(A)	220 V						Corriente nominal In (A)	
												RPM	% de la potencia nominal			Factor de potencia			
													50	75	100	50	75		100
0,12	0,16	63	0,068	4,6	2,5	3,1	0,0004	37	81	6,2	48	1715	53,0	60,0	64,0	0,44	0,55	0,64	0,769
0,18	0,25	63	0,103	4,7	2,4	2,9	0,0006	30	66	7,2	48	1705	57,0	64,0	68,0	0,47	0,59	0,68	1,02
0,25	0,33	63	0,143	5,0	2,6	3	0,0007	25	55	8,2	48	1705	62,0	68,0	70,0	0,47	0,60	0,69	1,36
0,37	0,5	71	0,215	4,6	2,4	2,5	0,0007	35	77	8,0	47	1680	68,0	71,0	72,0	0,50	0,63	0,72	1,87
0,55	0,75	71	0,319	5,1	2,9	2,9	0,0008	31	68	11,5	47	1680	71,0	74,5	75,5	0,50	0,63	0,72	2,66
0,75	1	80	0,425	7,3	2,8	3	0,0029	16	35	13,5	48	1720	79,0	82,0	82,6	0,61	0,72	0,80	2,98
1,1	1,5	90S	0,612	7,5	2,2	3	0,0049	16	35	18,5	51	1750	81,0	83,5	84,0	0,57	0,70	0,78	4,40
1,5	2	90S	0,835	7,1	2,2	3	0,0049	11	24	18,5	51	1750	81,0	83,5	84,2	0,57	0,70	0,78	6,00
2,2	3	L90L	1,22	7,4	2,8	3,1	0,0077	11	24	25,0	51	1750	86,0	86,5	87,5	0,61	0,74	0,81	8,14
3	4	100L	1,70	6,7	2,8	3	0,0096	16	35	33,0	54	1720	86,4	87,2	87,5	0,61	0,74	0,81	11,1

Nota. Para más detalles puede revisar la hoja técnica del motor que se encuentra en el Anexo B3.5. Recuperado del *Catálogo Técnico Mercado Latinoamericano, W22 Motor Eléctrico Trifásico*, (WEG, 2019).

2.3.7. Control eléctrico del motor

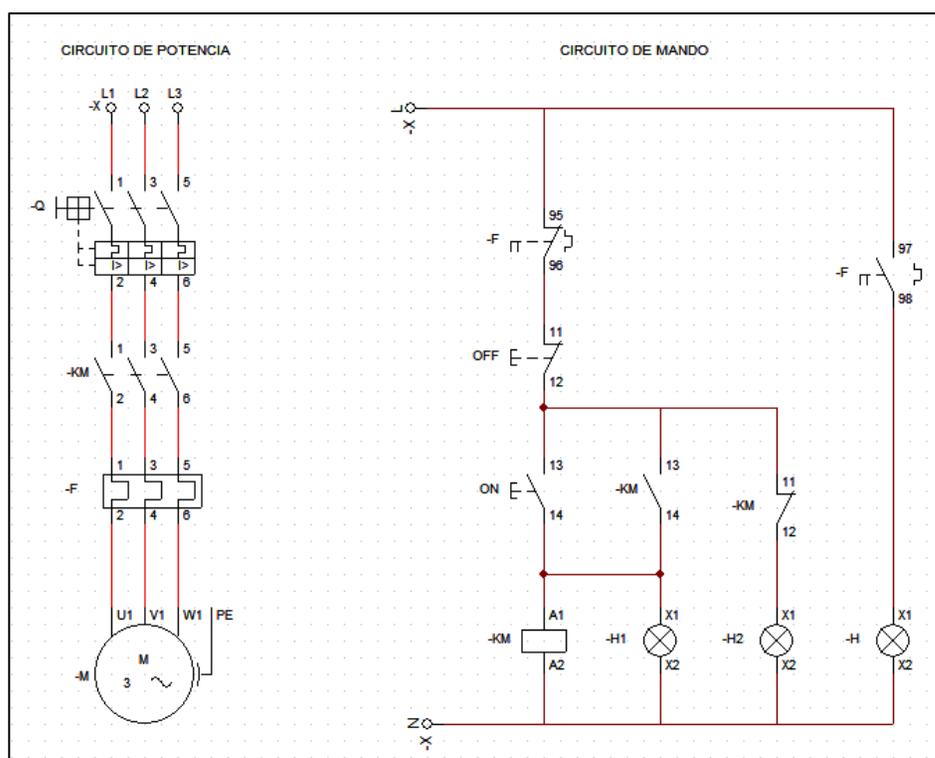
Se emplea un sistema de arranque directo trifásico para el Motor Trifásico WEG W22, con sus debidas protecciones, elementos de mando y visualización. El diagrama implementado se presenta en la Figura 55, y consta de:

- Pulsador de marcha (ON)
- Pulsador de paro (OFF)
- Luz piloto de arranque (H1)
- Luz piloto de paro (H2)

- Luz de alerta por sobrecarga eléctrica (H)
- Relé térmico (F)
- Termo magnético (Q)
- Contactor (KM)
- Motor trifásico (M)

Figura 55

Arranque directo de motor trifásico



Nota. Sistema de arranque de motor trifásico. En caso de sobrecarga eléctrica o calentamiento se dispone de un relé térmico y un interruptor termo magnético.

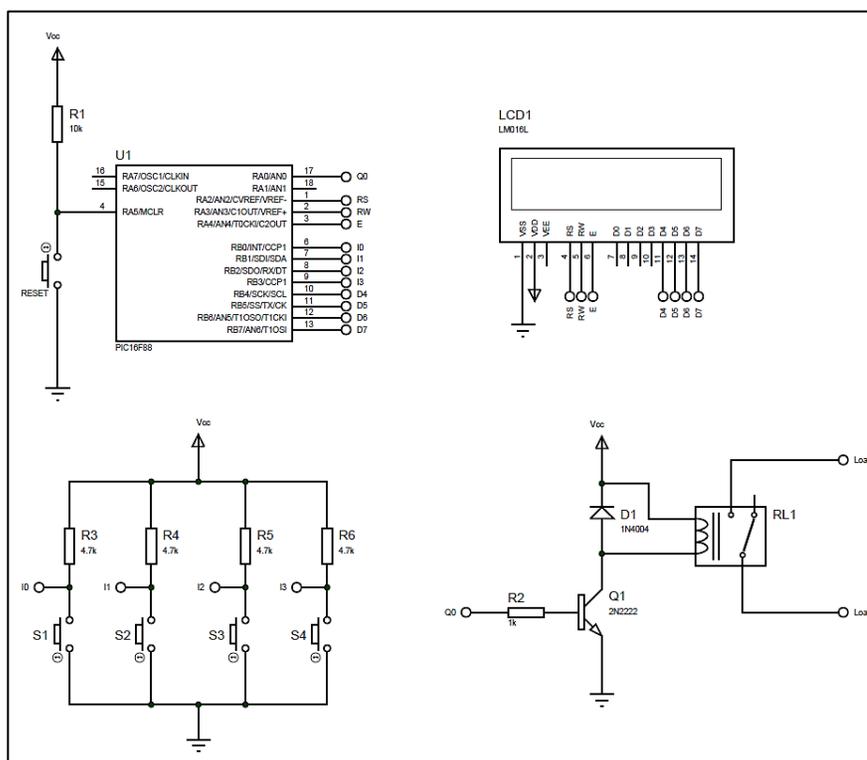
2.3.8. Control para mantenimiento del sistema

Las acciones de mantenimiento están enfocadas principalmente al sistema de filtración, así que para garantizar un óptimo funcionamiento del equipo se consideró una

actividad de mantenimiento preventivo cada 3 meses (480 horas). Para llevar el registro de horas y proporcionar un aviso al usuario se diseña un circuito electrónico que cumpla con estas necesidades. En la Figura 56 se muestra un diagrama esquemático del mismo.

Figura 56

Diagrama esquemático del circuito cuenta horas



Nota. Características adicionales del circuito y programación del microcontrolador se puede encontrar en el Anexo B2.2.

El circuito consta de un microcontrolador PIC 16F88 encargado de llevar el dato de horas que está funcionando el equipo y las horas a la que debe efectuarse el mantenimiento preventivo (480 horas), superado este valor el micro controlador activará una de sus salidas, misma que a través de un relé encenderá una luz piloto amarilla.

La información tanto de horas o aviso de mantenimiento se presenta por medio de un LCD 16x2 y con ayuda de los diferentes pulsadores se podrá confirmar la acción de mantenimiento preventivo para desactivar las señales, realizar un test de la luz piloto o modificar el valor de horas predeterminadas de revisión de ser el caso.

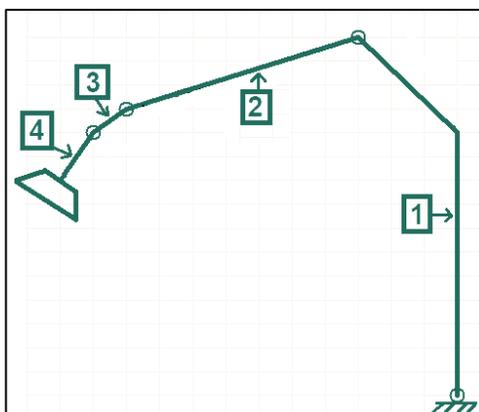
2.3.9. *Diseño mecánico del brazo de extracción*

El brazo de extracción estará formado por perfiles estructurales que brinden soporte a la manga flexible del ducto y la campana de aspiración, así mismo, su configuración debe ser capaz de brindar movimiento para que la campana pueda acceder a diferentes puntos de trabajo. Se utilizará acero estructural para su diseño y construcción por su facilidad de adquisición en el mercado, soldabilidad utilizando cualquier proceso de arco eléctrico, factor económico.

Se considera un sistema de 4 eslabones (Figura 57), mismos que se unirán mediante pernos y serán capaces de efectuar un movimiento angular, mientras que el eslabón número 1 tendrá un punto de apoyo para soportar el peso de todo el brazo de extracción además de un movimiento rotacional que permita el giro de la estructura.

Figura 57

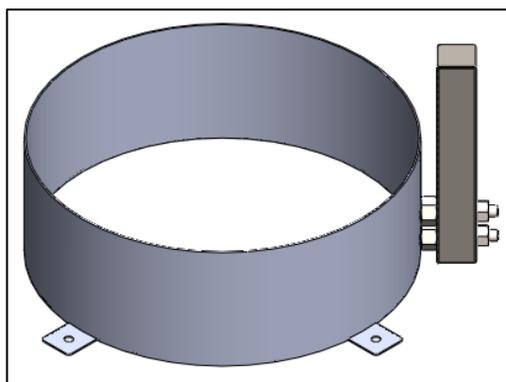
Esquema del brazo de extracción



Acople de campana. Para ensamblar la campana y manga flexible con el sistema de brazos estructurales se diseña un anillo circular de lámina galvanizada de 0,9 mm con 4 pestañas que permitan una conexión mediante tornillos, adicional a ello se coloca un segmento de tubo cuadrado de $\frac{3}{4}$ de pulgada y 0,9 mm de espesor para acoplar con el siguiente eslabón. En la Figura 58 se muestra el elemento en cuestión.

Figura 58

Acople para campana

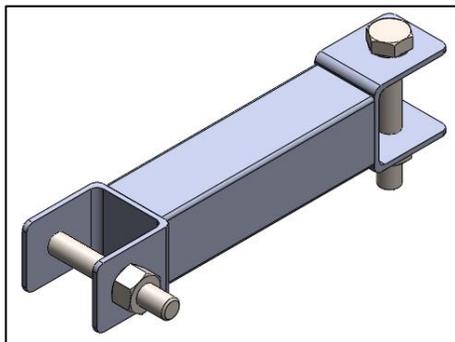


Nota. Las dimensiones y detalles se presentan en el Anexo B1 (Plano 1-007 y 1-023).

Acople doble. Este elemento tiene como función el ensamble de la campana con el brazo secundario, adicional a ello otorgar un movimiento de tipo angular para orientación de la campana. Está diseñado a partir de un tubo cuadrado de $\frac{3}{4}$ de pulgada y 0,9 mm con sus respectivos acoples terminales para una conexión por medio de pernos tal y como se observa en la Figura 59.

Figura 59

Acople doble

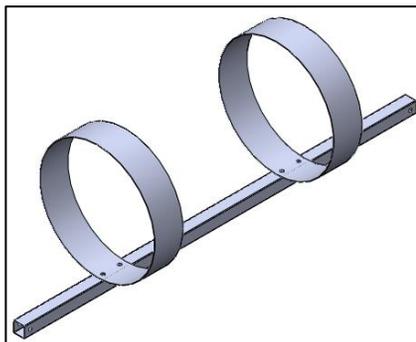


Nota. Las dimensiones y detalles de este componente se encuentran en el Anexo B1 (Plano 1-016).

Brazo secundario. El brazo secundario está formado por dos anillos guía, cada uno con un diámetro de 205 mm y sujetos a un tubo de acero estructural cuadrado de $\frac{3}{4}$ de pulgada y 0,9 mm de manera que brinden soporte de la tubería flexible. El modelo CAD se puede observar en la Figura 60.

Figura 60

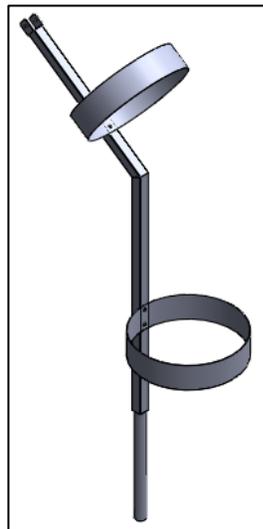
Brazo secundario



Brazo principal. El brazo principal está diseñado con un perfil de acero estructural circular de $\frac{3}{4}$ de pulgada con un espesor de 2 mm para la base, ya que será fácil de acoplar a un soporte y permitir su rotación. El resto del elemento en cambio dispone de un perfil de acero estructural cuadrado de $\frac{3}{4}$ de pulgada con un espesor de 0,9 mm como se observa en la Figura 61.

Figura 61

Brazo principal



Ensamble y validación del brazo de extracción. Se procede a ensamblar cada uno de los componentes descritos (Figura 62) para posteriormente desarrollar un análisis estático y validar el diseño; en el caso de que los resultados de esfuerzo equivalente de Von Mises, deformación total o factor de seguridad no sean satisfactorios para algún elemento se rediseñará esta propuesta.

Figura 62

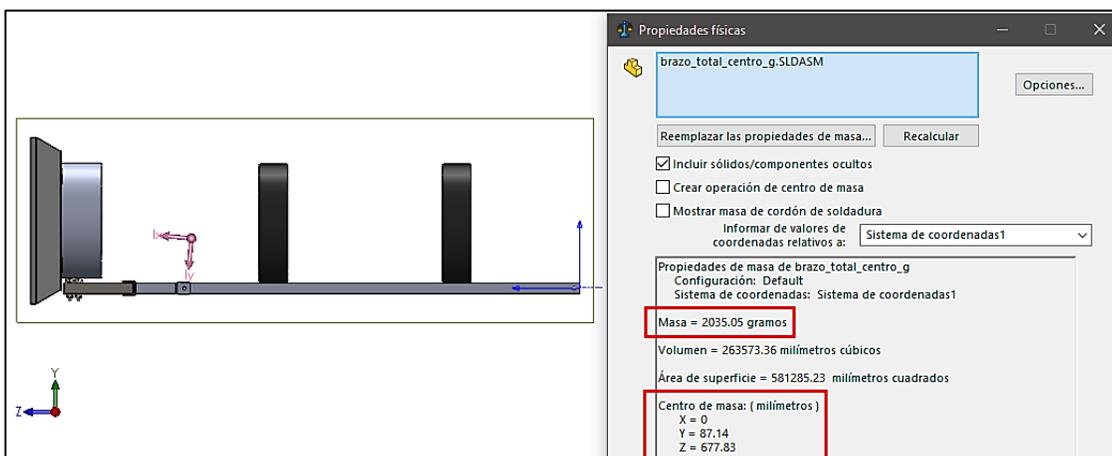
Ensamble del brazo de extracción



El análisis estático se desarrollará de manera independiente para cada componente. En el caso del brazo principal se considera la acción de la gravedad y el peso del resto de elementos como una carga puntual a determinada distancia, para ello con ayuda de las herramientas de medición del software Solidworks se determina una masa de 2035,05 gramos a una distancia $Y = 87,14 \text{ mm}$, $Z = 677,83 \text{ mm}$ medida desde el punto de conexión (Figura 63).

Figura 63

Masa y centro de gravedad de componentes



Propiedades físicas

brazo_total_centro_g.SLDASM

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

Incluir sólidos/componentes ocultos

Crear operación de centro de masa

Mostrar masa de cordón de soldadura

Informar de valores de coordenadas relativos a: Sistema de coordenadas1

Propiedades de masa de brazo_total_centro_g

Configuración: Default

Sistema de coordenadas: Sistema de coordenadas1

Masa = 2035.05 gramos

Volumen = 263573.36 milímetros cúbicos

Área de superficie = 581285.23 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)

X = 0

Y = 87.14

Z = 677.83

Con los datos mencionados se obtiene el esfuerzo equivalente de Von Mises (Figura 64), deformación total (Figura 65) y factor de seguridad (Figura 66); los resultados obtenidos no garantizan un correcto diseño como se observa a continuación. Por ende, es necesario modificar la estructura del brazo principal.

Figura 64

Esfuerzo equivalente de Von Mises del brazo principal

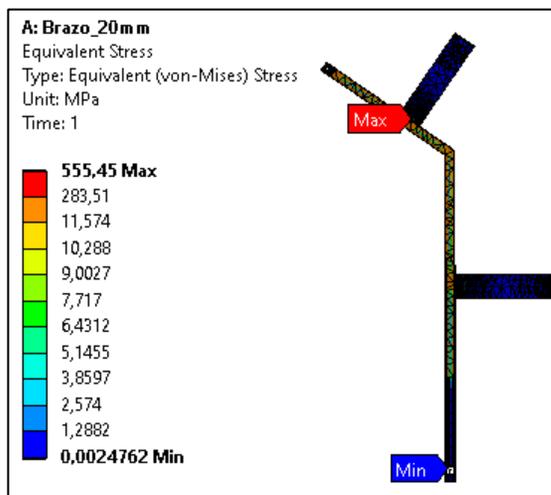


Figura 65

Deformación total del brazo principal

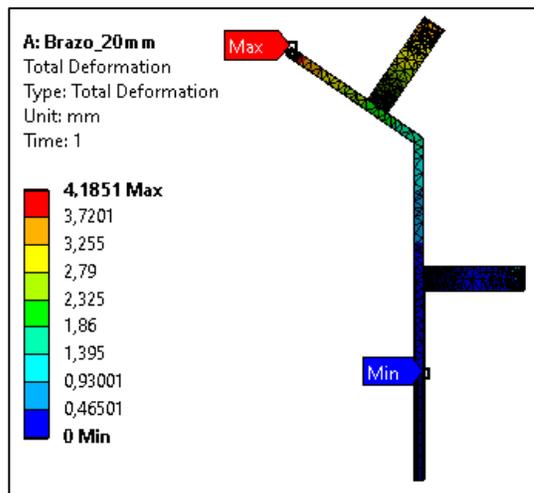
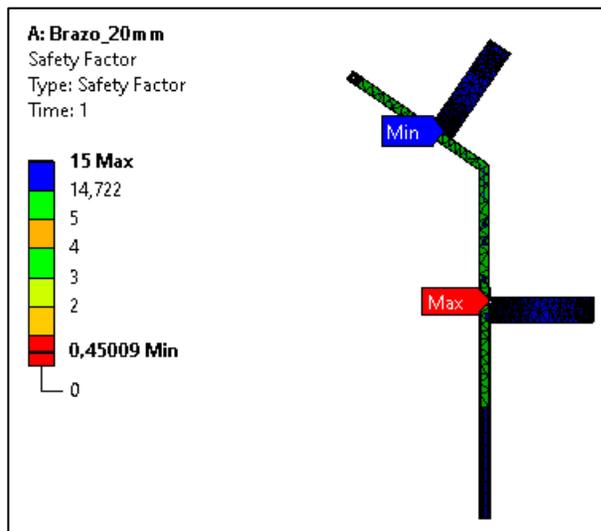


Figura 66

Factor de seguridad del brazo principal

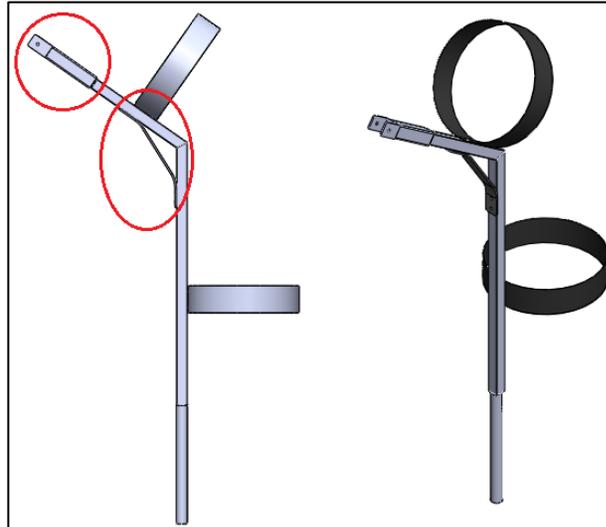


Nota. El factor de seguridad es menor a 1, por tanto, el diseño no es apropiado para los requerimientos del equipo.

