



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Diseño y construcción de una cámara para ensayos de inflamabilidad horizontal
mediante visión artificial para el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico**

Carrocero

Sarmiento Lopez, Ricardo Anibal

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

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

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

31 de Enero de 2022

Latacunga



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD HORIZONTAL MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO”**, fue realizado por el señor **Sarmiento Lopez, Ricardo Anibal**, el mismo que ha sido revisado y analizado en su totalidad, por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 31 de Enero de 2022



Firmado electrónicamente por:
PATRICIA NATALY
CONSTANTE PROCEL

.....
Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

C.C.: 0503354029



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

REPORTE DE VERIFICACIÓN DE CONTENIDOS



Sarmiento_Escrito_titulación.pdf

Scanned on: 12:35 February 4, 2022 UTC



Overall Similarity Score

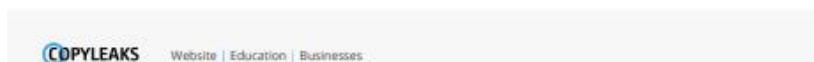


Results Found



Total Words in Text

Identical Words	576
Words with Minor Changes	144
Paraphrased Words	271
Omitted Words	0



Firmado electrónicamente por:
**PATRICIA NATALY
CONSTANTE PROCEL**

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

C.C.: 0503354029



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Sarmiento Lopez, Ricardo Anibal**, con cédula de ciudadanía N° 1600602005, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD HORIZONTAL MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 31 de Enero de 2022

.....
Sarmiento Lopez, Ricardo Anibal

C.C.: 1600602005



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Sarmiento Lopez, Ricardo Anibal**, con cédula de ciudadanía N° 1600602005, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD HORIZONTAL MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 31 de Enero de 2022



.....
Sarmiento Lopez, Ricardo Anibal

C.C.: 1600602005

Dedicatoria

A mis padres, Elizabeth y Anibal que a lo largo de estos años universitarios han sido apoyo incondicional incluso cuando pensaba en rendirme, este logro es por y para ustedes.

A mi abuelo Temístocles, que siempre veía grandeza en nosotros, espero que donde estés puedas ver que lo conseguí.

Ricardo Anibal

Agradecimientos

A Dios, por permitirme nacer en un hogar lleno de oportunidades para progresar y de buenos ejemplos de honestidad y perseverancia.

A mis padres, Elizabeth y Anibal por estar presentes durante este proceso, por la compañía en las malas noches, por alentarme en los días grises, por cuidarme cuando estaba enfermo y por la paciencia de toda la vida.

A mis hermanos, Michelle y Sebastian, a toda mi familia y amigos, siempre pendientes de mí.

A los profesores y compañeros de universidad que hicieron de esta una grata experiencia, en particular a Luis por formar un equipo capaz de grandes logros; y a la Ingeniera Patricia Constante por la dirección en el desarrollo de este trabajo.

Ricardo Anibal

Tabla de Contenidos

Carátula.....	1
Certificación	2
Reporte de verificación de contenidos	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimientos.....	7
Tabla de Contenidos	8
Índice de Tablas	14
Índice de Figuras	17
Resumen	24
Abstract.....	25
Planteamiento del Problema	26
Introducción.....	26
Antecedentes.....	26
Planteamiento del problema	28
Objetivos	29
<i>Objetivo general</i>	29
<i>Objetivos específicos</i>	29
Hipótesis	30
<i>Variable Independiente</i>	30
<i>Variable Dependiente</i>	30
Fundamentación teórica	30
<i>Combustión</i>	30
Combustión Completa	31

Combustión estequiométrica o neutra.....	31
Combustión incompleta.....	31
Combustión lenta.....	31
Combustión rápida	32
<i>Combustibles, comburentes y energía de activación</i>	32
Combustible	32
Comburente	34
Energía de activación	34
<i>Materiales y equipos</i>	34
Materiales anticorrosivos	34
Dispositivos electrónicos y electromecánicos	36
Dispositivos neumáticos y otros	48
<i>Técnicas de construcción</i>	50
Soldadura TIG.....	50
Procesos de Mecanizado	52
<i>Materiales internos en carrocerías.....</i>	58
Textiles.....	58
Elastómeros.....	59
Termoplásticos	59
Materiales compuestos	59
<i>Técnicas de control.....</i>	60
Lógica cableada o de contactos	60
<i>Visión Artificial</i>	61
Lenguaje de programación.....	61
Interfaz gráfica.....	64
<i>Normas y estándares</i>	64

	10
ISO 3795.....	64
SAE J369	65
FMVSS 302.....	65
INEN-ANT	66
<i>Estado del arte</i>	66
Equipos manuales	67
Equipos semi-automáticos.....	67
Diseño del Concepto	69
Planificación y factibilidad del Diseño	69
<i>Matriz de Calidad</i>	69
Necesidades del usuario.....	69
Alternativas de solución	70
Criterios de diseño.....	74
<i>Especificaciones del equipo y método de ensayo</i>	74
<i>Criterios de Seguridad</i>	83
<i>Diseño para el medio ambiente</i>	85
<i>Análisis de materiales</i>	86
Selección de componentes.....	88
<i>Quemador de gas</i>	88
<i>Gas de prueba</i>	93
<i>Ventana de observación</i>	96
<i>Control de Temperatura</i>	98
<i>Regulador de flujo</i>	101
Calor útil para iniciar la llama en la muestra	104
Calor requerido por el sistema.....	106
Gasto de combustible	106