Se procede a modificar el extremo del brazo principal, puesto que en esa zona se encuentra la mayor concentración de esfuerzo y deformación. Entonces, el extremo se refuerza con un perfil cuadrado de 1 pulgada, 2 mm de espesor, un acople tipo U con placas de 3 mm de espesor de acero ASTM A36 y un soporte de similares características, tal y como se observa en la Figura 67.

Figura 67

Brazo principal modificado



Nota. Las características y dimensiones se pueden revisar en el Anexo B1 (Plano 1-021).

Se analiza nuevamente el componente bajo las mismas condiciones y se obtiene un valor de esfuerzo equivalente máximo de 110,54 MPa (Figura 68), valor que resulta inferior a la resistencia a la cedencia del acero estructural $S_y = 250$ MPa. La deformación total máxima es de 0,212 mm (Figura 69) y el factor de seguridad de 2,26 (Figura 70). Por tanto, el diseño es correcto.

Figura 68

Esfuerzo equivalente de Von Mises del brazo principal modificado

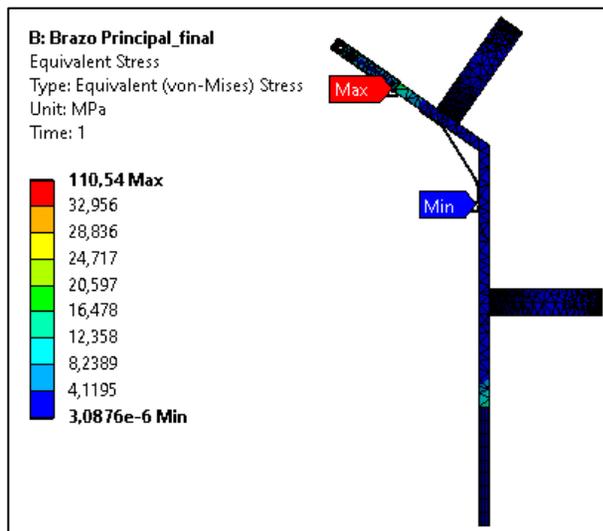


Figura 69

Deformación del brazo principal modificado

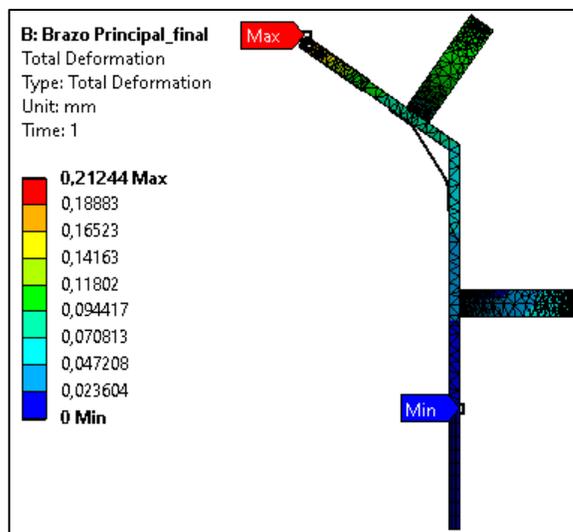
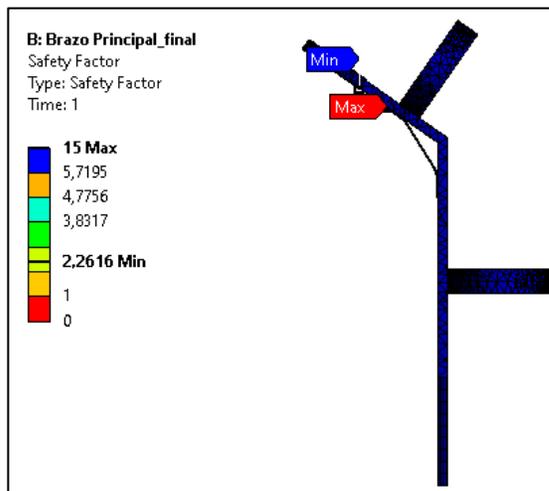


Figura 70

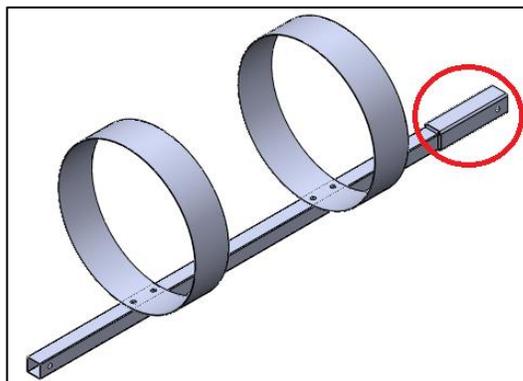
Factor de seguridad del brazo principal modificado



Antes de analizar el brazo secundario se procede a reforzar uno de sus extremos con un perfil cuadrado de 1 pulgada, 2 mm de espesor (Figura 71) para asegurar una conexión apropiada con el brazo principal.

Figura 71

Brazo secundario modificado

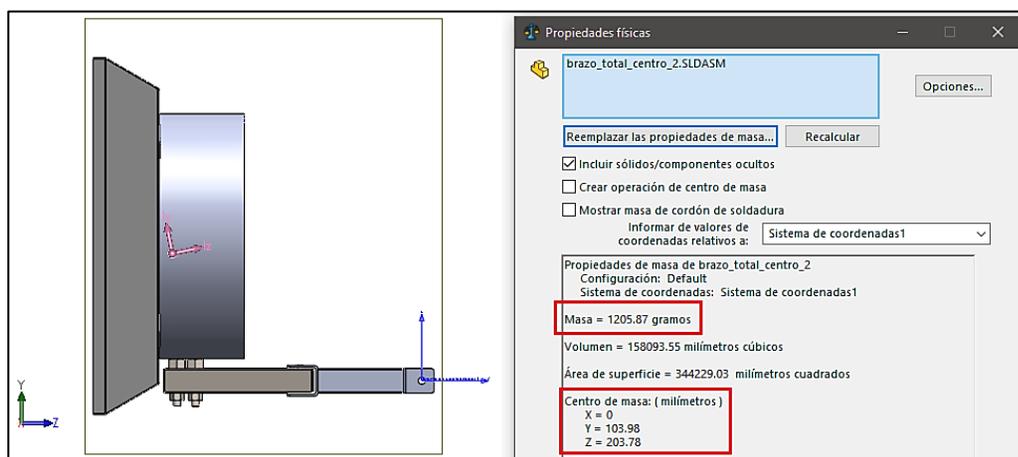


Nota. Las características y dimensiones del componente se pueden revisar en el Anexo B1 (Plano 1-005).

Para el análisis del brazo secundario se considera su propio peso por acción de la gravedad, la fuerza equivalente del peso producido por el resto de componentes (Figura 72) y el momento provocado por la unión con el brazo principal de 13,6 N.m calculado en base a los datos de la Figura 63.

Figura 72

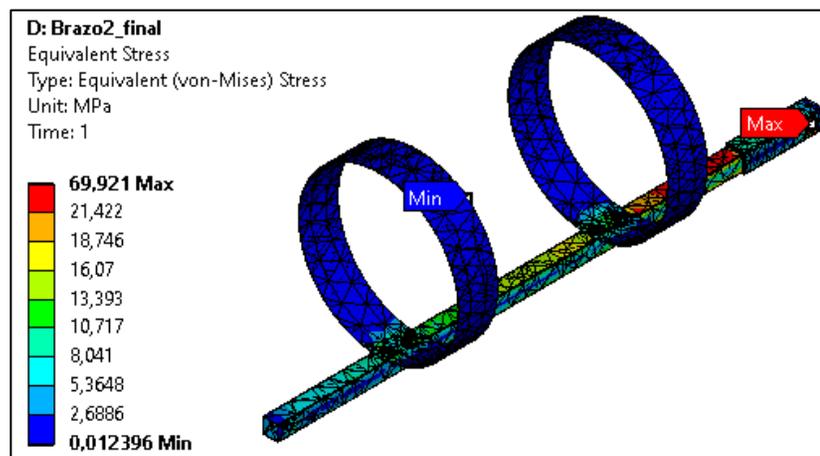
Masa y centro de gravedad de campana y acople



Se obtiene un valor de esfuerzo equivalente máximo de 69,92 MPa (Figura 73), valor que resulta inferior a la resistencia a la cedencia del acero estructural (250 MPa). La deformación total máxima es de 1,95 mm (Figura 74) y el factor de seguridad de 3,57 (Figura 75). Por tanto, el diseño es correcto.

Figura 73

Esfuerzo equivalente de Von Mises de brazo secundario modificado

**Figura 74**

Deformación total de brazo secundario modificado

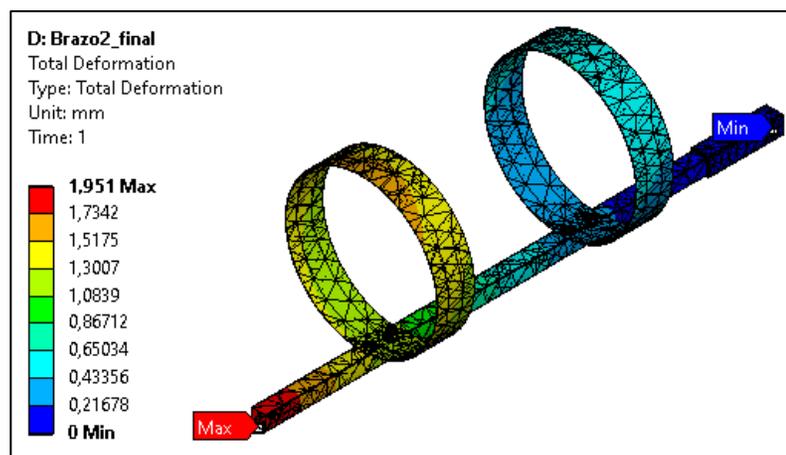
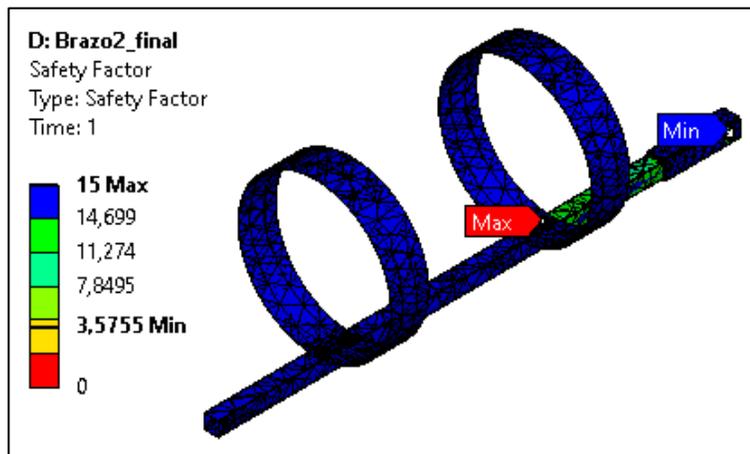


Figura 75

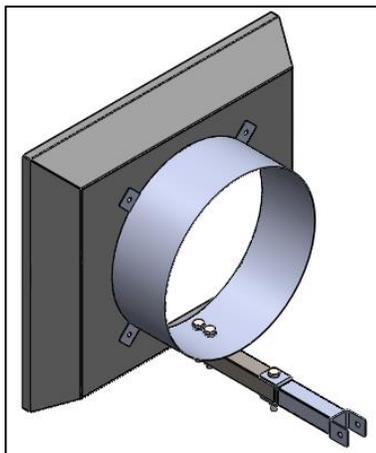
Factor de seguridad de brazo secundario modificado



Ahora se analiza la campana junto con sus elementos de acople (Figura 76), en este caso se considera la acción de la fuerza de gravedad y el momento de reacción ocasionado en la unión con el brazo secundario, mismo que tiene un valor de 2,4 N.m acorde al cálculo utilizando los datos de la Figura 72 anteriormente presentada.

Figura 76

Campana y elementos de acople



Acorde al análisis del software, se obtiene un valor de esfuerzo equivalente máximo de 39,65 MPa (Figura 77) valor que resulta inferior a la resistencia a la cedencia del acero estructural $S_y = 250$ MPa. La deformación total máxima es de 0,204 mm en el extremo de la campana (Figura 78) y el factor de seguridad de 6,3 (Figura 79). Por tanto, el diseño es correcto.

Figura 77

Esfuerzo equivalente de Von Mises para campana y acople

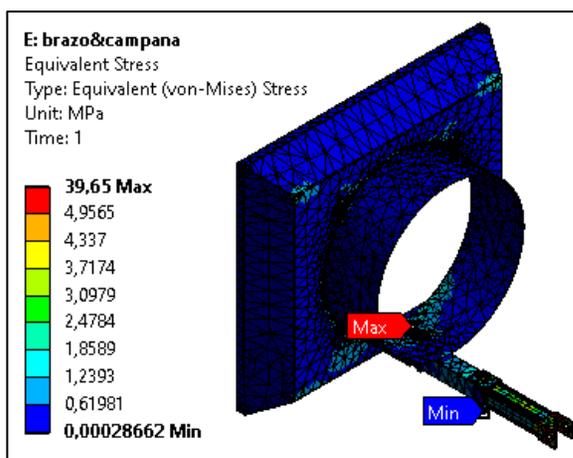


Figura 78

Deformación total para campana y acople

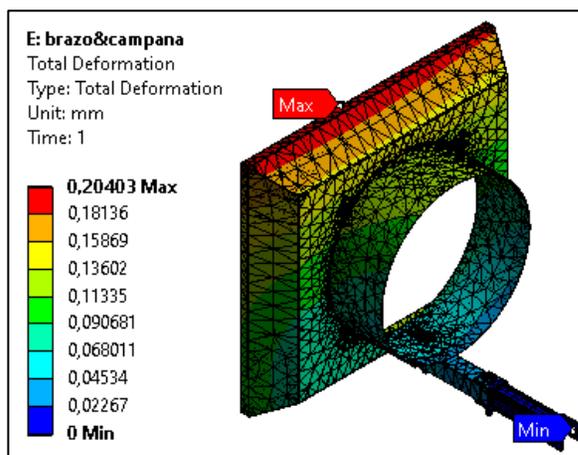
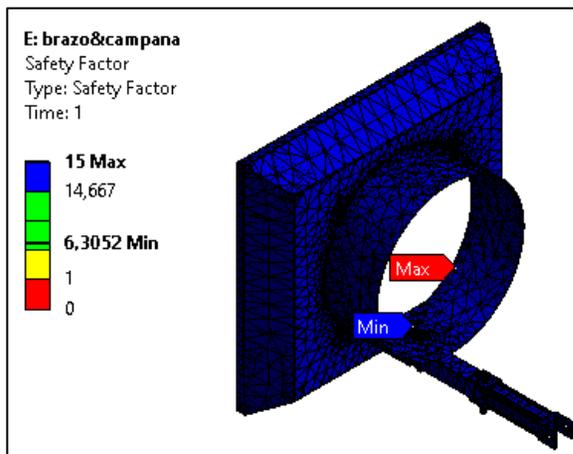


Figura 79

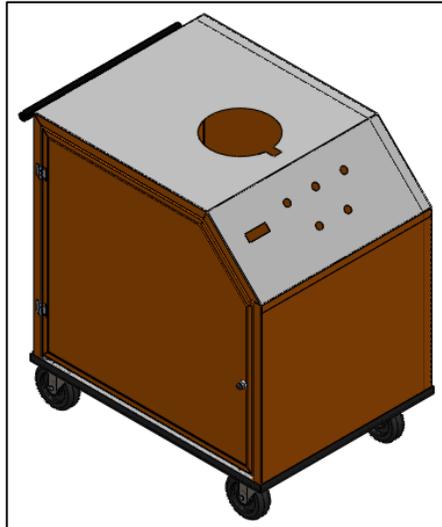
Factor de seguridad para campana y acople



2.3.10. Diseño mecánico de la estructura principal

La estructura principal será la encargada de cubrir y dar soporte a todos los componentes antes mencionados: ventilador, motor, caja manejadora, brazo de extracción, sistemas de control. El modelado CAD se puede observar en la Figura 80; el armazón (parte frontal, posterior y laterales) está hecha a partir de una lámina de acero galvanizado de 0,9 mm de espesor puesto que no soportará mayor peso que el de los elementos de mando y señalización eléctrica, por ende, el esfuerzo equivalente de Von Mises será bajo.

La base rectangular consta de una placa de acero de 3 mm de espesor y un marco a base de ángulo de 1 pulgada del mismo espesor, este elemento debe soportar el peso de todo el equipo, por ende, es necesario que sea robusto para garantizar un valor de esfuerzo menor al límite de cedencia del acero estructural. Para facilitar la movilidad y transporte del equipo se coloca una manija en la parte posterior y cuatro ruedas en la base.

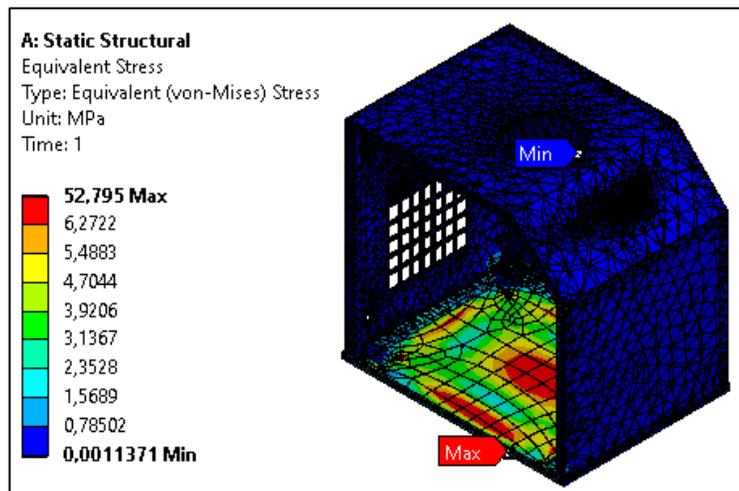
Figura 80*Estructura principal*

Nota. Las dimensiones y detalles del componente se presentan en la sección de anexos, Anexo B1 (Planos 1-000, 1-001 y 1-018).

Para efectuar el análisis se considera el peso de todos los componentes del sistema de extracción, como son: motor, ventilador, caja manejadora, filtros, brazo de extracción y elementos de control. Dicho valor es de 442 Newton, pero se utilizó un valor ligeramente superior de 500 Newton para garantizar un diseño apropiado. El esfuerzo equivalente máximo obtenido es de 52,79 MPa (Figura 81) valor que resulta inferior a la resistencia a la cedencia del acero estructural $S_y = 250$ MPa. La deformación total máxima es de 0,442 mm (Figura 82) y el factor de seguridad de 4,73 (Figura 83). Bajo estos resultados el diseño es correcto.

Figura 81

Esfuerzo equivalente de Von Mises para estructura principal

**Figura 82**

Deformación total para estructura principal

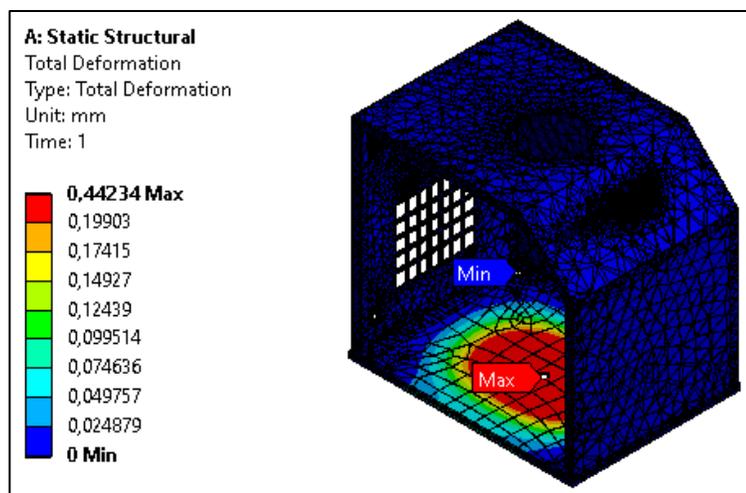
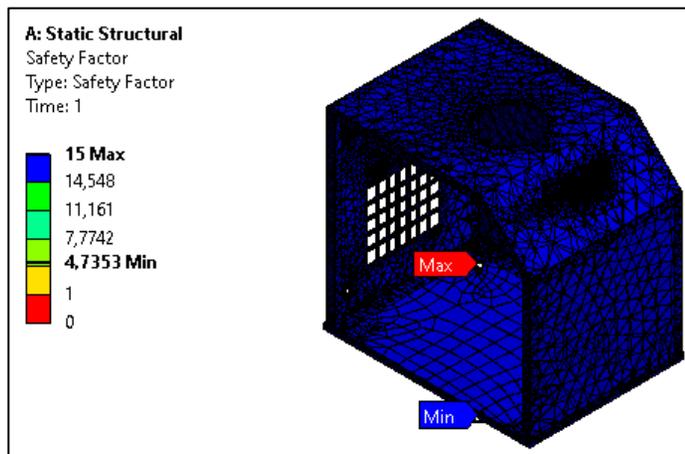


Figura 83

Factor de seguridad para estructura principal

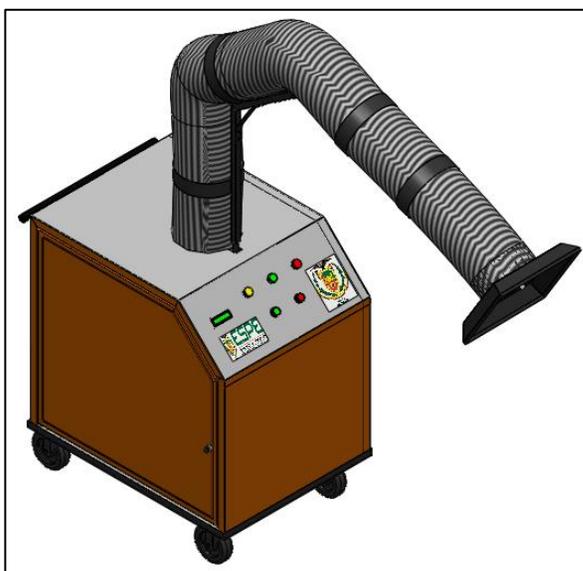


2.3.11. Ensamble extractor de humos

Finalmente se ensambla todos los componentes del sistema de extracción de humos, mismo que se puede visualizar en la Figura 84.

Figura 84

Ensamble de extractor de humos de soldadura



2.4. Jigs de soldadura

Los jigs de soldadura son dispositivos que brindan una sujeción de los elementos a ensamblar; dentro del proceso de diseño se establece criterios iniciales, cálculos, simulaciones para su respectiva validación.

2.4.1. Especificaciones de diseño

De acuerdo con el layout de la celda de soldadura se considera como primer punto al Brazo Robótico KUKA KR5 ARC y la Mesa Posicionadora, puesto que son elementos que interactúan directamente en el proceso; bajo esta referencia se establece las siguientes características para cada jig:

- Jig de tipo estático
- Sujeción neumática y mecánica
- Dimensión máxima de 70 cm x 70 cm
- Altura máxima de 20 cm
- Peso máximo de 1000 Newton incluidos los materiales a soldar (Valor máximo admitido por la mesa posicionadora del laboratorio)
- Material de acero estructural ASTM A36 (económico, de fácil adquisición y soldabilidad mediante procesos de arco eléctrico AW)

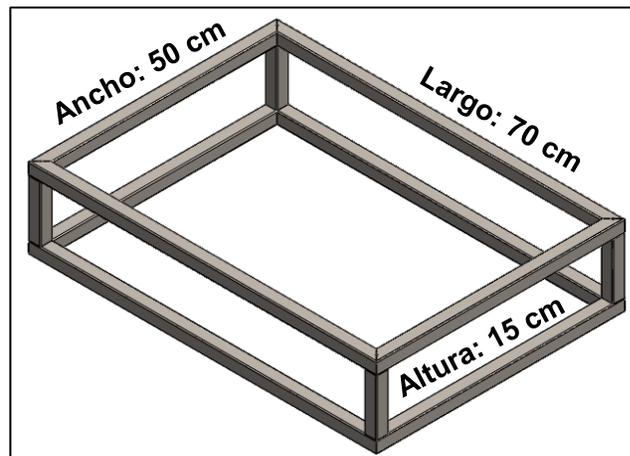
Cabe resaltar que el primer jig tendrá un enfoque didáctico, orientado al desarrollo de prácticas de soldadura robotizada, mientras que el segundo jig estará orientado a un proceso industrial que involucre un objeto de gran volumen de producción. Además, se buscará la manera de instalar los jigs en la mesa posicionadora para desarrollar una aplicación en conjunto con este sistema. Establecidas las especificaciones se procede con el diseño mecánico y selección de componentes.

2.4.2. Diseño mecánico de la estructura principal de los Jigs

Para dimensionar el jig se toma en cuenta las especificaciones mencionadas, además de la aplicación o producto a desarrollar y la consideración de implementarse en conjunto con la mesa posicionadora del laboratorio. Las dimensiones y forma inicial para la estructura principal de ambos jigs se observan en la Figura 85.

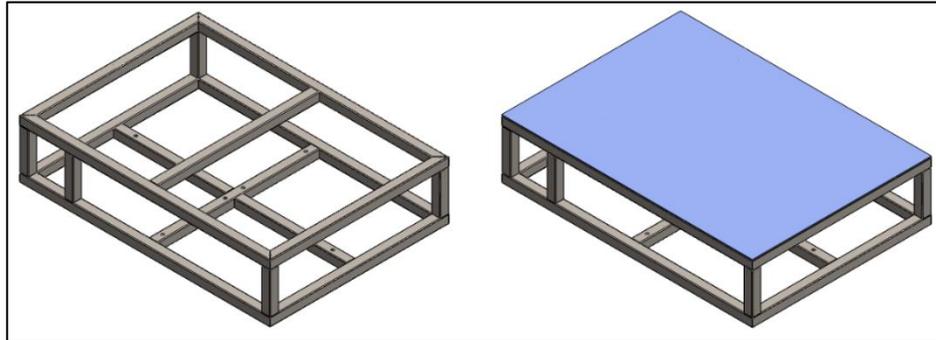
Figura 85

Modelo inicial de la estructura principal



Nota. La estructura está diseñada con un perfil cuadrado de 1 pulgada, 1,5 mm de espesor, acero ASTM A36.

Establecido este primer modelo CAD se realiza unas ligeras modificaciones a fin de colocar una plancha de metal base que soportara las piezas a soldar, los elementos para el accionamiento neumático y se busca la manera de realizar un ensamble con la mesa posicionadora; en la Figura 86 se puede observar dichas modificaciones.

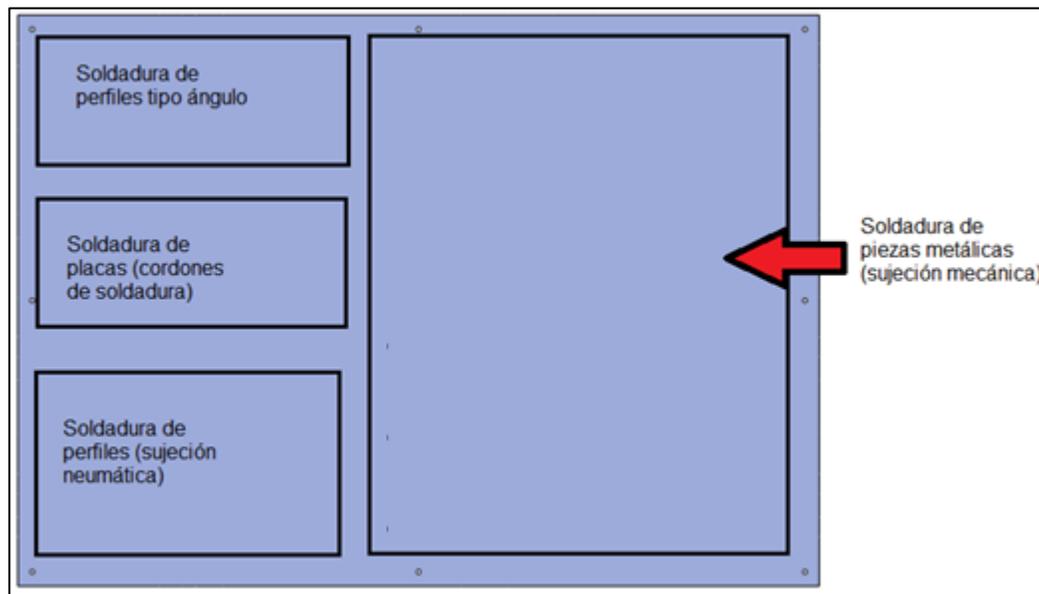
Figura 86*Estructura principal*

Nota. La imagen muestra la estructura principal modificada en base a los requerimientos mencionados en conjunto con la plancha de metal base, misma que es una placa de acero ASTM A36 de 3 mm (1/8) de espesor.

A partir de este punto se diseñarán los elementos de sujeción y soportes para cada jig de acuerdo con su aplicación y criterios.

2.4.3. Diseño Jig 1

El primer jig está enfocado a una aplicación didáctica de soldadura robotizada, entonces se plantea la idea de confeccionar piezas metálicas de diferente geometría y dimensiones, realizar uniones y/o cordones de soldadura en placas o perfiles que estén dentro de las posibilidades del robot KUKA. Bajo esta referencia se distribuye el espacio del jig como lo muestra la Figura 87.

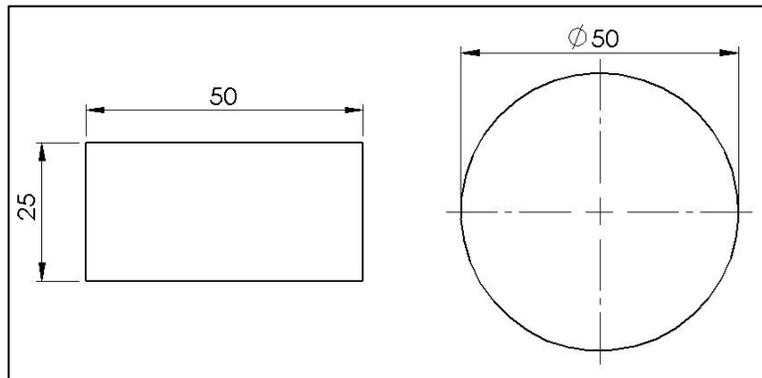
Figura 87*Distribución del espacio Jig 1*

Nota. Para la elaboración de piezas metálicas se destina aproximadamente la mitad de la superficie de trabajo del jig, de manera que pueda existir una variedad de piezas a soldar.

Diseño de topes y elementos de sujeción mecánica. Antes de iniciar con el diseño de estos elementos se establece las dimensiones y formas de perfiles estructurales con los cuales se puede trabajar en este jig. En el caso de perfiles rectangulares se admite un valor máximo de 50 mm de base y 25 mm de altura; y en cuanto a perfiles circulares de un diámetro máximo de 50 mm para sujeción neumática (Figura 88).

Figura 88

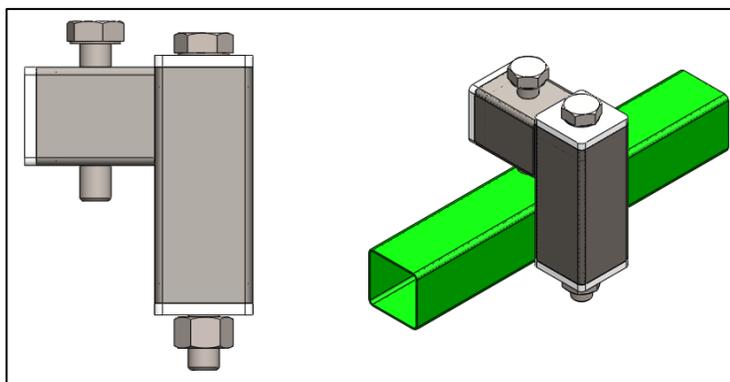
Perfiles de trabajo Jig 1



Clamp para perfiles estructurales. En la Figura 89 se muestra el clamp diseñado para sujetar los perfiles metálicos, el mismo que consta de partes de un tubo cuadrado de 1 pulgada, 2 mm de espesor, acero ASTM A36. La sujeción mecánica de este elemento es a base de pernos y tuercas.

Figura 89

Clamp para perfiles

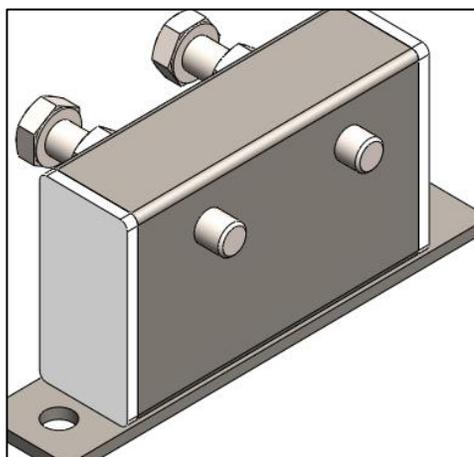


Nota. Este clamp será utilizado para sujetar perfiles estructurales como muestra la imagen, las dimensiones se presenta en el Anexo C1 (Plano 2-005).

Clamp para ángulos estructurales. En la Figura 90 se muestra el clamp que permitirá el ajuste de ángulos estructurales, está diseñado a partir de un perfil rectangular de 1 x 2 pulgadas 1,5 mm de espesor, acero ASTM A36, una platina de 1 pulgada de ancho y 3 mm de espesor, pernos y tuercas para la sujeción mecánica.

Figura 90

Clamp para ángulos estructurales

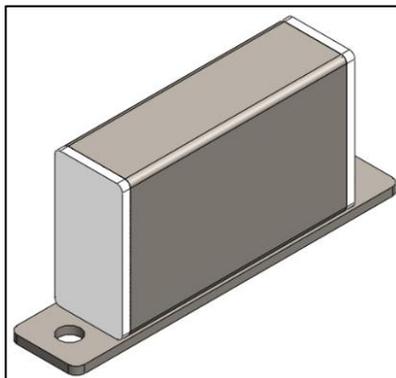


Nota. Las dimensiones de este clamp se presentan en el Anexo C1 (Plano 2-006).

Tope para ángulos estructurales. En la Figura 91 se muestra el tope que completará el apoyo del ángulo estructural a soldar en el jig, está diseñado a partir de un perfil rectangular de 1 x 2 pulgadas de acero ASTM A36, una platina de 1 pulgada de ancho y 3 mm de espesor.

Figura 91

Tope para ángulos estructurales

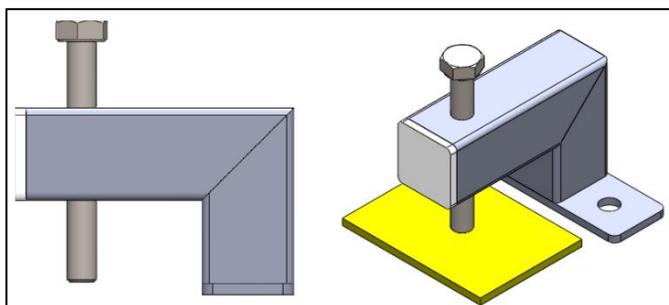


Nota. Las dimensiones de este elemento se presentan en el Anexo C1 (Plano 2-007).

Clamp fijo para placas. En la Figura 92 se muestra el diseño de un clamp fijo que permitirá el ajuste de placas para desarrollar cordones de soldadura, el elemento fue diseñado de un tubo cuadrado de 1 pulgada, 2 mm de espesor, acero estructural ASTM A36, una platina de 1 pulgada de ancho con 3 mm de espesor, pernos y tuercas para la sujeción mecánica.

Figura 92

Clamp fijo para placas

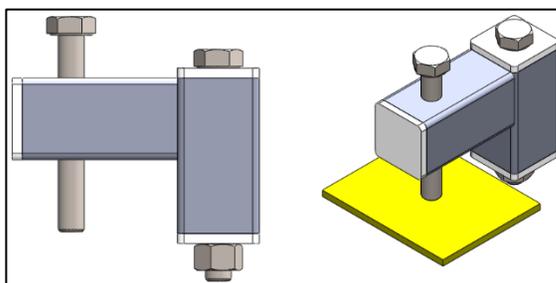


Nota. Las dimensiones de este elemento se presentan en el Anexo C1 (Plano 2-003).

Clamp móvil para Placas. En la Figura 93 se muestra el clamp que permitirá el ajuste de placas para desarrollar cordones de soldadura, el elemento fue diseñado de un tubo cuadrado de 1 pulgada, 2 mm de espesor, acero estructural ASTM A36, pernos y tuercas para la sujeción mecánica.

Figura 93

Clamp móvil para placas

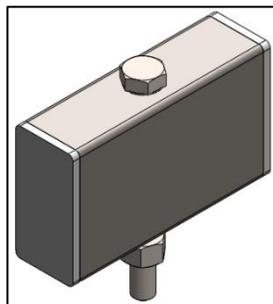


Nota. Las dimensiones de este elemento se presentan en el Anexo C1 (Plano 2-004).

Tope rectangular. En la Figura 94 se muestra el tope que trabajará en conjunto con el sistema de sujeción neumático. En el diseño se considera un perfil rectangular de 1 x 2 pulgadas de acero ASTM A36 con un espesor de 1,5 mm; además de un perno y tuerca para su ensamblaje en el jig.

Figura 94

Tope rectangular



Nota. Las dimensiones de este elemento se presentan en el Anexo C1 (Plano 2-008).

Diseño y selección de elementos para la sujeción neumática. El diseño del clamp de sujeción neumática constará de un cilindro y un elemento de agarre, este conjunto debe efectuar un movimiento lineal a fin de presionar el perfil contra un tope estático. En cuanto al cilindro, se realiza una búsqueda considerando dimensiones, carrera del embolo, presión de trabajo acorde a la del laboratorio, costo. El cilindro seleccionado (Figura 95) y sus características más relevantes se resumen en la Tabla 8.