	11
<i>Electroválvula</i>	108
<i>Ordenador</i>	112
<i>Cámara digital</i>	115
<i>Cámara térmica</i>	115
Diseño y Construcción del equipo	119
Diseño del equipo	119
<i>Cámara de Inflamabilidad</i>	119
<i>Porta-probetas</i>	123
<i>Accesorios varios del equipo</i>	125
Bandeja recolectora.....	125
Soporte porta-probetas.....	126
Placa	127
Puerta	128
Pin	129
<i>Tablero de Control</i>	131
Tablero	131
Cortafuegos	133
<i>Accesorios para el sistema de visión artificial</i>	134
Soporte de dispositivos	134
Base y tapa cámara térmica	138
Base y tapa cámara digital.....	138
Validación del equipo	140
<i>Soporte para porta-probetas</i>	140
Análisis de fuerzas y momentos.....	140
Análisis de esfuerzo y flexión máxima.....	145
Análisis a través de Software CAE	146

<i>Simulación térmica</i>	152
Diseño del sistema de control	156
<i>Tipo de control</i>	156
<i>Algoritmo de control</i>	156
Requerimientos del control	156
Diagrama de flujo del control	158
Esquema de control.....	159
Construcción del equipo	160
<i>Cortar las piezas según planos</i>	160
<i>Soldar</i>	161
<i>Acabado</i>	163
<i>Mecanizado de porta-probetas</i>	165
<i>Electroerosión</i>	167
<i>Ensamblaje del equipo</i>	168
Implementación del sistema de visión artificial	170
Criterios para el sistema de visión artificial	170
<i>Ubicación y disposición del sistema</i>	170
<i>Iluminación</i>	171
Iluminación frontal.....	171
Retroiluminación.....	172
Iluminación omnidireccional	173
Conexión de dispositivos	174
Algoritmos	175
<i>Cámara térmica</i>	176
Adquisición de datos.....	178
Escalado	178

Umbralización.....	180
Tiempo	181
<i>Cámara digital</i>	182
Umbralización de tres etapas.....	185
Erosión y dilatación.....	187
Operación lógica AND, de 3 umbralizaciones.....	189
<i>GUI de control y monitoreo</i>	189
Trabajos futuros	195
Pruebas y Resultados	197
Pruebas del equipo	197
<i>Control dimensional</i>	197
<i>Repetibilidad del proceso</i>	202
<i>Pruebas de temperatura</i>	204
<i>Línea base: resultados para ensayo en laboratorio designado</i>	206
<i>Determinar sentido de ensayo: longitudinal o transversal</i>	208
<i>Ensayo modo manual</i>	213
<i>Ensayo modo semiautomático cámara térmica</i>	215
<i>Ensayo modo semiautomático cámara digital</i>	217
Validación de la hipótesis mediante el método de T Student	219
<i>Ensayos para determinar tiempos de operación</i>	219
Conclusiones y Recomendaciones	226
Conclusiones.....	226
Recomendaciones	228
Bibliografía	230
Anexos	238

Índice de Tablas

Tabla 1 Clasificación de gases combustibles.....	33
Tabla 2 Características de ordenador Raspberry Pi 4 B.....	36
Tabla 3 Características del proceso de Soldadura TIG	50
Tabla 4 Ventajas del Control Numérico Computarizado	56
Tabla 5 Necesidades de los usuarios.....	70
Tabla 6 Alternativas de solución	70
Tabla 7 Escala japonesa de relación.....	71
Tabla 8 Escala de correlaciones.....	71
Tabla 9 Resultados de la matriz QFD.....	73
Tabla 10 Características de la cámara de inflamabilidad.....	75
Tabla 11 Ficha Técnica del Acero Inoxidable.....	87
Tabla 12 Evaluación criterios, quemador	91
Tabla 13 Evaluación criterio, Dimensiones.....	91
Tabla 14 Evaluación criterio, Precio	91
Tabla 15 Evaluación criterio, Adaptabilidad.....	92
Tabla 16 Evaluación criterio, Disponibilidad.....	92
Tabla 17 Evaluación de Resultados, quemador.....	92
Tabla 18 Evaluación criterios, gas de prueba.....	94
Tabla 19 Evaluación criterio, Precio	94
Tabla 20 Evaluación criterio, Disponibilidad.....	94
Tabla 21 Evaluación criterio, Compatibilidad.....	95
Tabla 22 Evaluación criterio, Practicidad.....	95
Tabla 23 Evaluación de Resultados, gas de prueba	95
Tabla 24 Evaluación Criterios, ventana de observación	96

Tabla 25 Evaluación criterio, Precio	97
Tabla 26 Evaluación criterio, Resistencia	97
Tabla 27 Evaluación criterio, Disponibilidad	97
Tabla 28 Evaluación criterio, Fiabilidad	97
Tabla 29 Evaluación de Resultados, ventana de observación	98
Tabla 30 Evaluación Criterios, control temperatura	99
Tabla 31 Evaluación criterio, Precio	99
Tabla 32 Evaluación criterio, Robustez	99
Tabla 33 Evaluación criterio, Disponibilidad	100
Tabla 34 Evaluación criterio, Practicidad.....	100
Tabla 35 Evaluación de Resultados, control temperatura.....	100
Tabla 36 Evaluación Criterios, regulador de flujo.....	102
Tabla 37 Evaluación criterio, Precio	103
Tabla 38 Evaluación criterio, Resistencia.....	103
Tabla 39 Evaluación criterio, Disponibilidad.....	103
Tabla 40 Evaluación criterio, Fiabilidad.....	104
Tabla 41 Evaluación de Resultados, regulador de flujo	104
Tabla 42 Evaluación Criterios, electroválvula.....	110
Tabla 43 Evaluación criterio, Tamaño	111
Tabla 44 Evaluación criterio, Precio	111
Tabla 45 Evaluación criterio, Compatibilidad.....	111
Tabla 46 Evaluación criterio, Disponibilidad.....	111
Tabla 47 Evaluación de Resultados, electroválvula	112
Tabla 48 Evaluación Criterios, ordenador	113
Tabla 49 Evaluación criterio, Compatibilidad.....	114

Tabla 50 Evaluación criterio, Precio	114
Tabla 51 Evaluación criterio, Tamaño compacto	114
Tabla 52 Evaluación criterio, Potencia.....	114
Tabla 53 Evaluación de Resultados, ordenador.....	115
Tabla 54 Evaluación Criterios, cámara térmica.....	117
Tabla 55 Evaluación criterio, Disponibilidad.....	117
Tabla 56 Evaluación criterio, Resolución.....	117
Tabla 57 Evaluación criterio, Precio	118
Tabla 58 Evaluación criterio, Tamaño	118
Tabla 59 Evaluación de Resultados, cámara térmica	118
Tabla 60 Dispositivos para sistema de control.....	157
Tabla 61 Valores de verdad, operación lógica and.....	189
Tabla 62 Control dimensional, cámara de ensayos	200
Tabla 63 Eventos de funcionamiento.....	203
Tabla 64 Resultados de ensayo, según laboratorio designado	207
Tabla 65 Cálculo de valores para comparación, laboratorio designado.....	208
Tabla 66 Resultados de ensayo, sentido de corte transversal	210
Tabla 67 Resultados de ensayo, sentido de corte longitudinal.....	210
Tabla 68 Cálculo de valores para comparación, equipo	212
Tabla 69 Resultados de ensayo, equipo en modo manual	214
Tabla 70 Resultados de ensayo, equipo en modo semiautomático, cámara térmica .	216
Tabla 71 Resultados de ensayo, equipo en modo semiautomático, cámara digital....	218
Tabla 72 Tiempo de ensayo, modo manual	220
Tabla 73 Tiempo de ensayo, modo semiautomático con cámara térmica.....	221
Tabla 74 Tiempo de ensayo, modo semiautomático con cámara digital.....	223

Índice de Figuras

Figura 1 Raspberry Pi.....	36
Figura 2 Cámara digital.....	38
Figura 3 Sensor térmico AMG8833.....	39
Figura 4 Electroválvula	40
Figura 5 Controlador de temperatura	41
Figura 6 Relé.....	42
Figura 7 Relé temporizador	43
Figura 8 Módulo de chispa y electrodo.....	44
Figura 9 Portafusibles.....	44
Figura 10 Ventilador AC.....	45
Figura 11 Interruptores eléctricos.....	46
Figura 12 Final de carrera.....	47
Figura 13 Luz piloto	47
Figura 14 Regulador de flujo	48
Figura 15 Mechero de Bunsen	49
Figura 16 Equipo de Soldadura TIG.....	52
Figura 17 Proceso de Torneado.....	53
Figura 18 Taladrado de agujeros.....	54
Figura 19 Modelo de una fresadora CNC	57
Figura 20 Proceso de Electroerosión	58
Figura 21 Diagrama de conexión en lógica cableada.....	61
Figura 22 Equipo Fire Testing Technology FMVSS 302.....	67
Figura 23 Equipo Testex TF311	68

	18
Figura 24 Matriz QFD	72
Figura 25 Dimensiones cámara de inflamabilidad	76
Figura 26 Dimensiones porta-probetas	77
Figura 27 Detalle de ranuras en porta-probetas	78
Figura 28 Ejemplo de bandeja recolectora.....	79
Figura 29 Probeta para ensayo	80
Figura 30 Procedimiento de ensayo.....	82
Figura 31 Mechero Bunsen, Cole Parmer.....	89
Figura 32 Mechero Bunsen con chimenea intercambiable.....	89
Figura 33 Mechero Bunsen con llave de paso.....	90
Figura 34 Regulador de flujo, marca Dwyer.....	102
Figura 35 Características técnicas, Regulador de flujo Univer.....	108
Figura 36 Electroválvula ACL	109
Figura 37 Electroválvula Diplomatic.....	110
Figura 38 Características, Electroválvula ACL.....	112
Figura 39 Cámara térmica MLX90640	116
Figura 40 Tapa frontal.....	120
Figura 41 Tapa posterior.....	120
Figura 42 Base.....	121
Figura 43 Techo.....	122
Figura 44 Lateral Izquierdo.....	122
Figura 45 Lateral Derecho	123
Figura 46 Diseño de porta-probetas superior.....	124
Figura 47 Diseño de porta-probetas inferior.....	125
Figura 48 Diseño de bandeja recolectora	126