Tabla 8

Características cilindro MA6432 20x50-S

Característica	Detalle
Tipo	Cilindro de Doble Efecto
Diámetro de Cilindro	20 mm
Carrera	50 mm
Presión máxima	1 MPa
Presión mínima	0,1 MPa
Tamaño de Conexión de Aire	G 1/8"

Nota. Estas características son de mayor relevancia para desarrollar el diseño del clamp neumático; no obstante, en el Anexo C5.1 se encuentra todas las especificaciones técnicas de este producto.

Figura 95

Cilindro MA6432 20x50-S



Nota. Recuperado de (XCPC Pneumatic, 2017).

Se procede a calcular la fuerza de avance que desarrollará este cilindro bajo una presión de trabajo de 0,4 MPa (4 bares), valor nominal de presión neumática del laboratorio.

$$P = \frac{Ft_{avance}}{S_{avance}} \quad (11)$$

$$0,4 \text{ MPa} = \frac{Ft_{avance}}{\pi R^2}$$

$$Ft_{avance} = (0,4 \text{ MPa}) \times \pi \times (10 \text{ mm})^2$$

$$Ft_{avance} = 125,66 \text{ N}$$

Dónde:

P : Presión

Ft_{avance} : Fuerza teórica de avance

S_{avance} : Superficie en el avance

A este valor de fuerza real se debe descontar las pérdidas por rozamiento, cuyo valor está alrededor de un 5 a 10% de la fuerza teórica.

$$Fr_{avance} = Ft_{avance} - (0,05 \times Ft_{avance}) \quad (12)$$

$$Fr_{avance} = 125,66 - (0,05 \times 125,66)$$

$$Fr_{avance} = 119,37 \text{ N}$$

Fr_{avance} : Fuerza real de avance

Al comparar este valor de fuerza de avance en relación al clamp neumático comercial DESTACO 89R20-010-2 (Ver Anexo C5.3) que tiene 80 N, se procede a recalcular la fuerza teórica con un valor de presión de 0,3 MPa (3 bares).

$$Ft_{avance} = (0,3 \text{ MPa}) \times \pi \times (10 \text{ mm})^2$$

$$Ft_{avance} = 94,24 \text{ N}$$

Aplicando la fórmula para determinar el valor real debido a las pérdidas:

$$Fr_{avance} = 94,24 - (0,05 \times 94,24)$$

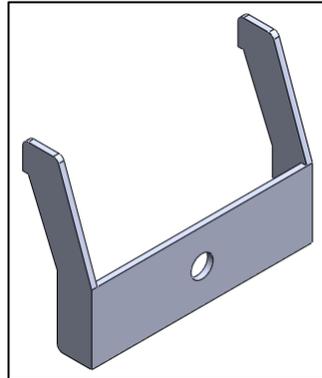
$$Fr_{avance} = 89,52 \text{ N}$$

Con este nuevo cálculo se estima una presión de trabajo alrededor de 3 bares para los clamp neumáticos a implementarse.

Diseño de accesorios para el Clamp Neumático. En la Figura 88 se estableció los perfiles estructurales a trabajar; acorde a su geometría y dimensiones se diseña un elemento tipo garra que permita sujetarlos en conjunto con el cilindro seleccionado. La Figura 96 muestra el modelo CAD del elemento en cuestión.

Figura 96

Garra de sujeción

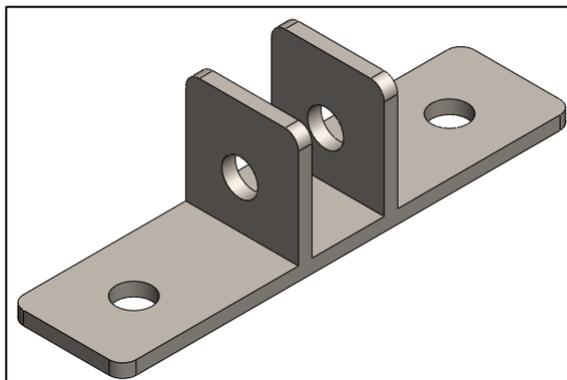


Nota. Las dimensiones de este elemento se presentan en el Anexo C1 (Plano 2-010).

Adicionalmente se diseña un soporte para fijar el cilindro en la superficie de trabajo del jig (Ver Figura 97).

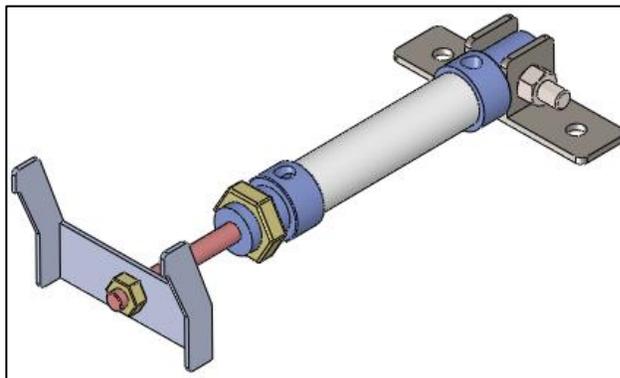
Figura 97

Soporte cilindro neumático



Nota. Las dimensiones de este elemento se presentan en el Anexo C1 (Plano 2-009).

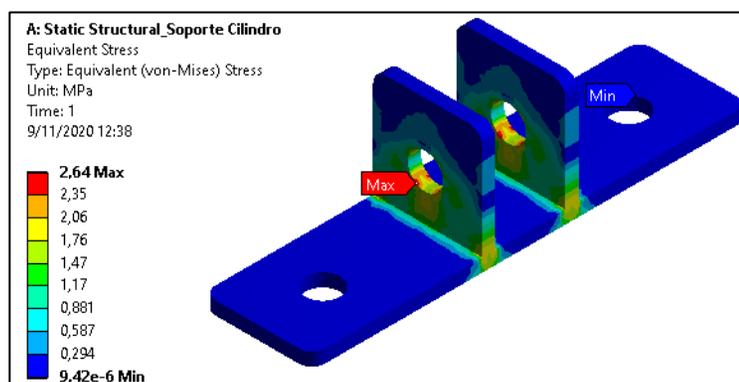
Ensamble y Validación. La Figura 98 finalmente muestra el modelo CAD del clamp neumático junto con sus accesorios ensamblados.

Figura 98*Clamp neumático*

Al realizar un análisis estático del soporte de cilindro considerando gravedad, peso del cilindro 4 N y una fuerza de reacción de 90 N al activarse el clamp, se observa un esfuerzo equivalente máximo de Von Mises de 2,64 MPa, valor que es inferior a la resistencia a la cedencia del acero estructural (250 MPa).

$$\sigma_{Von\ Mises} < S_{y\ acero} \quad (13)$$

$$2,64\ MPa < 250\ MPa \quad (\text{Diseño correcto})$$

Figura 99*Esfuerzo equivalente de Von Mises de soporte de cilindro*

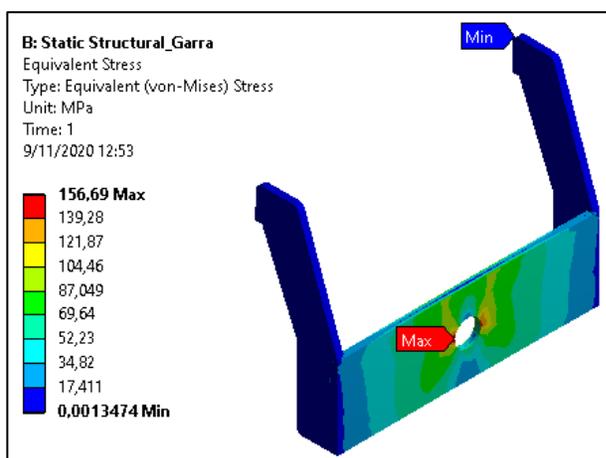
En lo que respecta a la garra de sujeción, la Figura 100 muestra los esfuerzos obtenidos en el análisis al interactuar la fuerza de gravedad y la fuerza de 90 Newton al activar el clamp.

$$\sigma_{Von\ Mises} < S_{yacero}$$

$$156,69\ MPa < 250\ MPa \quad (\text{Diseño correcto})$$

Figura 100

Esfuerzo equivalente Von Mises de garra de sujeción



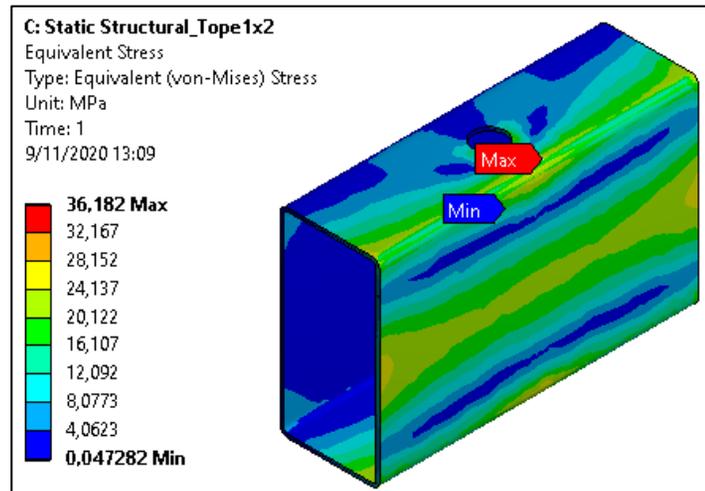
Se desarrolló un análisis similar para el tope rectangular que completará la sujeción de los perfiles al momento de soldar. La Figura 101 muestra los esfuerzos obtenidos en el análisis al interactuar la fuerza de gravedad y la fuerza de 90 Newton

$$\sigma_{Von\ Mises} < S_{yacero}$$

$$36,18\ MPa < 250\ MPa \quad (\text{Diseño correcto})$$

Figura 101

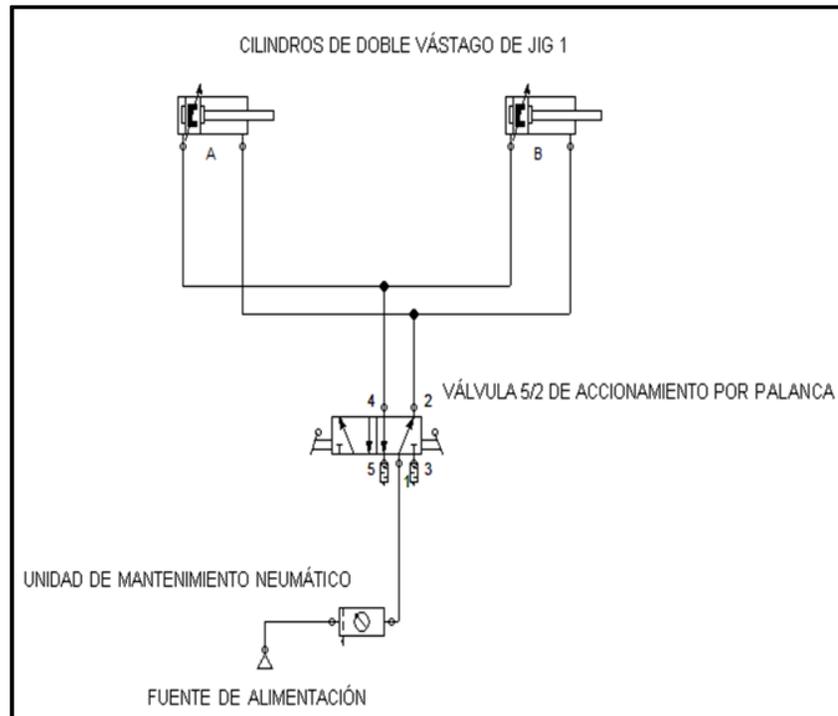
Esfuerzo equivalente Von Mises de tope rectangular



Diseño del circuito neumático. Para accionar los sujetadores neumáticos se considera un circuito de simple actuación, con una válvula 5/2 que permite el paso de aire para la sujeción de elementos, y al cambiar de posición permite el retorno de aire para la liberación de los mismos, este circuito consta de las siguientes partes:

- Fuente de conexión
- Unidad de mantenimiento neumático
- Válvula 5/2 accionado por palanca
- Cilindros de doble vástago
- Silenciadores

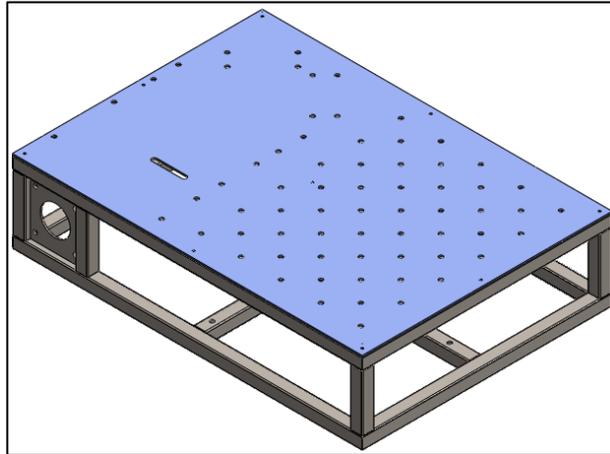
Dichos elementos permiten un control ON / OFF de los sujetadores de los jigs, tomando como configuración una presión de trabajo de 3 bares, este diseño del circuito es aplicable a los dos jigs. En la Figura 102 se observa el esquema y elementos del control neumático del jig.

Figura 102*Circuito neumático Jig1*

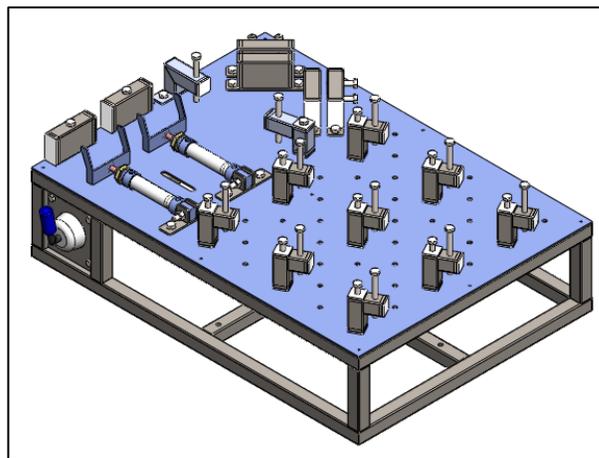
Nota. Circuito neumático para el control de sujetadores del Jig 1, el cual consta de dos cilindros de doble vástago (A, B).

2.4.4. Ensamble Jig 1

En este ítem se desarrolla el ensamble final del Jig 1, para ello se realiza agujeros en la placa de acero de manera que se organice los topes y clamps diseñados para realizar diferentes uniones con soldadura. En la Figura 103 puede observar únicamente la estructura con todas sus modificaciones; y en la Figura 104 todos los componentes ensamblados.

Figura 103*Estructura Jig1*

Nota. Las dimensiones y características de la estructura se presentan en el Anexo C1 (Planos 2-001 y 2-002).

Figura 104*Ensamble Jig1*

Nota. Puede revisar el Anexo C1 (Plano 2-000) para identificar los componentes del ensamble.

2.4.5. Validación de Diseño Jig 1

Para realizar el análisis estático del Jig 1 se toma en cuenta el peso de todos los componentes mostrados en el ensamble de la Figura 104, incluido el de la estructura misma. La Ecuación 14 permite calcular el peso para cada elemento:

$$W = m \times g \quad (14)$$

W : Peso

m : Masa

g : Gravedad (9,81 m/s²)

Los valores a detalle del cálculo se muestran en la Tabla 9, los cuales fueron registrados con ayuda de las herramientas de medición del software Solidworks.

Tabla 9

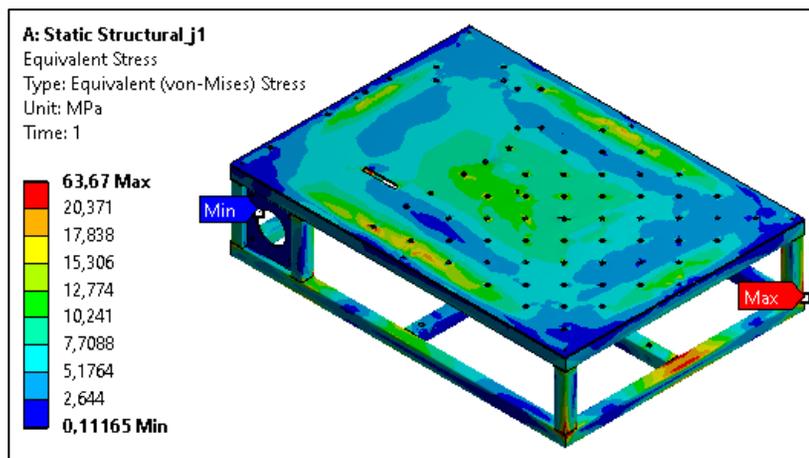
Peso de componentes (Jig1)

Elemento	Cantidad	Masa Total [Kg]	Peso [N]
Clamp para perfiles estructurales	9	2,34	22,95
Clamp para ángulos estructurales	2	0,36	3,53
Tope para ángulos estructurales	2	0,34	3,33
Clamp fijo para placas	1	0,26	2,55
Clamp móvil para Placas	1	0,24	2,35
Tope rectangular	2	0,3	2,94
Clamp neumático (cilindro + accesorios)	2	0,9	8,82
Válvula neumática	1	0,35	3,43
Estructura metálica	1	17,42	170,89
TOTAL			220,79

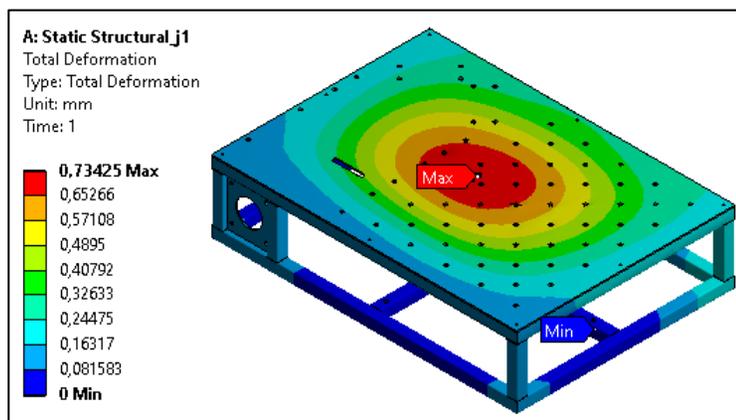
Determinado el peso del jig y en base a las consideraciones de diseño, se realiza un análisis para una carga adicional de 800 Newton (elementos a soldar), considerando de esta manera la situación más crítica en la que puede estar inmerso este sistema. Se muestra los resultados del análisis, esfuerzo equivalente de Von Mises (Figura 105), deformación total (Figura 106), factor de seguridad (Figura 107).

Figura 105

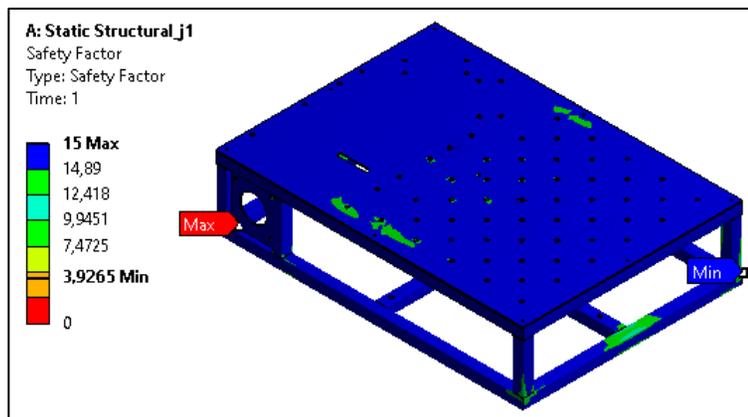
Esfuerzo equivalente de Von Mises de Jig1



Nota. Como se puede apreciar el esfuerzo máximo generado es de 63,67 MPa, valor que es inferior a la resistencia de cedencia del acero ASTM A36 de 250 MPa, por tanto, el diseño es correcto y se puede corroborar con el factor de seguridad.

Figura 106*Deformación total Jig1*

Nota. En cuanto a la deformación que sufre el jig bajo la acción de carga máxima es de 0,73 mm; un valor bajo que no afecta su robustez.