Figura 49 Soporte para porta-probetas	127
Figura 50 Diseño de Placa porta-probetas.....	128
Figura 51 Diseño de la Puerta	129
Figura 52 Diseño del Pin.....	130
Figura 53 Cámara de Inflamabilidad	130
Figura 54 Partes que componen el tablero de control	132
Figura 55 Diseño de pared cortafuegos	133
Figura 56 Tablero de control.....	134
Figura 57 Vista en primera persona hacia el interior de la cámara	135
Figura 58 Vista de la cámara de ensayos desde la parte superior.....	136
Figura 59 Acoples para vidrio templado.....	136
Figura 60 Soporte para cámaras.....	137
Figura 61 Base y tapa, cámara térmica.....	138
Figura 62 Base y tapa, cámara digital.....	139
Figura 63 Acople, bases a soporte.....	140
Figura 64 Propiedades de ángulos de acero estructural	142
Figura 65 Propiedades físicas de materiales	143
Figura 66 Diagrama de cuerpo libre, soporte porta-probetas.....	144
Figura 67 Viga con dos apoyos fijos y una carga uniformemente distribuida	148
Figura 68 Esfuerzo de Von Mises, para la viga	149
Figura 69 Deformación en eje y, para la viga.....	150
Figura 70 Resultados, Factor de seguridad	151
Figura 71 Resultado, Ciclo de vida útil.....	152
Figura 72 Flujo de calor	154
Figura 73 Temperatura en la cámara de ensayos	155

	20
Figura 74 Esfuerzo debido a cambios de temperatura	156
Figura 75 Algoritmo de control.....	159
Figura 76 Esquema de control.....	160
Figura 77 Corte de piezas.....	161
Figura 78 Valores de Amperaje recomendados para soldadura TIG	162
Figura 79 Cámara de Inflamabilidad sin acabado.....	163
Figura 80 Proceso de satinado en una parte del equipo	164
Figura 81 Proceso de decapado en el interior de la cámara de ensayos	165
Figura 82 Platinas soldadas para porta-probetas	166
Figura 83 Porta-probetas mecanizado	166
Figura 84 Proceso de electroerosión.....	167
Figura 85 Disposición de los elementos eléctricos al interior del tablero de control... ..	168
Figura 86 Equipo terminado	169
Figura 87 Ubicación de cámaras para el sistema de visión artificial	171
Figura 88 Iluminación frontal	172
Figura 89 Retroiluminación.....	173
Figura 90 Iluminación omnidireccional	174
Figura 91 Esquema de conexión, sensor AMG8833	175
Figura 92 Módulo de visión artificial del equipo con cámara térmica	176
Figura 93 Diagrama de flujo del algoritmo con cámara térmica	177
Figura 94 Código para obtener datos del sensor.....	178
Figura 95 Código para escalar la imagen térmica	179
Figura 96 Resultado de cada método de interpolación	180
Figura 97 Colores considerados para umbralización, cámara térmica	181
Figura 98 Código para obtener el tiempo actual	182

Figura 99	<i>Módulo de visión artificial del equipo con cámara digital.....</i>	183
Figura 100	<i>Diagrama de flujo del algoritmo con cámara digital.....</i>	184
Figura 101	<i>Código para generar una sustracción de fondo.....</i>	186
Figura 102	<i>Colores considerados para umbralización, cámara digital.....</i>	187
Figura 103	<i>Erosión aplicada en umbralización por fondo estacionario.....</i>	188
Figura 104	<i>Ventana principal de la GUI.....</i>	190
Figura 105	<i>Ventana de GUI, cámara térmica seleccionada.....</i>	191
Figura 106	<i>Ventana de GUI, cámara digital seleccionada.....</i>	192
Figura 107	<i>Crear una ventana y asignarle un tamaño con tkinter.....</i>	192
Figura 108	<i>Generar una etiqueta Label en tkinter.....</i>	193
Figura 109	<i>Generar una ventana en tkinter con messagebox.....</i>	194
Figura 110	<i>Generar un botón radial en tkinter.....</i>	194
Figura 111	<i>Generar un botón en tkinter.....</i>	195
Figura 112	<i>Bosquejo del equipo con las dos cámaras.....</i>	196
Figura 113	<i>Dimensiones del equipo.....</i>	198
Figura 114	<i>Dimensiones de los porta-probetas.....</i>	199
Figura 115	<i>Tolerancias permisibles para dimensiones lineales.....</i>	200
Figura 116	<i>Ejecución del control dimensional.....</i>	202
Figura 117	<i>Prueba del equipo por parte de un Asistente Técnico de la empresa.....</i>	204
Figura 118	<i>Prueba de temperaturas en el equipo.....</i>	205
Figura 119	<i>Probetas de vinil textil.....</i>	206
Figura 120	<i>Equipo para acondicionamiento de probetas.....</i>	209
Figura 121	<i>Probetas de vinil textil, posterior al ensayo.....</i>	211
Figura 122	<i>Probetas de tela de punto.....</i>	213
Figura 123	<i>Probetas de tela de punto, posterior al ensayo.....</i>	215

Figura 124 <i>Ensayo con cámara térmica</i>	217
Figura 125 <i>Ensayo con cámara digital</i>	219
Figura 126 <i>Toma de tiempo para ensayos</i>	220

Resumen

El presente trabajo describe el diseño y construcción de una cámara para ensayos de inflamabilidad horizontal que incorpora un módulo de visión artificial, el equipo consiste en una estructura construida en material anticorrosivo, que en su interior tiene un mechero Bunsen y un conjunto porta-probetas que permite sujetar una muestra mientras se expone a una llama en condiciones controladas; se determina de forma manual y semiautomática el tiempo y la distancia que la probeta se consumió debido a la presencia de la llama. En primer lugar, se recopila información acerca del procedimiento de ensayo según la norma ISO 3795, así como de las características que debe tener el equipo; se desarrolla una propuesta, y se selecciona los materiales y componentes requeridos para la construcción del mismo, el equipo funciona gracias a un sistema de lógica de contactos. Posterior a una validación mediante herramientas CAE, el equipo se construye en acero inoxidable y se ensamblan los componentes antes mencionados. El módulo de visión artificial se implementa con una cámara térmica y una digital. Se desarrollan pruebas para validar el funcionamiento correcto del equipo y verificar si incluir el módulo de visión artificial disminuye el tiempo que le toma a un operario de la máquina en desarrollar ensayos.

Palabras clave:

- **ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD HORIZONTAL**
- **NORMA - ISO 3795**
- **VISIÓN ARTIFICIAL**

Abstract

This work describes the design and fabrication of a combustion chamber for horizontal flammability tests, which has a computer vision module, the equipment has a stainless steel structure, inside has a Bunsen burner, and a U shaped holder set, that clasp a sample while it is exposed to a low energy flame in a controlled environment, the test establishes in manual and auto mode, time and sample burnt distance due to the flame. In first place, data about test procedure accordance to ISO 3795 standard and equipment specs are collected; a proposal is developed, materials and components required are selected, equipment works with electromechanical relay logic. Then using Computer Aided Engineering software the equipment is validated, afterwards everything is built and assembled. Computer vision module has a digital and a thermal camera. A series of tests are carried out to ensure proper functioning and verify if adding the computer vision module reduces the flammability test times.

Key words:

- **HORIZONTAL FLAMMABILITY TEST**
- **ISO 3795 - STANDARD**
- **ARTIFICIAL VISION**

Capítulo I

Planteamiento del Problema

1.1 Introducción

La homologación de vehículos se realiza para asegurar que fabricantes y ensambladores desarrollen sus productos bajo una norma con requerimientos básicos en materia de seguridad, esto con el fin de precautelar la vida humana.

Con este proyecto se espera, permitir que localmente se pueda desarrollar el ensayo, y así constatar el comportamiento frente al fuego de materiales utilizados en el interior de carrocerías de buses, y otros vehículos.

1.2 Antecedentes

La necesidad de transporte está siempre presente, por ello los fabricantes nacionales de vehículos y carrocerías constantemente buscan ofrecer el mejor producto en su segmento, una de las alternativas que adaptan es reducir costos, mismos que en ocasiones comprometen la calidad y seguridad de los componentes que se usan, debido a este y otros factores, instituciones nacionales (INEN) e internacionales (ISO) estipulan que los materiales utilizados cumplan con ciertos requerimientos, entre ellos la determinación del comportamiento ante el fuego de materiales interiores.

En Ecuador estos requerimientos están indicados en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323:2009 Vehículos Automotores. Carrocerías de Buses. Requisitos, en la sección 5.7.5 Flamabilidad de materiales; en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2205:2010 Vehículos Automotores. Bus Urbano. Requisitos, en el literal d) Inflamabilidad de materiales, de la sección 5.1.2.7 Elementos de Seguridad; y en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1668, Vehículos de transporte público de

pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial. Requisitos, en la sección 5.9.2 Inflamabilidad de materiales.

En las normas indicadas se establece el comportamiento ante el fuego que deben tener los materiales utilizados en revestimiento de asientos y apoyabrazos, cojines, paredes, techo, piso, protecciones plásticas, soportes, cinturones de seguridad, accesorios. (Servicio Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2015, p.23)

Así mismo se establece que deben ser de baja combustibilidad o poseer la capacidad de retardar la propagación del fuego con un índice de llama máximo de 250 mm/min, de acuerdo a la norma ISO 3795. (INEN, 2009, p.8)

La norma ISO 3795. Vehículos de carretera, tractores y maquinaria para la agricultura y la silvicultura. Determinación del comportamiento de combustión de materiales interiores. Es una norma que especifica el método para determinar la tasa de combustión horizontal de los materiales usados en el interior de vehículos después de que se expone a una pequeña llama. Se puede ensayar los materiales de manera individual o de manera combinada con un espesor de hasta 13 mm. Fue revisada y confirmada por última vez en 2019 por el comité ISO/TC 22, por lo tanto sigue vigente. (International Organization for Standardization [ISO], 2019)

En el mundo existen empresas que fabrican el equipo necesario para llevar a cabo el ensayo en forma totalmente manual, el mismo consiste de una cabina en acero inoxidable de 38cm, 36cm y 20cm, de ancho, alto y profundidad respectivamente, con una puerta frontal, al interior tiene un mechero de Bunsen, un portaprobetas con forma de U colocado a la altura del mechero, en la parte superior se dispone de una tapa con agujeros a lo ancho para ventilación, un cilindro de un gas determinado conectado a una válvula y luego al mechero. Adicionalmente se dispone de un cronómetro para tomar el tiempo que tarde el ensayo.