Figura 107*Factor de seguridad Jig1*

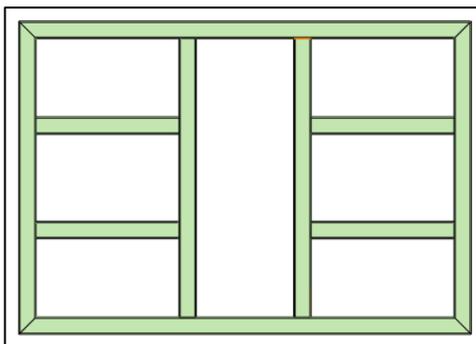
Nota. El factor de seguridad del jig es 3,92; este valor garantiza que la estructura puede soportar el valor de carga máxima especificada sin ningún problema, por ende, el diseño es correcto.

2.4.6. *Diseño Jig 2*

El segundo jig tiene un enfoque de carácter industrial y estará orientado a un producto con un gran volumen de fabricación. En base a las dimensiones ya establecidas para la estructura principal en el ítem 2.5.2 se plantea realizar el marco metálico de la Figura 108.

Figura 108

Marco metálico

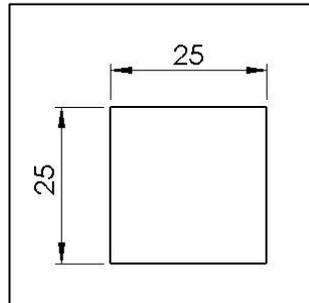


Nota. El marco metálico consta de algunas subdivisiones de manera que se pueda ejecutar varios cordones de soldadura, además esta disposición permitirá utilizar tanto un ajuste mecánico y neumático para las partes a soldar. Las dimensiones y detalles se presentan en el Anexo C2 (Plano 3-004).

Diseño de topes y elementos de sujeción mecánica. De igual manera, antes de iniciar con el diseño de estos elementos se establece una especificación en cuanto a las dimensiones del perfil estructural con el cual se puede trabajar, en este caso un perfil cuadrado de 25 mm por lado como máximo (Figura 109).

Figura 109

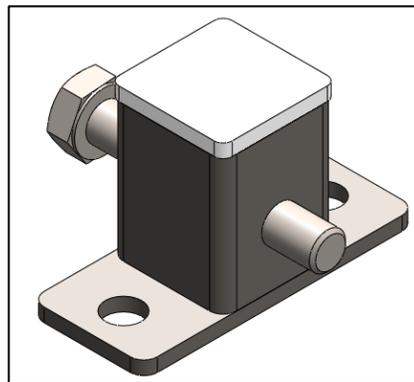
Perfil de trabajo Jig2



En base a la dimensión de dicho perfil se diseña un nuevo clamp (Figura 110) que permita apretar de manera manual las partes metálicas del marco contra un tope rectangular similar al de la Figura 94.

Figura 110

Clamp de ajuste Jig2



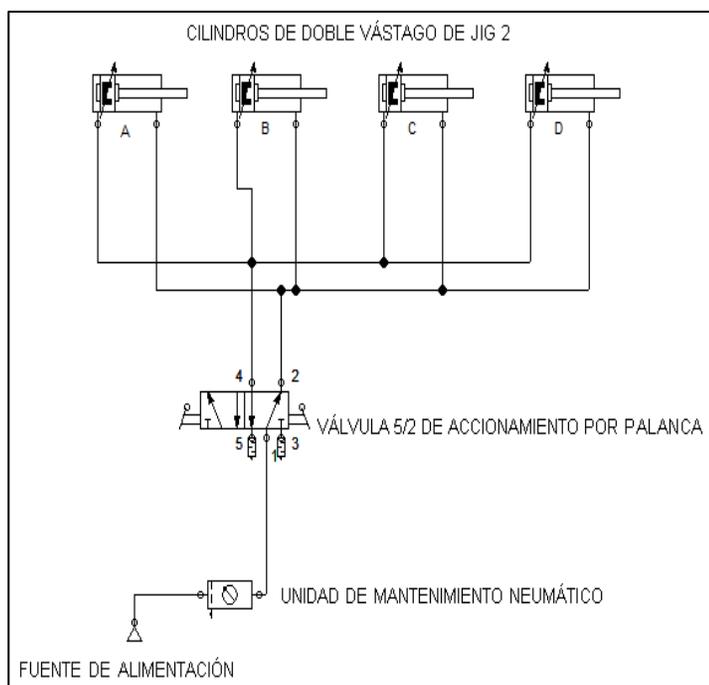
Nota. Este clamp está compuesto de una platina de 3 mm de espesor y un pedazo de perfil cuadrado de 1 pulgada y 2 mm de espesor (Acero ASTM A36); en su interior tiene una tuerca soldada que permitirá un movimiento lineal del perno para ajustar el perfil a soldar contra el tope rectangular, puede revisar el Anexo C2 (Plano 3-003) para más detalles.

Diseño y Selección de Elementos para la Sujeción Neumática. Para el diseño del clamp neumático se consideró el mismo procedimiento desarrollado para el Jig 1, por tanto, se obtiene los mismos resultados y selección de elementos.

Diseño del Circuito Neumático. Al igual que el jig número uno, el control neumático es de similares características, con la diferencia que éste constará de cuatro cilindros neumáticos como se observa en el esquema de la Figura 111.

Figura 111

Circuito neumático Jig2



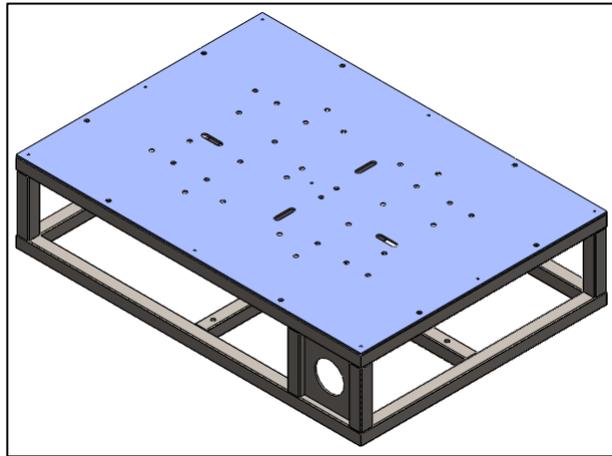
Nota. Circuito neumático para el control de los sujetadores del Jig 2 que consta de 4 cilindros de doble vástago (A, B, C, D).

2.4.7. *Ensamble Jig 2*

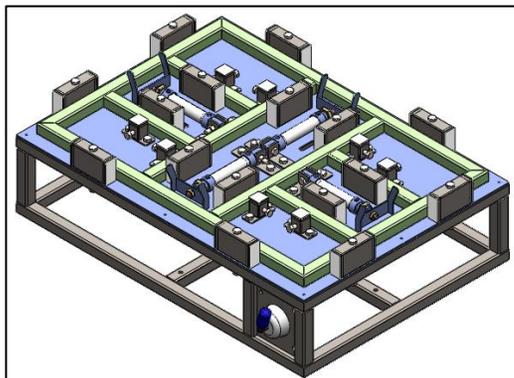
En este ítem se desarrolla el ensamble final de todos los componentes del Jig 2, para ello se realiza agujeros en la placa de acero de manera que se organice los topes rectangulares y clamps de ajuste diseñados para sujetar el marco metálico. La Figura 112 muestra la estructura con todas sus modificaciones y la Figura 113 todos los componentes ensamblados junto con el marco metálico a trabajar.

Figura 112

Estructura Jig2



Nota. Las dimensiones y características de la estructura se presentan en el Anexo C2 (Plano 3-001 y 3-002).

Figura 113*Ensamble Jig2*

Nota. Los componentes de este ensamble se presentan en el Anexo C2 (Plano 3-000).

2.4.8. Validación de Diseño Jig 2

Para realizar el análisis estático del Jig 2 se toma en cuenta el peso de todos los componentes mostrados en el ensamble de la Figura 113, incluido el de la estructura misma. La Ecuación 14 anteriormente descrita permite calcular el peso de cada elemento. Los valores a detalle del cálculo se muestran en la Tabla 10.

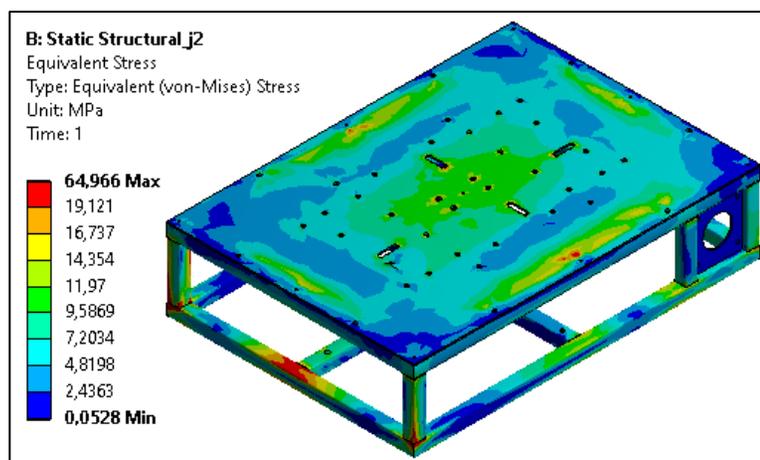
Tabla 10*Peso de componentes (Jig2)*

<i>Elemento</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Masa Total [Kg]</i>	<i>Peso [N]</i>
Clamp de ajuste	8	1,2	11,77
Tope rectangular	16	2,5	24,52
Clamp neumático (cilindro + accesorios)	4	1,8	17,65
Válvula neumática	1	0,35	3,43
Estructura metálica	1	17,43	170,98
TOTAL			228,35

Determinado el peso del segundo jig, se realiza un análisis estático para una carga adicional de 800 Newton, un valor muy superior al peso del marco metálico (50,71 Newton); considerando así la situación más crítica en la que pueden encontrarse tanto el jig como la mesa posicionadora de soldadura. Se presenta los resultados de esfuerzo equivalente de Von Mises (Figura 114), deformación total (Figura 115), factor de seguridad (Figura 116).

Figura 114

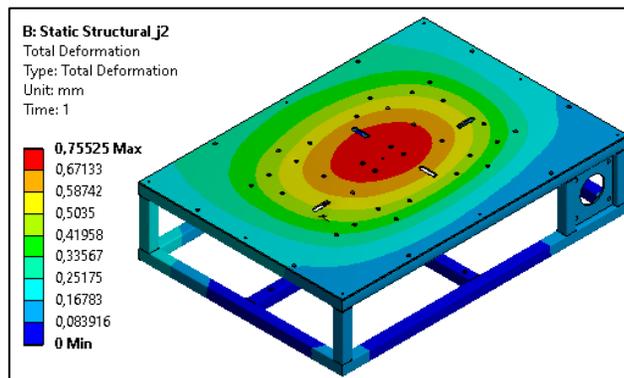
Esfuerzo equivalente de Von Mises de Jig2



Nota. Como se puede apreciar el esfuerzo máximo generado es de 64,96 MPa, valor que es inferior a la resistencia de cedencia del acero ASTM A36 ($S_y = 250$ MPa), por tanto, el diseño es correcto y se puede corroborar con el factor de seguridad.

Figura 115

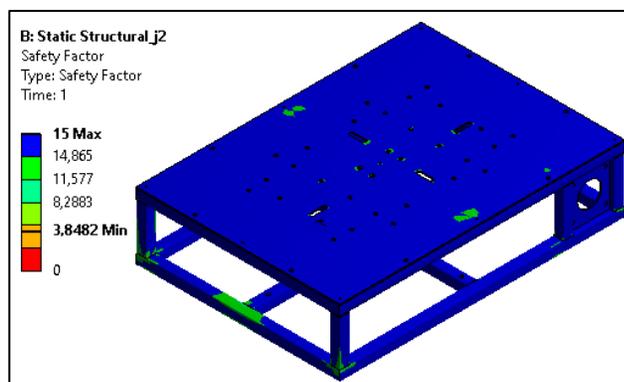
Deformación total Jig2



Nota. En cuanto a la deformación que sufre el jig bajo la acción de carga máxima es de 0,75 mm; un valor bajo que no afecta su robustez.

Figura 116

Factor de seguridad Jig2



Nota. El factor de seguridad del jig es 3,84; este valor garantiza que la estructura puede soportar el valor de carga máxima especificada sin ningún problema, por ende, el diseño es correcto.

CAPITULO III

3. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS

En el presente capítulo se detalla características técnicas, aspectos relacionados a la construcción de los diferentes sistemas y su implementación en la celda robotizada de soldadura del Laboratorio de Robótica Industrial.

3.1. Características de componentes de la Celda Robotizada

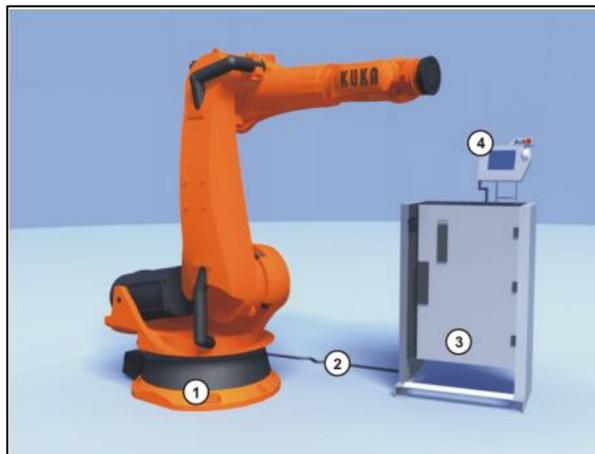
La celda se compone de un brazo robótico de la marca KUKA modelo KR5-ARC ubicado en el centro de la misma, un sistema de soldadura FRONIUS TransPuls Synergic 4000, los dos jigs de soldadura construidos y el sistema de extracción de humos de soldadura implementado.

3.1.1. *Brazo robótico KUKA KR5-ARC*

El brazo robótico KUKA KR5-ARC es un manipulador industrial que permite el acoplamiento de sistemas de soldadura, en este caso, uno de la marca FRONUIS para desarrollar trabajos de soldadura robotizada empleando el proceso MIG/MAG. A continuación, en la Figura 117 se nombra a los componentes del robot.

Figura 117

Componentes del robot KUKA KR5 – ARC



Nota. El KUKA KRC5- ARC consta de manipulador (1), set de cables (2), controlador (3), y un teach pendal o KCP (4). Recuperado de *KUKA KR 5 ARC Operating instructions* (p. 11) por (KUKA, 2014)

Se reconoce también las características técnicas del brazo con el que se está trabajando para evitar daños al momento de su uso, dichas características se encuentran en la Tabla 11, así como también los rangos de movimiento del mismo que se encuentran en la Tabla 12.

Tabla 11

Características técnicas del robot KUKA KR5 – ARC

Característica	Valor
Modelo	KR5 – ARC
Numero de ejes	6
Volumen de trabajo envolvente	8.4 m ³
Repetibilidad (ISO 9283)	± 0.04 mm

Característica	Valor
Peso	127 kg aproximadamente
Índice de Protección del robot	IP 54
Índice de Protección de la muñeca	IP 65
Nivel de sonido	< 75 dB
Temperatura de operación	283 K a 328 K (10 °C a 55 °C)
Temperatura de puesta en marcha	283 K a 288 K (10 °C a 15 °C)

Nota. Se recopila las principales características técnicas del robot de la celda.

Recuperado de *KUKA KR5-ARC Operating instructions* (p.15) por (KUKA, 2014)

Tabla 12

Rangos de movimiento de los ejes del robot KUKA KR5 – ARC

Eje	Rango de movimiento
1	+/- 155°
2	+65° a -180°
3	+158° a -15°
4	+/- 350°
5	+/- 130°
6	+/- 350°

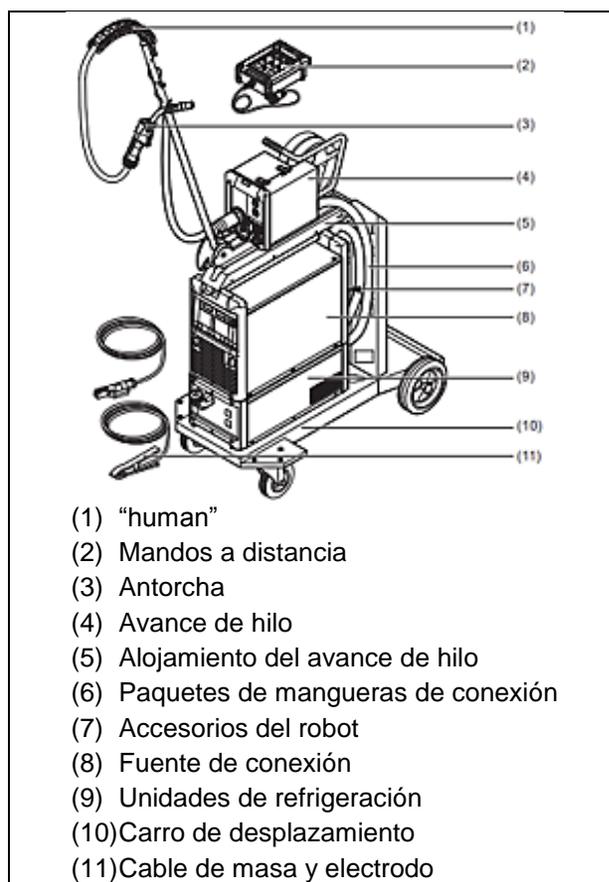
Nota. Recuperado de *KUKA KR5-ARC Operating Instructions* (p.16) por (KUKA, 2014)

3.1.2. Sistema de soldadura FRONIUS TransPuls Synergic 4000

El sistema TransPuls Synergic 4000 lo define (FRONIUS INTERNATIONAL, 2011) como: “una fuente de corriente de inversor controladas por microprocesador completamente digitalizadas” (p. 25). Sus características técnicas se muestran en la Tabla 13, mientras que sus componentes se observan en la Figura 118.

Figura 118

Componentes sistema FRONIUS TransPuls Synergic 4000



Nota. Recuperado de *Manual de operación de soldadura* (p. 32) por (FRONIUS INTERNATIONAL, 2011)

Tabla 13

Características técnicas sistema FRONIUS TransPuls Synergic 4000

Característica	Valor
Tensión de red	Trifásica 400V
Tolerancia de la red	+/- 15%
Frecuencia de la red	50 / 60 Hz
Fusible de red	35 A, de acción lenta
Corrientes primarias	26 A
Potencia primaria	12.2 KVA
Rendimiento	88%
Margen de corriente de soldadura MIG/MAG	3-400 A
Máxima tensión de soldadura	48 V
Tensión de marcha sin carga	70 V
Tipo de protección	IP 23
Peso	35.6 Kg

Nota. Extraído de *Manuel de operación de soldadura* (p. 208) por (FRONIUS INTERNATIONAL, 2011)

3.1.3. Sistema de extracción de humos

Los datos técnicos del sistema implementado se muestran en la Tabla 14, y sus características se enuncian a continuación:

- Brazo articulado de 1250 mm de longitud
- Ducto flexible de aluminio de 200 mm de diámetro
- Estructura de acero galvanizado de 0,9 mm de espesor

- Sistema móvil provisto de ruedas y aza para facilitar su movimiento
- Cuadro de mando provisto de indicadores luminosos de funcionamiento y de advertencia de falla eléctrica.
- Sección de filtración de dos etapas, compuesto por un pre filtro de aluminio y un filtro de cartón clase MERV 13 según norma ASHRAE.

Tabla 14*Datos técnicos extractor de humos*

Característica	Valor
Caudal de trabajo	1200 m^3/h (750 cfm)
Caudal máximo	3100 m^3/h
RPM	2500 rpm
Superficie filtrante	0.61 m^2
Ruido	59 db
Voltaje	Trifásico de 220v
Frecuencia	60 Hz
Amperaje	1.87 A
Potencia	0.5 hp (0.37 Kw)

Nota. Se describen los datos técnicos del sistema implementado, estos datos se encuentran en el Anexo B3.4 correspondiente a las características del ventilador.

3.1.4. Jigs de soldadura

La celda cuenta con dos jigs de soldadura, uno para prácticas de laboratorio con segmentos pequeños de perfiles estructurales y el segundo para construcción de

marcos metálicos, los datos técnicos de los jigs se encuentran en la Tabla 15 y los diseños implementados en la Figura 119. A continuación, se describen características de los mismos:

- Estructura robusta de acero estructural ASTM A36 con perfiles cuadrados de 1 pulgada y 1.5 mm de espesor
- Clamps de sujeción neumática
- Clamps de sujeción mecánica
- Válvula 5/2 de apertura y cierre por palanca
- Cilindros de doble efecto

Figura 119

Jigs de soldadura implementados en la celda robotizada

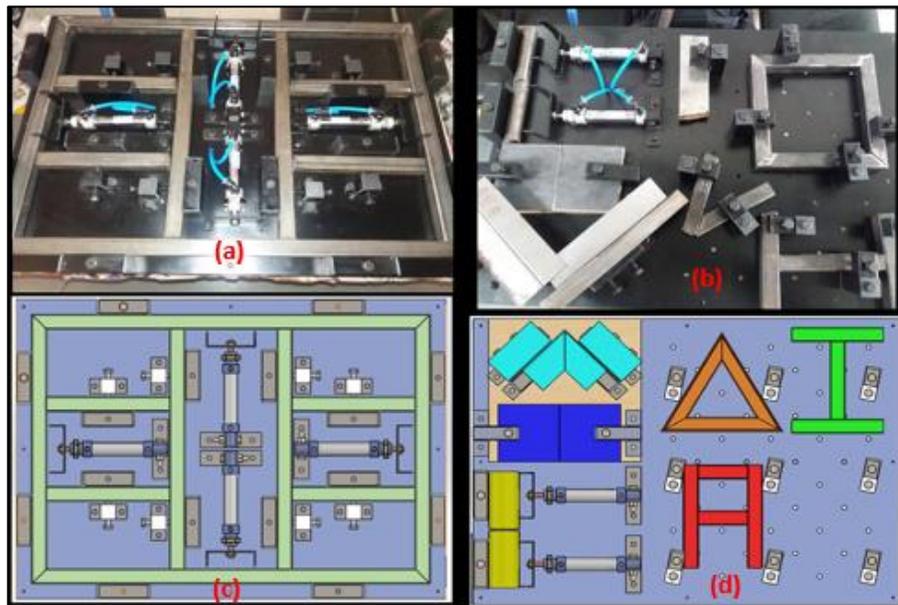


Tabla 15*Datos técnicos Jig de soldadura*

Característica	Valor
Peso	22,8 kg
Presión de trabajo	2 a 3 bares (0,2 – 0,3 MPa)
Presión máxima	10 bares (1 MPa)
Tamaño de perfil estructural mínimo recomendado	Acorde al jig a utilizar
Tamaño de perfil estructural máximo recomendado	Acorde al jig a utilizar
Capacidad máxima de carga	75 kg

3.2. Implementación y construcción del sistema de extracción de humos

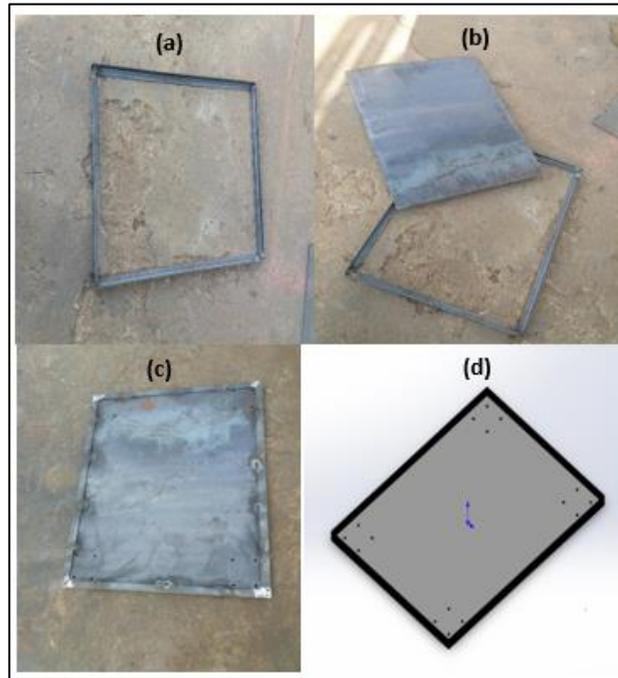
Una vez finalizado la etapa de diseño y especificado las características del extractor se procede a la construcción del mismo.

3.2.1. Base de la estructura principal

En la Figura 120 (c) se observa la base del sistema extractor de humos, misma que fue realizada utilizando un perfil estructural tipo ángulo de 1 pulgada, 3 mm de espesor y una placa de acero de igual espesor, mientras que en la Figura 120 (d) se observa su diseño en Solidworks.

Figura 120

Construcción de la base de la estructura principal



Nota. Se observa en la imagen (a) estructura con ángulo de 1 pulgada, 3 mm de espesor, (b) plancha de 3 mm, (c) aspecto físico de la estructura base, (d) diseño en SolidWorks.

3.2.2. Carcasa exterior de la estructura principal

En la Figura 121 se muestra la construcción de la carcasa exterior en chapa metálica de acero galvanizado 0,9 mm de espesor para el extractor de humos. En la Figura 122 (a) su aspecto físico y en la 122 (b) su diseño en SolidWorks.

Figura 121

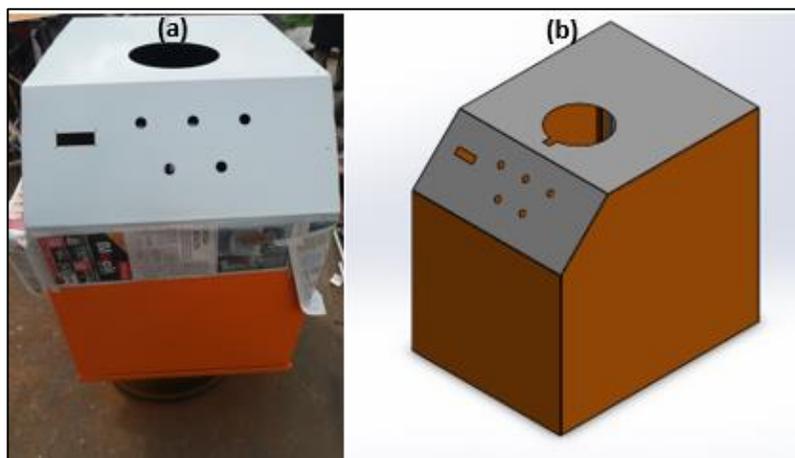
Construcción de la carcasa del extractor de humos



Nota. Las figuras (a) y (b) muestra el corte en la plancha de acero galvanizado, (c) el doblado de la estructura y (d) su aspecto aun sin aplicar pintura.

Figura 122

Carcasa del extractor de humos



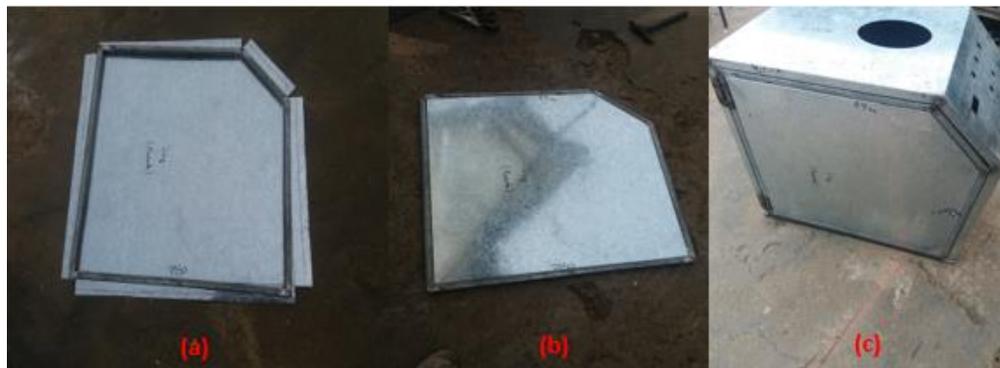
Nota. Se muestra en (a) la carcasa exterior en su aspecto físico y en (b) su diseño en Solidworks.

Puerta de acceso para la carcasa exterior. Se necesita construir una puerta de acceso hacia el interior de la carcasa, puesto que en este lugar está colocado el ventilador, motor, elementos de control, filtros y dichos elementos deben tener un mantenimiento periódico.

En la Figura 123 (a) y (b) se muestra la fabricación de la misma compuesta por un marco de tubos de 3/4 de pulgada y una plancha de acero galvanizado de 0.9mm de espesor; mientras que en la figura 123 (c) están ensamblados los componentes.

Figura 123

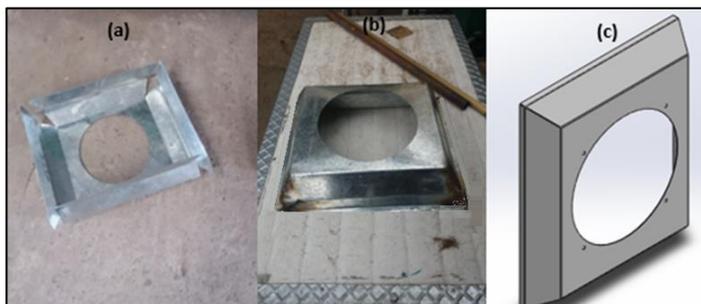
Tapa de carcasa



Nota. Se muestra en la figura (a) marco y plancha, (b) puerta armada, (c) puerta ensamblada en la carcasa.

3.2.3. Campana de extracción

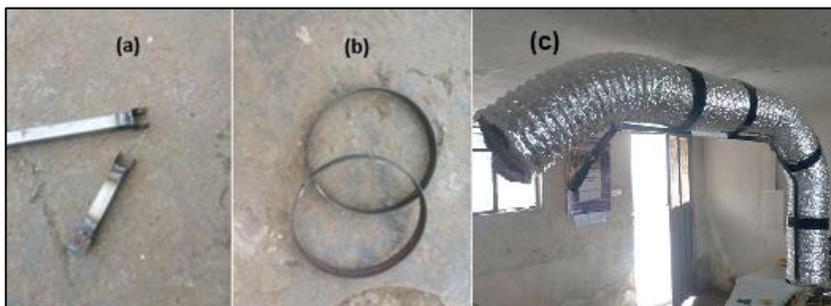
En la Figura 124 (a) se observa la construcción de la campana de extracción mientras que en la Figura 124 (c) su diseño en SolidWorks.

Figura 124*Campana de extractor*

Nota. Se muestra en (a) el corte de la plancha, en (b) la campana soldada y (c) el diseño

3.2.4. *Brazo de extracción*

En la Figura 125 (a) se muestra la construcción del brazo que cuenta con anillos de soporte para el ducto de aspiración, mientras que en la Figura 125 (b), se observa su aspecto final.

Figura 125*Brazo del sistema de extracción*

Nota. Se muestra en la Figura (a) los tubos que forman las articulaciones del brazo, mientras que en (b) los anillos de soporte para el ducto y finalmente en (c) su aspecto físico final en el extractor.

3.2.5. Motor y filtros

El motor y filtros se adquirió en la empresa CLIMAPOWERS (Quito – Ecuador), además de la caja manejadora para incluir los filtros y así poder retirarlos cuando se requiera su cambio de una manera sencilla. El motor y filtros se encuentran dentro de la caja manejadora la cual se colocó dentro de la estructura principal del sistema de extracción como se muestra en la Figura 126 (a) y (b).

Tanto el pre filtro como el filtro se colocan después de la manga extractora, como lo indica la Figura 126 (c) y (d).

Figura 126

Ubicación de motor y filtros en el sistema



Nota. Se muestra en la imagen (a) sitio donde se sitúa la caja manejadora, (b) motor y ventilador centrífugo de la marca TECNIFAN, (c) pre filtro de aluminio y de cartón MERV 13 y finalmente en (d) ubicación de filtros en el sistema.

3.2.6. Control del sistema de extracción de humos

Finalizado la construcción de las partes mecánicas del extractor de humos, se procede con la implementación de la parte eléctrica y de control del sistema cuyos elementos se muestran en la Figura 127. Los componentes se encuentran ubicados en la parte posterior de la carcasa, mientras que los elementos del panel de control en la parte frontal de la misma y se describen en la Figura 128.

Figura 127

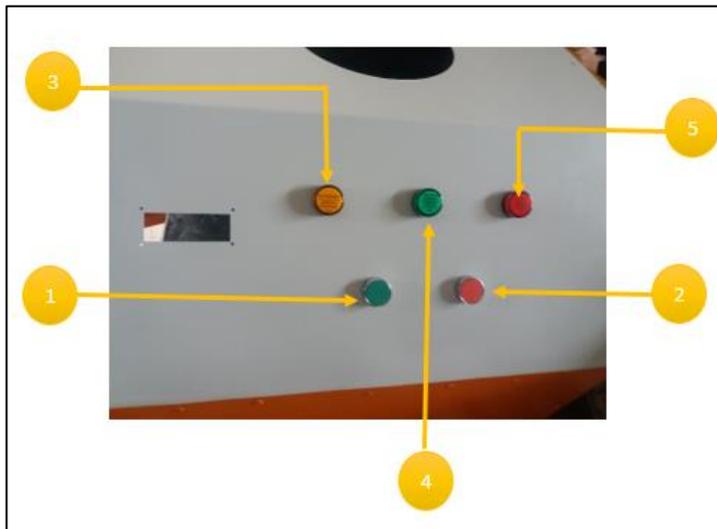
Componentes eléctricos del control del extractor



Nota. En la Figura se muestra (1) Interruptor termo magnético, (2) Contactor (3) Relé térmico.

Figura 128

Elementos del panel de control del extractor



Nota. En la Figura se muestra el panel de control del extractor (1) pulsador de marcha, (2) Pulsador de paro de emergencia, (3) Luz piloto de advertencia por falla de relé térmico, (4) Luz piloto de puesta en marcha del sistema, (5) Luz piloto del paro del sistema.

3.2.7. Circuito contador de horas

Se construye el circuito y se desarrolla una simulación del registro de tiempo a fin de garantizar un correcto funcionamiento. En la Figura 129 se puede observar el LCD que muestra las horas actuales de funcionamiento y el valor total de horas registrado durante todo el tiempo que ha estado operando el equipo, cabe mencionar que el valor se muestra en fracción de horas, por ejemplo: 1.5 horas equivale a 1 hora y 30 minutos. Aplicando un factor de conversión puede transformar la fracción de hora a minutos de la siguiente manera:

$$0.5 \text{ horas} \times \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} = 30 \text{ minutos}$$

Figura 129

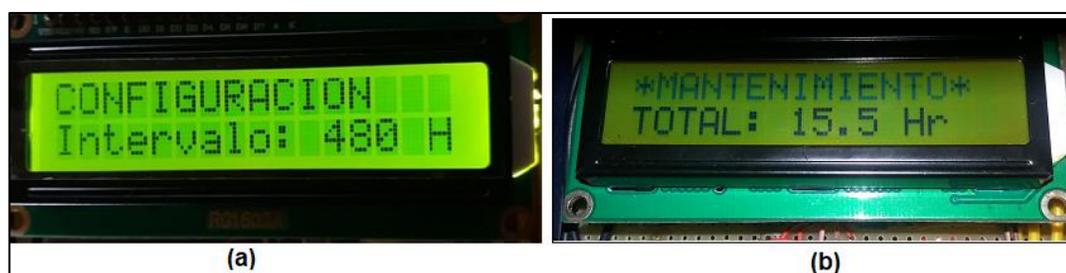
Circuito contador de horas



Con ayuda de los pulsadores puede configurar el intervalo de horas para la acción de mantenimiento preventivo (por defecto este valor fue fijado en 480 horas), confirmar la acción de mantenimiento para apagar la señal de aviso como se puede observar en la Figura 130.

Figura 130

Opciones del circuito contador de horas



Nota. En la Figura (a) puede observar que el mantenimiento preventivo debe realizarse cumplidas las 480 horas, en la Figura (b) se simula una señal de mantenimiento a las 15,5 horas.

3.3. Jigs de soldadura

La estructura de los dos jigs de soldadura está compuesta de una placa de acero ASTM A36 de 3 mm de espesor y perfiles metálicos cuadrados de 1 pulgada 1,5 mm de espesor (Ver Figura 132).

Figura 131

Placa y estructura de jigs de soldadura



Posteriormente se remacha la placa en la estructura, se aplica una capa de fondo automotriz y pintura (Ver Figura 132).

Figura 132

Estructuras de Jig1 y Jig 2



3.3.1. Jig 1

Se construye los diferentes topes y clamps de ajuste previamente diseñados (Figura 133), se utilizó perfiles cuadrados de 1 pulgada 2 mm de espesor, perfiles rectangulares de 1 x 2 pulgadas 1,5 mm de espesor y platinas de 1 pulgada 3 mm de espesor, además de tuercas y pernos de 8 mm (o su equivalente 5/16 de pulgada).

Figura 133

Topes y clamps de Jig1 construidos



Del mismo modo se procede con los clamps neumáticos a ser utilizados para sujetar los perfiles estructurales, en la Figura 134 puede observar los elementos y ensamble del clamp.

Figura 134

Clamp neumático construido



Finalmente, todos los elementos se fijan en el jig con ayuda de pernos y tuercas de 8 mm (5/16 de pulgada) como se observa en la Figura 135.

Figura 135

Jig1 construido

**3.3.2. Jig 2**

Los clamps y topes que serán utilizados en el Jig2 se puede observar en la Figura 136, estan contruidos de segmentos de perfiles cuadrados de 1 pulgada 2 mm

de espesor, perfiles rectangulares de 1 x 2 pulgadas 1,5 mm de espesor, platinas de 1 pulgada 3 mm de espesor, pernos y tuercas de 8 mm (5/16 de pulgada).

Figura 136

Topes y clamps de Jig2 contruidos



Junto con los clamps neumáticos ya descritos se procede a ensamblar todos los elementos de este jig como se puede apreciar en la Figura 137.

Figura 137

Jig2 construido



CAPITULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se describe las pruebas realizadas en el sistema de extracción de humos para verificar su punto óptimo de funcionamiento, se desarrolla pruebas de sujeción de piezas a soldar para los jigs y una aplicación con los sistemas implementados en la celda robotizada para evaluar el ambiente de trabajo y verificar la eficiencia del extractor de humos.

4.1. Sistema de Extracción de Humos

Una vez construido el extractor de humos, se procede a realizar varias pruebas con el fin de determinar las mejores condiciones de funcionamiento. En este caso, el conjunto de pruebas se realizó con el objetivo de determinar la distancia máxima de absorción de la campana extractora (Figura 138), dando como resultado que la máxima distancia recomendable para una absorción eficiente es de 45 cm, no por eso el sistema deja de absorber a distancia más grandes, pero de ser este caso, el tiempo de absorción es mayor debido a que la columna de humo tarda en ascender hasta el punto en el que el sistema capte por completo la muestra, por ende no es recomendable ya que se busca una aspiración rápida e impedir la contaminación del ambiente de trabajo.

Hay que tener en cuenta que el mayor desempeño se logra enfocando la campana de aspiración directamente al punto de contaminación, caso contrario se pierde eficiencia para la absorción. Debido a que el sistema se diseñó para una distancia de 25 cm y cumple con la absorción con valores mayores, se considera satisfactoria la prueba de capacidad de absorción.