En el país existen alrededor de 60 fabricantes de carrocerías homologados y reconocidos por la Agencia Nacional de Tránsito (2020), como se indica en el “Listado de fabricantes o ensambladores nacionales de vehículos de categoría M2 y M3” de los cuales el 65% aproximadamente pertenecen a la provincia de Tungurahua según Diario La Hora (2019); así mismo en el país se ensamblan vehículos de siete marcas, los mismos que en 2019 representaron el 21.3% de los comercializados en el país, una de las ensambladoras se ubica en la provincia de Tungurahua. (Diario el Universo, 2019) Los fabricantes antes mencionados producen un estimado mayor a mil buses anualmente. (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador [AEADE], 2020)

1.3 Planteamiento del problema

Con la alta participación de la provincia en el sector automotriz se hace presente la falta de establecimientos que permitan realizar los ensayos de inflamabilidad bajo la norma ISO 3795, según el Servicio de Acreditación Ecuatoriano existen dos lugares reconocidos en el país para realizar dicho ensayo, el Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales de la ESPOL en la provincia de Guayas; y la empresa Vehycle Safety Automotive Lanafagui S.A. – VSA en la provincia de Pichincha. (Servicio de Acreditación Ecuatoriano [SAE], 2020)

En el país no se fabrican este tipo de equipos a pesar de existir la capacidad tecnológica para hacerlo, por ello se hace necesario comprarlos en el exterior e importarlos, debido al costo del equipo en sí, del transporte y de los impuestos para ingresarlo al país, el precio final ronda en al menos \$3100 dólares por un equipo traído desde China. (Testex, 2020) y hasta \$6200 por un equipo traído desde Europa. (Fire Testing Technology [FTT], 2020)

Una parte importante durante el ensayo, consiste en que un operario debe determinar el lugar en el que la probeta empieza a quemarse, sin embargo, este análisis puede ser subjetivo según la persona que esté realizando el proceso, así mismo esto hace que el ensayo sea susceptible a errores de medición.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Diseñar y construir una cámara para ensayos de inflamabilidad horizontal mediante visión artificial para el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Adaptar la estructura de la cámara, en conformidad a la norma ISO 3795, para que cumpla con las especificaciones requeridas.
- Construir el equipo, usando materiales y herramientas disponibles localmente, para reducir el costo final en comparación a sus análogos adquiridos en el extranjero.
- Implementar un algoritmo de visión artificial, para reducir el tiempo utilizado en los ensayos de inflamabilidad horizontal, a través de software libre.
- Validar el correcto funcionamiento del equipo, a través de pruebas usando materiales de referencia, para asegurar la confiabilidad de los resultados.

1.5 Hipótesis

¿Implementar un sistema de visión artificial en la cámara para ensayos de inflamabilidad horizontal permitirá acortar el tiempo de duración del ensayo con respecto al proceso tradicional?

1.5.1 *Variable Independiente*

Cámara para ensayos de inflamabilidad horizontal con visión artificial.

1.5.2 *Variable Dependiente*

Tiempo de duración del ensayo.

1.6 Fundamentación teórica

A continuación, se presenta fundamentos teóricos relacionados a la cámara de inflamabilidad, normas y reglamentos, materiales y técnicas de construcción, dispositivos y tecnologías que se emplearon para desarrollar el proyecto y se observan a lo largo del documento.

1.6.1 *Combustión*

Es una reacción química, en la cual se produce una gran cantidad de energía, bien sea de forma calorífica o lumínica, en el proceso un combustible se oxida (principalmente materias orgánicas que contengan carbono e hidrógeno) gracias a un oxidante que por lo general es el aire, aunque también se puede usar otros compuestos químicos, en la combustión puede o no aparecer una llama. (Metrogas, 2020)

Dependiendo el comburente, esta puede clasificarse en:

1.6.1.1 Combustión Completa

Es la que se produce cuando las sustancias involucradas en la combustión reaccionan hasta el máximo grado de oxidación, en otras palabras, todo el combustible y oxígeno reaccionan entre sí, aquí no se aprecia sustancias combustibles en el humo producido. Los productos observados en este tipo de combustión son: CO_2, H_2O, O_2, N_2 . (Metrogas, 2020)

1.6.1.2 Combustión estequiométrica o neutra

Algo similar a la combustión completa, es la que se produce cuando existe la cantidad exactamente necesaria para que se asegure la combustión, el volumen de oxígeno teórico se consume completamente en la reacción con una unidad de combustible.

1.6.1.3 Combustión incompleta

Se produce si no se alcanza el máximo grado de oxidación, en otras palabras, se da si una parte del combustible no ha reaccionado por completo; se aprecia sustancias combustibles en el humo producido, es decir, hidrocarburos no quemados como: C, H y CO . (Metrogas, 2020)

Otra clasificación es según la velocidad de propagación:

1.6.1.4 Combustión lenta

Se caracteriza por no producir emisiones de luz, ni de calor. En ocasiones se dan en lugares poco ventilados, es decir con bajos niveles de comburente, otra circunstancia en la que se produce es cuando el combustible es muy denso; darse en la primera circunstancia es peligroso ya que, si ingresa una gran cantidad de aire al lugar, podría producirse un incendio o algo similar. (Expower, s.f.)

1.6.1.5 Combustión rápida

Al contrario de la combustión lenta, aquí se observa una gran cantidad de luz y calor, dado este comportamiento se puede producir una explosión, o también llamada combustión instantánea, estas a su vez se clasifican en deflagraciones y detonaciones, la característica es que en una detonación la velocidad de propagación de la llama es superior a la velocidad del sonido, mientras que en la deflagración es inferior. (Expower, s.f.)