En la Tabla 16 se muestra los resultados de pruebas realizadas y se establece un criterio de evaluación para la calidad de absorción del extractor de la siguiente manera:

- *Excelente*: Captación entre el 90 y 100% de la columna de humo generada por un cordón de soldadura.
- *Muy Bueno*: Captación entre el 80 y 89,99% de la columna de humo generada por un cordón de soldadura.
- *Bueno*: Captación entre el 60 y 79,99% de la columna de humo generada por un cordón de soldadura.
- *No recomendable*: Captación menor al 60% de la columna de humo generada por un cordón de soldadura

Tabla 16

Pruebas de capacidad de absorción del sistema de extracción

Distancia de absorción (cm)	Criterio de evaluación
10	Excelente
15	Excelente
20	Excelente
25	Excelente
30	Muy Bueno
35	Muy Bueno
40	Muy Bueno
45	Muy Bueno
50	Bueno
55	Bueno

Distancia de absorción (cm)	Criterio de evaluación
60	Bueno
65	Bueno
70	No Recomendable
75	No Recomendable
80	No Recomendable

Figura 138

Pruebas del sistema de extracción de humos



Nota. En la imagen se puede observar como la campana de aspiración extrae el humo generado en el proceso de soldadura.

4.1.1 Prueba circuito contador de horas

Se realizan pruebas en el circuito para verificar su correcto funcionamiento puesto que es una herramienta de aviso para realizar la actividad de mantenimiento preventivo en el extractor de humos. Se simula un valor de horas en el microprocesador y se verifica que proporcione correctamente la señal para activar el relé y por ende

energizar la luz piloto de advertencia como se observa en la Figura 139. En la Tabla 17 se muestra las pruebas realizadas y su resultado.

Figura 139

Simulación de luz piloto de advertencia



Tabla 17

Pruebas de funcionamiento de circuito contador de horas

N° Prueba	Señal
Prueba 1	Correcto
Prueba 2	Correcto
Prueba 3	Correcto
Prueba 4	Correcto
Prueba 5	Correcto
Prueba 6	Correcto
Prueba 7	Correcto
Prueba 8	Correcto
Prueba 9	Correcto

N° Prueba	Señal
Prueba 10	Correcto

Nota. Se comprueba el correcto funcionamiento del circuito al enviar la señal al relé de activación de luz piloto.

4.2. Jigs de soldadura

En lo que respecta a los jigs de soldadura se realizan pruebas para comprobar una correcta sujeción de perfiles metálicos por parte de los clamps mecánicos y neumáticos (Figura 140). En la Tabla 18 se muestra los resultados del Jig 1 para perfiles rectangulares de hasta 1 x 2 pulgadas y circulares de hasta 2 pulgadas.

Tabla 18

Pruebas de sujeción Jig1

JIG 1				
	Perfil rectangular	Perfil circular	Placas	Ángulos
Clamp neumático	Correcto	Correcto	N/A	N/A
Clamp perfil estructural	Correcto	Correcto	N/A	N/A
Clamp para placas	N/A	N/A	Correcto	N/A
Clamp para ángulos	N/A	N/A	N/A	Correcto

Nota. En el caso del clamp neumático se trabajó con una presión de 3 bares, mientras que los clamp mecánicos se ajustaron manualmente.

Figura 140

Sujeción de piezas metálicas Jig1



Nota. Se observa una sujeción de perfiles circulares, rectangulares, placas y ángulos de los diferentes clamps.

En el caso del Jig2 se realiza una prueba similar de sujeción para perfiles cuadrados de hasta 1 pulgada (Figura 141). Los resultados se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19

Pruebas de sujeción Jig2

JIG 2		
	Perfil cuadrado (3/4 pulgada)	Perfil cuadrado (1 pulgada)
Clamp neumático	Correcto	Correcto
Clamp perfil estructural	Correcto	Correcto

Nota. En el caso del clamp neumático se trabajó con una presión de 3 bares, mientras que los clamps mecánicos se ajustaron manualmente.

Figura 141

Sujeción de piezas metálicas Jig2



Nota. Se observa la sujeción de perfiles cuadrados máximo de 1 pulgada.

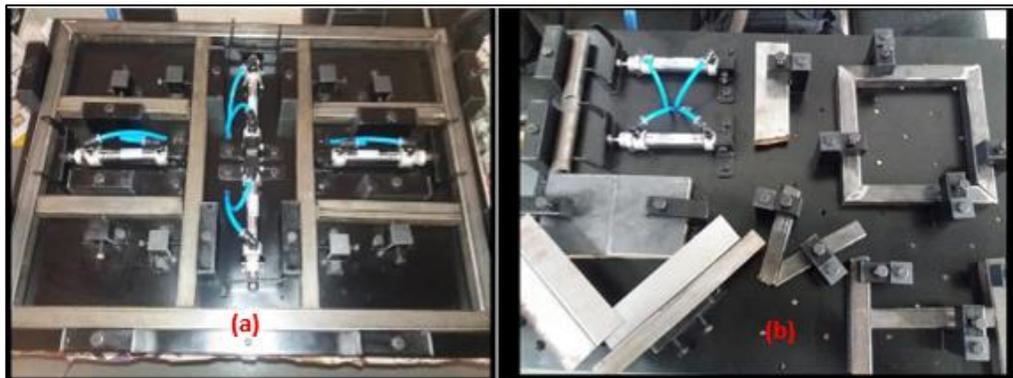
4.3. Aplicación de soldadura con sistemas implementados

Una vez verificado el correcto funcionamiento del extractor y jigs de soldadura se procede a realizar una aplicación con los mismos, para evaluar el ambiente de trabajo y verificar si el sistema de extracción trabaja adecuadamente.

La aplicación de soldadura robotizada se desarrolló con los dos jigs, a fin de incrementar lo máximo posible la carga de trabajo en la celda de manufactura de soldadura. En la Figura 142 se observa la sujeción de todos los elementos a soldar.

Figura 142

Configuración de Jigs para pruebas de funcionamiento



Nota. En la figura (a) se muestra el jig para elaboración de un marco metálico, mientras que en (b) el jig para soldadura de placas y tubos.

4.3.1. Programación de robot KUKA KR5-Arc para aplicación de soldadura

Una vez establecida la configuración en los jigs, se procede con la programación de los puntos de soldadura en el robot KUKA KR5-ARC, debido a que existen diferentes espesores en los materiales utilizados, es necesario programar el sistema FRONIUS con los debidos parámetros de soldadura antes de realizar el programa.

El sistema FRONIUS permite la configuración de los parámetros de soldadura, dichos parámetros se muestran en la Tabla 22. En el Manual de Usuario (Anexo D1) se detalla paso a paso como colocar estos valores.

Tabla 20

Parámetros de soldadura

Espesor (mm)	Amperaje (A)	Voltaje (V)	Velocidad de alimentación (m/min)	Velocidad de soldadura (cm/min)
0.9	47	10.7	1.8	172
1.5	70	11.7	2.5	170
3	163	13.3	6.2	83

Nota. Se muestra los parámetros de soldadura para acero estructural, material usado en la aplicación de soldadura.

Con los parámetros establecidos en el sistema FRONIUS se procede con la programación de los puntos, en la Figura 143 se observa parte del código utilizado para

esta aplicación, no obstante, en el manual de usuario (Anexo D1) se detalla todos los comandos usados en el programa.

Se verifica el correcto funcionamiento del programa para dar inicio a las pruebas de medición y verificar la emanación de humos (Figura 144 (a)) y la capacidad de extracción de dichos contaminantes (Figura 144 (b)).

Figura 143

Código utilizado en KUKA KR5 – ARC

Archivo	Procesar	Configurar	Indicación	Inicial.	Instrucc.	Tecnología	Ayuda	
1	DEF prueba1_humos()							
2	INI							
3								
4	PTP HOME Ue1=50 % DEFAULT						100%	
5								
6	;jig_cuadro							
7	LIN P1 Ue1=0.25 m/s CPDAT1 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tesis							
8	LIN P2 Ue1=0.25 m/s CPDAT2 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tesis							
9	LIN P3 Ue1=0.25 m/s CPDAT3 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tesis							
10								
11	LIN P104 Ue1= 0.25 m/s CPDAT103 ARC_ON Pgno= 1 S30 Seam30 To							
12	LIN P105 CPDAT104 ARC_OFF Pgno= 1 E1 Seam30 Tool[16]:TORCHA							
13								
14	LIN P6 Ue1=0.5 m/s CPDAT6 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tesis							
15	LIN P7 Ue1= 0.5 m/s CPDAT7 ARC_ON Pgno= 1 S2 Seam2 Tool[16]:							
16	LIN P8 CPDAT8 ARC_OFF Pgno= 1 E1 Seam2 Tool[16]:TORCHA RA400							
17	LIN P9 Ue1=0.5 m/s CPDAT9 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tesis							
18	LIN P10 Ue1=0.5 m/s CPDAT10 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tes							
19	LIN P11 Ue1= 0.5 m/s CPDAT11 ARC_ON Pgno= 1 S3 Seam3 Tool[16]							
KRC:\R1\TESISEXTRACTOR\PRUEBA1_HUMOS.: Ln 12, Col 3								
C...	Tiempo	No	Abs.	Mensaje				100%
!	13:27:20	1356	KCP	SE NECESITA TECLA DE ARRANQUE				
!	13:27:59	1350	/R1/...	COI ALCANZADA				
!	13:38:34	200	KS	ACCIONAMIENTOS NO PREPARADOS				
!	13:41:17	120	LOS	El usuario conectado ha cambiado de Operador a Programador experto.				
Num	Cap	S	R	T1	HOV 100%	Celda1	13:43	
Modificar	Movimiento	Fold abrir/cerrar	Ultima Instr.	Cerrar	NAVEGADOR			

Nota. Se muestra el código implementado en la aplicación de soldadura.

Figura 144

Pruebas de funcionamiento del sistema de extracción de humos y jigs



Nota. La figura muestra en (a) prueba de soldadura y contaminación de los humos emitido en el proceso y en (b) el sistema actuando sobre la emanación producida.

Culminada la etapa de pruebas, se procede a evaluar el ambiente de trabajo utilizando la información del reporte de la nueva medición de los contaminantes generados en el proceso de soldadura.

4.4. Evaluación del ambiente de trabajo

Una vez implementado y puesto a punto de funcionamiento el sistema de extracción de humos de soldadura se procede a realizar la evaluación del ambiente de trabajo, se efectúa una nueva medición de la concentración química de los principales contaminantes producidos durante el proceso de soldadura: Fosfina (PH_3), Monóxido de carbono (CO), Sulfuro de hidrógeno (H_2S).

La empresa HES Consultores lleva a cabo esta actividad de medición y receptado el nuevo informe (Ver Anexo A2), se obtiene los datos de dosis individual y total de los compuestos químicos analizados, mismos que se observa en la Tabla 21.

Tabla 21

Resultado global de la nueva evaluación de humo de soldadura

Puesto	Dosis FOSFINA (PH₃)	Dosis SULFURO DE HIDROGENO (H₂S)	Dosis MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	Dosis Total
Soldadura	0.0	0.00	0.010	0.01

Nota. Recuperado de (HES Consultores, 2021)

Al analizar dichos valores numéricos de concentración, la empresa da a conocer la siguiente conclusión: “se observa que el puesto analizado de soldador con MIG tiene un resultado de dosis acumulada de 0.01 manteniendo los valores de concentración sin superan los límites recomendados. La calidad de aire en ambiente interior es idónea”.

(HES Consultores, 2021)

De manera similar, las recomendaciones a considerar por parte de (HES Consultores, 2021) durante trabajos de soldadura en el laboratorio son:

Por resultados de Dosis total < 1, se recomienda utilizar el sistema de extracción siempre que se utilice el equipo de soldadura.

Pese a que los valores no superan los límites recomendados se recomienda el uso obligatorio de mascarilla con filtro para gases ácidos al personal que ocupa el área de soldadura ya que comparten áreas con otros sistemas que no disponen de medidas de control. Además, capacitar a los trabajadores en el uso del equipo de protección personal y enfermedades de trabajo por sustancias químicas. (p. 15)

Acorde a esta nueva evaluación del ambiente de trabajo se puede evidenciar una notable disminución de la concentración química de los principales contaminantes del proceso de soldadura MIG/MAG gracias a la implementación del sistema de extracción de humos. Además, el criterio emitido por parte de la empresa evaluadora aporta a la validación del proyecto como tal, ya que cumple con los requerimientos fijados al inicio del presente trabajo.

4.5. Validación de Hipótesis

Al analizar los resultados de los informes proporcionados por la empresa se validará la hipótesis tomando en consideración únicamente los componentes que sufrieron una variación en cuanto a su concentración química (fosfina y monóxido de carbono). Para ello se elabora una tabla que relacione la concentración química de cada compuesto antes y después de implementar el sistema de extracción, el porcentaje de disminución obtenido y su respectivo criterio de evaluación acorde al ya mencionado anteriormente para la Tabla 16.

En la Tabla 22 puede observar los resultados obtenidos para la Fosfina y en la Tabla 23 para el Monóxido de carbono.

Tabla 22

Resultados del compuesto Fosfina

Muestra N°	Sin extractor de humos [ppm]	Con extractor de humos [ppm]	Porcentaje de disminución	Criterio de evaluación
1	0,50	0	100%	Excelente
2	0,50	0	100%	Excelente
3	0,50	0	100%	Excelente

Muestra N°	Sin extractor de humos [ppm]	Con extractor de humos [ppm]	Porcentaje de disminución	Criterio de evaluación
4	0,40	0	100%	Excelente
5	0,40	0	100%	Excelente
6	0,40	0	100%	Excelente
7	0,57	0	100%	Excelente
8	0,30	0	100%	Excelente
9	0,40	0	100%	Excelente
10	0,40	0	100%	Excelente
11	0,40	0	100%	Excelente
12	0,40	0	100%	Excelente
13	0,40	0	100%	Excelente
14	0,40	0	100%	Excelente
15	0,40	0	100%	Excelente
16	0,30	0	100%	Excelente
17	0,20	0	100%	Excelente
18	0,30	0	100%	Excelente
19	0,47	0	100%	Excelente
20	0,30	0	100%	Excelente
21	0,30	0	100%	Excelente
22	0,30	0	100%	Excelente
23	0,20	0	100%	Excelente
24	0,30	0	100%	Excelente
25	0,40	0	100%	Excelente

Muestra N°	Sin extractor de humos [ppm]	Con extractor de humos [ppm]	Porcentaje de disminución	Criterio de evaluación
26	0,40	0	100%	Excelente
27	0,50	0	100%	Excelente
28	0,50	0	100%	Excelente
29	0,50	0	100%	Excelente
30	0,50	0	100%	Excelente

Tabla 23

Resultados del compuesto Monóxido de carbono

Muestra N°	Sin extractor de humos [ppm]	Con extractor de humos [ppm]	Porcentaje de disminución	Criterio de evaluación
1	8,00	1,00	87,50%	Muy Bueno
2	9,00	1,00	88,89%	Muy Bueno
3	9,00	1,00	88,89%	Muy Bueno
4	9,00	1,00	88,89%	Muy Bueno
5	9,00	1,00	88,89%	Muy Bueno
6	9,00	1,00	88,89%	Muy Bueno
7	9,00	1,00	88,89%	Muy Bueno
8	9,00	1,00	88,89%	Muy Bueno
9	9,00	1,00	88,89%	Muy Bueno
10	9,00	1,00	88,89%	Muy Bueno
11	9,00	1,00	88,89%	Muy Bueno
12	9,00	1,00	88,89%	Muy Bueno

Muestra N°	Sin extractor de humos [ppm]	Con extractor de humos [ppm]	Porcentaje de disminución	Criterio de evaluación
13	9,00	1,00	88,89%	Muy Bueno
14	9,00	1,00	88,89%	Muy Bueno
15	10,00	1,00	90,00%	Excelente
16	10,00	1,00	90,00%	Excelente
17	10,00	1,00	90,00%	Excelente
18	10,00	1,00	90,00%	Excelente
19	10,00	1,00	90,00%	Excelente
20	10,00	1,00	90,00%	Excelente
21	10,00	1,00	90,00%	Excelente
22	10,00	1,00	90,00%	Excelente
23	10,00	1,00	90,00%	Excelente
24	10,00	1,00	90,00%	Excelente
25	10,00	1,00	90,00%	Excelente
26	10,00	1,00	90,00%	Excelente
27	10,00	1,00	90,00%	Excelente
28	10,00	1,00	90,00%	Excelente
29	10,00	1,00	90,00%	Excelente
30	10,00	1,00	90,00%	Excelente

Se elabora la Tabla 24 considerando los criterios de evaluación (excelente, muy bueno) para validar la hipótesis mediante el método de Chi-cuadrado. La hipótesis nula (H_0) e hipótesis alternativa (H_1) a evaluar son:

- **Ho:** El sistema de extracción no reducirá los contaminantes en la Celda de Soldadura.
- **Hi:** El sistema de extracción reducirá los contaminantes en la Celda de Soldadura.

Tabla 24

Resultados para validación de hipótesis

Compuesto Resultado	Fosfina	Monóxido de carbono	TOTAL
Excelente	30	16	46
Muy Bueno	0	14	14
TOTAL	30	30	60

Se procede a calcular las frecuencias teóricas a partir de la ecuación:

$$f_t = \frac{(Total\ fila\ i) \times (Total\ columna\ j)}{Total\ de\ datos}$$

$$30 \rightarrow f_t = \frac{30 \times 46}{60} = 23$$

$$16 \rightarrow f_t = \frac{30 \times 46}{60} = 23$$

$$0 \rightarrow f_t = \frac{30 \times 14}{60} = 7$$

$$14 \rightarrow f_t = \frac{30 \times 14}{60} = 7$$

Se calcula el valor de Chi-cuadrado:

$$x_c^2 = \sum \frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$$

Dónde:

f_o : Frecuencia observada (Datos de Tabla 24)

f_t : Frecuencia teórica

$$x_c^2 = \frac{(30 - 23)^2}{23} + \frac{(16 - 23)^2}{23} + \frac{(0 - 7)^2}{7} + \frac{(14 - 7)^2}{7}$$

$$x_c^2 = \mathbf{18,2608}$$

Ahora se procede a encontrar el valor de Chi-cuadrado en su tabla de distribución (Figura 145), para ello se define un nivel de significancia de 0,05 y se calcula los grados de libertad acorde a la siguiente ecuación:

$$gl = (n^\circ \text{ filas} - 1) \times (n^\circ \text{ columnas} - 1)$$

$$gl = (2 - 1) \times (2 - 1)$$

$$gl = 1$$

Entonces con un nivel de significancia de 0,05 y un grado de libertad se tiene un valor $x_t^2 = \mathbf{3,841}$.

Como el valor de Chi-cuadrado calculado es mayor al valor de tabla entonces se rechaza la hipótesis nula. Por ende, la hipótesis alternativa es aceptada y se concluye que el sistema de extracción reduce los contaminantes en la celda de soldadura.

Figura 145

Tabla de distribución Chi – Cuadrado

Grados de libertad, <i>gl</i>	Área de cola derecha			
	0.10	0.05	0.02	0.01
1	2.706	3.841	5.412	6.635
2	4.605	5.991	7.824	9.210
3	6.251	7.815	9.837	11.345
4	7.779	9.488	11.668	13.277
5	9.236	11.070	13.388	15.086
6	10.645	12.592	15.033	16.812
7	12.017	14.067	16.622	18.475
8	13.362	15.507	18.168	20.090
9	14.684	16.919	19.679	21.666
10	15.987	18.307	21.161	23.209
11	17.275	19.675	22.618	24.725
12	18.549	21.026	24.054	26.217
13	19.812	22.362	25.472	27.688
14	21.064	23.685	26.873	29.141
15	22.307	24.996	28.259	30.578
16	23.542	26.296	29.633	32.000
17	24.769	27.587	30.995	33.409
18	25.989	28.869	32.346	34.805
19	27.204	30.144	33.687	36.191
20	28.412	31.410	35.020	37.566
21	29.615	32.671	36.343	38.932
22	30.813	33.924	37.659	40.289
23	32.007	35.172	38.968	41.638
24	33.196	36.415	40.270	42.980
25	34.382	37.652	41.566	44.314
26	35.563	38.885	42.856	45.642
27	36.741	40.113	44.140	46.963
28	37.916	41.337	45.419	48.278
29	39.087	42.557	46.693	49.588
30	40.256	43.773	47.962	50.892

Nota. Tomado de *Estadística aplicada a los negocios y la economía* (p. 787), por (Lind, Marchal, & Wathen, 2008), McGRAW – HILL.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se diseñó e implementó un sistema de extracción localizada de humos en la celda robotizada de soldadura del Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE – L, cumpliendo con las especificaciones técnicas proporcionadas en diferentes manuales de ventilación industrial, logrando disminuir la concentración química de contaminantes producidos durante un proceso de soldadura robotizada MIG/MAG al emplear acero estructural y acero galvanizado.

Se llevó a cabo un levantamiento de línea base de la celda robotizada, se determinó que principalmente intervienen dos contaminantes en el proceso de soldadura robotizada MIG/MAG. Fosfina, con una concentración promedio de 0.39 ppm, valor que supera el límite de umbral y media ponderada en el tiempo igual a 0.05 ppm. Monóxido de carbono, con una concentración promedio de 9.53 ppm, valor inferior al límite de umbral de 35 ppm. Dichas cantidades conllevan a una dosis de concentración total $D = 3.05$ en la estación de soldadura.

Una vez implementado el sistema de extracción localizada de humos de soldadura, se evidenció una reducción del 100% en cuanto al compuesto Fosfina, ya que su valor de concentración final fue de 0.0 ppm. Mientras que el Monóxido de carbono disminuyó en un 89.44% ya que se obtuvo una concentración de 1.0 ppm. Entonces, se concluye que el sistema de extracción localizada de humos de soldadura

alcanza una eficiencia del 94,72% en su tarea de disminuir y filtrar los contaminantes producidos durante el proceso de soldadura robotizada MIG/MAG.

El sistema de extracción localizada de humos de soldadura trabaja con un ventilador tipo centrifugo con un caudal de absorción de 1200 m³/h y un manejo de pérdidas de carga de 27,686 mm c.d.a. La fuerza motriz para accionar el ventilador es proporcionada por un sistema de transmisión por poleas y un motor WEG W22, Carcasa 71, con una potencia de 0,5 HP (0,37 KW), 1700 RPM, alimentado por un voltaje trifásico a 220 voltios.

La etapa de filtrado del sistema de extracción de humos está compuesta por un pre filtro de aluminio y un filtro principal tipo MERV 13 que tiene una eficiencia de hasta el 90% para retener las partículas contaminantes generadas en el proceso de soldadura robotizada MIG/MAG.

El brazo de extracción del equipo está conformado por un ducto flexible de aluminio de 200 mm de diámetro, mismo que tiene soporte gracias a la estructura mecánica fabricada a base de acero estructural ASTM A36, material económico, de fácil adquisición y ampliamente utilizado en ingeniería. El brazo tiene un alcance máximo de 1250 mm, puesto que fue diseñado acorde a las dimensiones de la celda robotizada y considerando un trabajo en conjunto con el resto de componentes como el brazo robótico KUKA KR5 – ARC, mesa posicionadora y jigs de soldadura.

Se diseñó e implementó dos jigs de soldadura para trabajar en conjunto con la mesa posicionadora del laboratorio, dichas estructuras mecánicas brindan sujeción y soporte de las piezas a soldar; cada jig tiene una dimensión de 700 mm de ancho x 500 mm de largo x 200 mm de altura y una capacidad de carga máxima de hasta 75 Kg. El Jig1 fue diseñado con el objetivo de realizar prácticas de soldadura robotizada MIG/MAG y se puede utilizar perfiles rectangulares, cuadrados, circulares, ángulos y placas. Mientras que el Jig2 fue diseñado para elaborar marcos metálicos y admite perfiles cuadrados de hasta 25 mm.

El tipo de sujeción empleada para ambos jigs fue mecánica y neumática. Al utilizar una sujeción mecánica es posible el diseño de diversos clamps para ajustar manualmente distintas piezas metálicas. Por otro lado, en la sujeción neumática se necesita de un cilindro que permita realizar el ajuste y liberación de los componentes, razón por la cual se ocupa un mayor espacio en la mesa de trabajo, pero el montaje y desmontaje es más rápido. Al aplicar estos dos tipos de sujeción para los elementos a soldar fue posible utilizar las diferentes opciones de programación de trayectorias de soldadura que presta el controlador del brazo robótico KUKA KR5 – ARC.

Se elaboró un manual de usuario que detalla características técnicas del sistema de extracción de humos y jigs de soldadura, indicaciones para una correcta puesta en marcha y operación, acciones de mantenimiento preventivo y correctivo, posibles fallas y soluciones a considerar.

5.2. Recomendaciones

Utilizar el sistema de extracción de humos al momento de desarrollar prácticas de soldadura robotizada, de esta manera mantiene libre de contaminación el ambiente de trabajo y salvaguarda la seguridad de los usuarios del Laboratorio de Robótica Industrial.

Realizar una medición de los contaminantes producidos en la estación de soldadura una vez al año, a fin de constatar que la dosis total de concentración se mantenga menor a 1 que es el valor recomendado y se verifique que el sistema de extracción mantenga su eficiencia.

Realizar una acción de mantenimiento preventivo del sistema de extracción de humos de soldadura mediante inspección visual, principalmente del sistema de filtros y ducto de aspiración cada 3 meses (480 horas). Posterior a los 12 meses (1900 horas) de funcionamiento cambiar los filtros del sistema, ya que de seguir utilizándose se generará una pérdida de carga mayor a la de diseño, conllevando directamente a la disminución de eficiencia del extractor.

En caso de requerir un mayor caudal de absorción para extraer más contaminantes deberá redimensionar la campana, ducto de aspiración y recalcular las pérdidas de carga del sistema para seleccionar el ventilador apropiado; puesto que los valores de velocidad de entrada de 7,5 m/sg y velocidad de conducto igual a 15 m/sg deben mantenerse acorde a las especificaciones técnicas de los manuales de ventilación industrial.

Utilizar filtros del tipo MERV 11 a MERV 13 para garantizar un funcionamiento óptimo del equipo, si coloca un filtro de menor valor el sistema no será capaz de retener las partículas contaminantes que resulten del proceso de soldadura. Por el contrario, un filtro de mayor valor generará una pérdida de carga más alta debido a su resistencia al paso del flujo de aire, disminuyendo directamente la capacidad de absorción del equipo.

Ubicar la campana de extracción a una distancia no mayor a 45 cm del punto de contaminación (cordón de soldadura), para garantizar la absorción de los humos generados. Procurar no trabajar con ángulos menores a 90° en los codos de la estructura, ya que generará mayor resistencia al flujo de aire y por ende un aumento en la pérdida de carga.

Utilizar los perfiles y valor de presión neumática recomendada para cada jig de soldadura, a fin de garantizar el correcto funcionamiento de los elementos que lo conforman y una sujeción firme de las piezas a soldar.

Acoplar nuevos clamps a los jigs implementados que permitan diversificar la sujeción de piezas, de esta manera se potencializará el uso de las herramientas de programación del brazo KUKA KR5 – ARC.

Antes de utilizar el sistema de extracción de humos y jigs de soldadura deberá revisar el manual de usuario que se proporciona en la sección de anexos a fin de garantizar un funcionamiento óptimo de los equipos y la seguridad de los ocupantes del Laboratorio de Robótica Industrial.

BIBLIOGRAFÍA

ASHRAE HANDBOOK. (2011). *HVAC Applications*.

Alibaba. (2020). *Other Measuring & Gauging Tools*. Retrieved Julio 7, 2020, from Alibaba.com: https://www.alibaba.com/product-detail/Hot-Sale-Durable-Rotating-Welding-Jig_60759801250.html

Alpe Industrial. (2018, Octubre 19). *LA SOLDADURA ROBOTIZADA Y SUS VENTAJAS*. Retrieved Julio 22, 2020, from ALPE AUTOMATIZAR: <https://www.alpeautomatizar.com/soldadura-robotizada/>

ASHRAE. (2016). *ASHRAE HANDBOOK HVAC SYSTEMS AND EQUIPMENT*.

AWS. (2017). *Ventilation Guide for Weld Fume*.

AWS. (2020). Retrieved Junio 4, 2020, from American Welding Society Learning: <https://awo.aws.org/glossary/>

Barrientos, A., Peñín, L., Balaguer, C., & Aracil, R. (2007). *FUNDAMENTOS DE ROBÓTICA* (Segunda ed.). Madrid, España: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U.

Bernad. (2019, Marzo 26). *¿QUÉ ES LA SOLDADURA?* Retrieved Julio 15, 2020, from Bernad refrigeración: <https://www.josebernad.com/que-es-la-soldadura/>

Bernaola, M. (2012). *Los riesgos de la soldadura y su prevención*.

Budynas, R., & Nisbett, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Novena ed.). México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES.

- Castillo, J. O. (2014). *Riesgos Higienicos existentes en las operaciones de soldadura con Arco Electrico*. Instituto Cantabro de seguridad y salud en el trabajo (ICASST).
- Cero grados. (2014, Junio 10). *FILTROS mantenimiento y limpieza*. Retrieved Enero 7, 2021, from Cero grados. Revista digital: <https://0grados.com.mx/filtros-mantenimiento-y-limpieza/>
- Chimbo, L., & Ortiz, L. (2012). *Diseño de un sistema de extracción de gases y polvos del proceso de reconstrucción mecánica de turbinas hidráulicas y su manejo para el control de impacto ambiental Hidroagoyan*. Riobamba.
- Collectors, R. (2014). *Manufactura celular*.
- Dávila, I., & López, I. (2011). *Integración de celdas robotizadas de soldadura con compensación*. Retrieved from <http://www.itsbasicas.com/davila/dyna2011.pdf>
- Destaco. (2019). *Manual, Pneumatic & Power Clamping Systems*. Retrieved Julio 25, 2020, from DESTACO, A Dover Company: <https://www.destaco.com/products/catalog-home.html>
- Direct Industry. (2020). *Mesa para Soldadura*. Retrieved from <https://www.directindustry.es/>
- directindustry. (n.d.). Retrieved from <https://www.directindustry.es/prod/plymovent/product-5724-501177.html>
- educativos, S. d. (s.f.). *guía de prevención de riesgos en trabajos de soldadura*.
- Ektoboter. (s.f.). *Sistemas robotizados de soldadura y corte*.

- Emilio, C. (1982). *Soldadura. Prevención de Riesgos Higienicos*. Barcelona: Intituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- EUROBOTS. (2016). *KUKA KR 16-2*. Retrieved Octubre 19, 2020, from <https://www.eurobots.es/kuka-robots-kr-16-2-p233-es.html>
- Falcone, L., & Erdely, A. (2018). *Inhalation of Iron Abundant Gas Metal Arc Mild Steel Welding Fume Promtes Lung Tumors in Mice*.
- Freepng.es. (2019). *Robot Industrial, Brazo Robótico, Robot PNG*. Retrieved from <https://www.freepng.es/>
- FRONIUS INTERNATIONAL, G. (2011). *Manual de operación de soldadura*. Austria.
- GD Aparatos. (2019, Febrero 1). *Soldadura blanda y soldadura fuerte: Qué son y cómo ejecutarlas*. Retrieved from GD Aparatos - Your Partner For Gas Solutions: <https://gdaparatos.com/soldadura-blanda-y-soldadura-fuerte-que-son-y-como-ejecutarlas/>
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna* (Tercera ed.). México, D. F.: McGRAW-HILL.
- Guerra, F. (2015). *JIG'S de soldadura para el ensamblaje de la estructura lateral de las carrocerías tipo urbano e interprovincial, y su incidencia en el tiempo del proceso de ensamblaje en la empresa Miral Autobuses en el cantón Ambato*. Proyecto de Investigación, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA, Ambato.
- Haro, A., & Ñacato, C. (2006). *Implementación de un sistema de extracción de humos de soldadura por arco eléctrico*.

Hernández, L. (2012, Febrero 8). 2.7.- *TIPOS DE ERRORES*. Retrieved from TODO

INGENIERIA INDUSTRIAL:

<https://todoingenieriaindustrial.wordpress.com/metrologia-y-normalizacion/2-7-tipos-de-errores/>

HES Consultores. (2020). *INFORME DE EVALUACIÓN RIESGO QUÍMICO Humos de Soldadura*. Informe, Ambato.

HES Consultores. (2021). *INFORME DE EVALUACIÓN Riesgos Químicos Evaluación de Humos de Soldadura*. Ambato.

<https://www.directindustry.es>. (n.d.). Retrieved from

<https://www.directindustry.es/prod/cloos/product-9248-1619005.html>

IndiaMART. (2020). *Welding Jigs*. Retrieved from IndiaMART InterMESH Ltd:

<https://www.indiamart.com/proddetail/welding-jig-14712290033.html>

Industrial Dasalla. (2019, Mayo 13). *Soldadura eléctrica*. Retrieved from

<https://www.industrialdasalla.com/soldadura-electrica/>

Infiltró. (s.f.). *Equivalencia entre normas*.

infoPLC.net. (2020). *Automatizacion Industrial, Robótica e Industria 4.0*. Retrieved from

<https://www.infoplcn.net/>

iQuip. (2018). *WHAT IS A WELDING JIG?* Retrieved Julio 22, 2020, from iQuip

Intelligent Equipment: <https://iquip.co.za/2018/07/25/what-is-a-welding-jig/>

Kemper. (s.f.). *Smartmaster aparato de aspiracion*.

KUKA. (2014). *KR5 ARC Operating Instruccions*.

- KUKA Roboter. (2013, Diciembre 10). *Programación de robots 1*. Retrieved Octubre 12, 2020, from KUKA Roboter GmbH:
https://www.academia.edu/40237715/Programaci%C3%B3n_de_robots_KUKA
- Legarreta, J., & Martinez, R. (2017, Noviembre 26). *TEMA 2. MORFOLOGÍA DEL ROBOT*. Retrieved from ROBÓTICA:
<https://ocw.ehu.eus/mod/resource/view.php?id=10618>
- Lincoln Electric. (2020). *Fundamentos de Soldadura por Arco*. Retrieved Julio 17, 2020, from The Lincoln Electric Company: <https://www.lincolnelectric.com/es-mx/support/process-and-theory/Pages/arc-welding-detail.aspx>
- Lind, D., Marchal, W., & Wathen, S. (2008). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. México: McGRAW-HILL.
- Macias, F. (s.f.). *Soldadura Robótica Automatizada*.
- Madariaga, C., Modenesi, P., & Rincón, M. (2020). Efectos de los active flux sobre soldaduras GMAW aplicadas a un acero AISI/SAE 1020. *Soldagem & Inspeção*.
- Marín, A. (2016). *PROCESO GMAW*. Retrieved from Soldadura y Estructuras:
<http://soldadurayestructuras.com/proceso-gmaw.html>
- MEKKAM. (2015, Octubre 8). *Precisión de movimiento de un robot*. Retrieved Julio 22, 2020, from MEKKAM PACKAGING SOLUTIONS:
<http://www.mekkam.com/robotica-industrial/>
- Moldes, D., & Aginaga, J. (2014, Junio 26). *Cálculo y optimización del espacio de trabajo de un manipulador paralelo del tipo Hexaglide*. Trabajo Fin de Grado, Universidad Pública de Navarra, Pamplona.

- Mundo HVAC&R. (2018). *Ventilación y extracción localizada*. Retrieved Diciembre 8, 2020, from <https://www.mundohvacr.com.mx/2013/02/ventilacion-y-extraccion-localizada/>
- Núñez, J. (2012). *Guía de información para el control de la contaminación de gases y humos del proceso de soldadura*.
- Ñique, V. (2011). Análisis sobre la difusión de la Robótica Industrial en Latinoamérica. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 1 - 4.
- Ortiz, T., & Quintana, R. (2001). *El humo de soldadura y sus efectos sobre la salud y seguridad de los soldadores*. Centro de investigaciones de soldadura (CIS).
- Osalan. (2012). *El soldador y los humos de soldadura*. Instituto Vasco de seguridad y salud laboral.
- PROGRABOX. (2016, Enero 26). *Conoce cuáles son las aplicaciones más usadas en la programación de robots industriales*. Retrieved Octubre 4, 2020, from PROGRABOX Automation Training Worldwide: <https://prograbox.com/conoce-que-son-las-aplicaciones-mas-usadas-en-la-programacion-de-robots-industriales/>
- REFRIPLAST. (2020, Octubre 12). *¿Qué significan las clasificaciones MERV?* Retrieved Noviembre 22, 2020, from Refriplast.com: <https://www.refriplast.com/blog/que-significan-las-clasificaciones-merv/>
- Rodríguez, M. (2015, Julio 29). *¿Sabes en robótica la diferencia entre grados de libertad y grados de movilidad?* Retrieved from Revista Digital INESEM:

<https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/diferencia-robotica-grados-libertad-movilidad-3/>

- Salvador Escoda S.A. (2002). *Manual Práctico de Ventilación. Catálogo Técnico* (Segunda ed.).
- Sekine, K. (1993). *Diseño de caldas de Fabricación, Productivity*. Pórtland Oregon.
- Sierra, R. (2015). *Diseño y Simulación de un extractor de Humos de Soldadura para Espacios Confinados*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira .
- Society, A. W. (2001). *Welding Hanbook Fumes and Gases*. Miami.
- SOLDADURA EQUIPOS. (2018, Mayo 21). Presentación de extractores de Humo Kemper. México. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=6A38QYRWSas>
- Soldaduras.online. (2018, Abril 1). *Soldaduras de Estado Sólido*. Retrieved from Soldaduras.online: <https://soldaduras.online/de-estado-solido/>
- Soler&Palau Ventilation Group. (2012). *Manual Práctico de Ventilación*.
- Tecnifan. (2020). *Informe Técnico Optifan*.
- UdeSantiagoVirtual. (2016, Enero 11). 2.1.2. *Elementos Constitutivos de un Robot Industrial*. Retrieved Diciembre 4, 2020, from <http://www.udesantiagoovirtual.cl/moodle2/mod/book/view.php?id=24908>
- VEFLOX. (n.d.). *Nuestra Tecnología*. Retrieved from <https://www.filtration.veflox.com/nuestra-tecnologia->

- Viscarra, A. (2008, Diciembre 7). *GRADOS DE LIBERTAD DE UN ROBOT*. Retrieved from ROBOTS: Manipuladores Mecánicos: <http://ariel-a-viscarra.blogspot.com/2008/12/grados-de-libertad.html>
- WEG. (2019, Junio 26). *W22 Motor Eléctrico Trifásico*. Retrieved from <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h82/h8f/WEG-w22-motor-electrico-trifasico-50024297-brochure-spanish-web.pdf>
- WELDING JOURNAL. (2009, Mayo). Conoce los procesos de soldadura y unión. *WELDING JOURNAL EN ESPAÑOL*, 46 - 47.
- Worky-italy.com. (2019).
- XCPC Pneumatic. (2017). *MA6432 Series Stainless Steel Mini Cylinder (ISO6432)*. Retrieved from <http://www.china-pneumatic.com/>
- Zambrano, A., & Polo, W. (2019). *Diseño y implementación de una celda de manufactura robotizada mediante jigs de soldadura para optimizar tiempos de producción en la empresa Miviltech S.A. en el cantón Ambato*. Latacunga.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

A. INFORMES EMPRESA HES CONSULTORES S.A.

- A1. Informe de Levantamiento de Línea Base
- A2. Informe de Evaluación de Ambiente de Trabajo

B. SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE HUMOS

- B1. Planos Mecánicos
- B2. Planos Eléctricos y de Control
- B3. Hojas de Especificaciones Técnicas
- B4. Manual de Usuario

C. JIGS DE SOLDADURA

- C1. Planos Mecánicos Jig 1
- C2. Planos Mecánicos Jig 2
- C3. Planos Neumáticos Jig 1
- C4. Planos Neumáticos Jig 2
- C5. Hojas de Especificaciones Técnicas

D. MANUAL DE USUARIO