1.6.2 Combustibles, comburentes y energía de activación

Son tres elementos esenciales para que se produzca la combustión, forman parte del triángulo de fuego, a continuación, se detalla cada uno:

1.6.2.1 Combustible

Es toda sustancia que puede arder si está en presencia de un comburente, cuando se aplica una energía de activación, como una chispa o una cierta cantidad de calor. Los combustibles se clasifican según su estado en gaseosos, líquidos y sólidos. (Presman, 2021)

Entre los gaseosos se encuentra el gas natural y el gas licuado de petróleo (GLP), son ampliamente utilizados de forma doméstica e industrial. En la **Tabla 1** se observan los principales combustibles gaseosos disponibles en el país según el INEN.

Tabla 1*Clasificación de gases combustibles*

Familia	Nombre del gas	Componente principal	Observación	PCS en volumen (kWh/m³)	Límites de flamabilidad
Primera familia	Gas fabricado	Metano + H ₂ +CO	Tóxico en desuso	5.23	6 a 45
Segunda familia	Gas natural	Metano	No tóxico, inodoro, incoloro	12.2	5 a 15
Tercera familia	GLP	Propano	No tóxico, inodoro,	27.29	2.4 a 9.5
		Butano	inodoro	36	1.8 a 8.4

Nota. Extracto de la clasificación de los gases combustibles. Tomado de Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2260:2010, por Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2010, <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2260.pdf>

Entre los combustibles líquidos se encuentra la gasolina, diésel, queroseno, el petróleo; se usan principalmente en motores ICE (de combustión interna) en calderas, calefactores, entre otros.

Ejemplos de combustibles sólidos son la madera y el carbón, este ha sido usado en centrales térmicas para producir energía y en máquinas a vapor, aunque en esta aplicación ya está en desuso.

Una de las características importantes de los combustibles es su poder calorífico, que es la cantidad de calor que entrega una unidad de masa o volumen del combustible al oxidarse por completo. (Fernandez, s.f.)

1.6.2.2 Comburente

En el proceso de combustión es el que se encarga de llevar a cabo la oxidación, el más abundante es el oxígeno, que se encuentra presente en el aire en una proporción de aproximadamente 21%. De ser necesario llevar a cabo el proceso de combustión en un lugar en el que exista menor concentración de oxígeno, esta se puede realizar si existiere una concentración de al menos 10%. (Expower, s.f.)

1.6.2.3 Energía de activación

Es la energía requerida para que se inicie la combustión, esta puede ser cierta cantidad de calor o una chispa; si el combustible y el comburente se encuentran en contacto no se produce la reacción de forma espontánea, sino que se da gracias a la energía de activación. (Presman, 2021)

1.6.3 *Materiales y equipos*

Se describe los materiales usados para la construcción de la cámara de inflamabilidad el tablero de control y demás accesorios requeridos; así como los equipos implementados para el funcionamiento del equipo.

1.6.3.1 Materiales anticorrosivos

Acero inoxidable

Es el nombre con el que se denomina a todo acero que contenga por lo menos 10.5% de cromo en su aleación, este elemento es el que le da la característica de ser resistente a la corrosión, además puede contener otros elementos como níquel, que incrementa la soldabilidad, ductilidad, dureza, tenacidad del acero; y molibdeno que

incrementa la resistencia a la corrosión en ambientes marinos y ácidos. (Famiq, s.f.) Las características generales que definen a un acero inoxidable son:

- Resistencia a la corrosión
- Superficie compacta, lisa y de fácil mantenimiento
- Material higiénico e inerte
- Elevada resistencia mecánica y ante variaciones térmicas
- Mayor dureza y durabilidad en comparación a otros aceros
- Estético

Se pueden clasificar según los elementos que lo componen, así como su microestructura, siendo aceros austeníticos, ferríticos y martensíticos; entre los más utilizados en la industria alimentaria y laboratorista están el austenítico grado AISI 304 y AISI 316. (Famiq, s.f.)

Latón

Es un material metálico resultado de una aleación entre cobre y zinc, sus propiedades varían según su composición, aunque por lo general, suele estar formado por 60% cobre y 40% zinc. (Alsimet, 2017), destaca por algunas características como:

- Es duro y resistente a la corrosión
- Maleable, dúctil y de fácil mecanización tanto en caliente como en frío
- Tiene una buena conductividad térmica y eléctrica
- Altamente reciclable

Las aplicaciones principales en las que se utiliza incluyen: cerrajería, fontanería, tornillería, tubos, llaves, válvulas, monedas, etc.; dependiendo de la aplicación se le puede añadir otros elementos como aluminio, hierro. Plomo, manganeso, estaño y silicio. (Alsimet, 2017)

1.6.3.2 Dispositivos electrónicos y electromecánicos

Raspberry Pi

Es un ordenador de tamaño compacto y bajo costo, generalmente se usa con hardware y software libre, aunque también se puede instalar otros sistemas operativos. Al conectar a ciertos periféricos como pantalla, teclado y ratón puede funcionar perfectamente como una computadora de escritorio. (Raspberry Pi, s.f.) En la **Figura 1** se observa el modelo más reciente de este ordenador.

Figura 1

Raspberry Pi



Nota. Tomado de Raspberry Pi 4 B, por Raspberry, s.f.,

<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>

En la **Tabla 2** se detalla características representativas de la Raspberry Pi

Tabla 2

Características de ordenador Raspberry Pi 4 B

Característica	Detalle
Procesador	4 núcleos, 64bits, 1.5 Ghz
Memoria RAM	De hasta 8GB

Característica	Detalle
Conexiones	Wireless, Bluetooth y Ethernet
Puertos	USB 2.0 y 3.0, micro-HDMI, display, cámara, microSD, audio, GPIO.
Alimentación	5V DC

Nota. Tomado de Raspberry Pi 4 Tech Specs, por Raspberry Pi, s.f., <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>

Cámara digital

También conocida como cámara web, es un periférico de entrada que por lo general funciona conectado a un ordenador, puede capturar imágenes y video para transmitirlos a través de internet, a una página web, a una plataforma de mensajería, etc. Además de esto tienen aplicaciones en videovigilancia, investigación científica, astronomía, visión artificial, entre otras. Entre sus principales ventajas se tiene alta calidad a un bajo coste y capacidad de ser compacta. (Marker, s.f.) Un ejemplo de esta se observa en la **Figura 2**

Figura 2*Cámara digital*

Nota. Tomado de: Qué es una webcam: Cámara de Computadora, por Tecnología + Informática, s.f., <https://www.tecnologia-informatica.com/camara-web-comprar-webcam/>

Cámara sensor térmico

Dispositivo que permite visualizar temperaturas de 0°C a 80°C a través de un arreglo de 8x8 sensores térmicos marca Panasonic a 10Hz, funciona con 3V o 5V. Se conecta a un microcontrolador o a una Raspberry y entrega 64 valores de temperatura a través de I2C. Puede detectar el calor emitido por una persona hasta a 7m de distancia; es compacto y relativamente económico lo que lo hace práctico para distintas aplicaciones. (Torres, 2021). En la **Figura 3** se observa el modelo AMG8833.

Figura 3*Sensor térmico AMG8833*

Nota. Tomado de: Adafruit AMG8833 8x8 Thermal Camera Sensor, por Learn Adafruit, 2021, <https://learn.adafruit.com/adafruit-amg8833-8x8-thermal-camera-sensor>

Electroválvula

Es un dispositivo electromecánico que puede controlar el paso de un fluido a través de un conducto o tubería. Tiene posiciones de normalmente abierto o cerrado. El cambio de estado se realiza gracias a una bobina solenoide, cuando la misma se energiza. (Arco, 2020)

En la **Figura 4** se observa una de cuerpo de bronce y base de bobina de plástico, que funciona con 24V DC. También existen en otros materiales y que funcionan con alimentación AC.

Figura 4*Electroválvula*

Nota. Tomado de Electroválvula PDGH02, por Cematic, s.f.,

<https://cematic.com/producto/electrovalvula-directa-nc-alto-flujo-alta-temperatura>

Controlador de temperatura

Es un dispositivo que a través de un PID o de un control On/Off permite sensar la variable de temperatura y con un set point definido utilizarla para suministrar o no energía a otro dispositivo, son de carácter industrial y muy robustos. Para medir la temperatura se puede usar una termocupla, una RTD u otros sensores que entreguen una señal de voltaje de 0 a 5V, su rango de medida está determinado por la termocupla empleada. (Maxwell, s.f.) En la **Figura 5** se observa uno de estos dispositivos de la marca Maxwell.

Figura 5

Controlador de temperatura



Nota. Tomado de Controladores de Temperatura, por Maxwell Controls, s.f.,
<https://maxwellcontrols.com/controladores-de-temperatura/>

Relé

Es un interruptor que cambia de posición una vez que se le suministra energía a la bobina del mismo, esto se produce gracias a que al energizar la bobina se genera un campo magnético que hace que el contacto del relé cambie de posición de abierto a cerrado y viceversa. Las aplicaciones en la industria son sumamente amplias, debido a la utilidad del dispositivo como para encender motores abrir o cerrar válvulas, encender luces piloto, etc. Existen para baja y alta tensión, para corriente alterna, así como para corriente continua de un Arduino. (SEAS, 2020) En la **Figura 6** se observa un relé de 110V AC.

Figura 6

Relé



Nota. El Relé: qué es, para que sirve y qué tipos existen, por Seas, 2020, <https://www.seas.es/blog/automatizacion/el-rele-para-que-es-para-que-sirve-y-que-tipos-existen/>

Relé temporizador

Es un dispositivo que funciona como un interruptor si una corriente llega a la bobina del mismo, haciendo que los contactos abiertos se cierren, los contactos cerrados se abran y viceversa cuando la corriente ya no energice a la bobina, todo este procedimiento se lleva a cabo considerando un tiempo transcurrido, según su funcionamiento existen relés temporizadores que funcionan después de un tiempo de energizados (llamados con retardo a la conexión), otros que al energizar la bobina, los contactos cambian de posición y al desenergizar la bobina, empieza a correr el tiempo (llamados con retardo a la desconexión), existen otros tipos, pero los mencionados suelen ser los más utilizados. (AreaTecnología, s.f.) En la **Figura 7** se observa un relé temporizador con retardo a la conexión.

Figura 7*Relé temporizador*

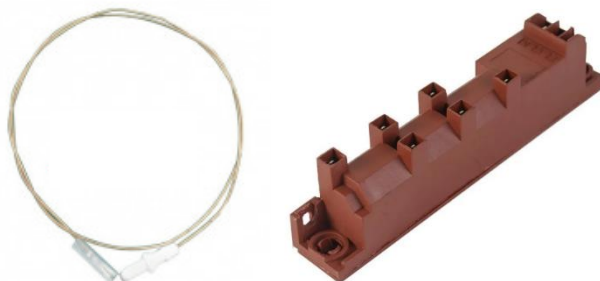
Nota. Tomado de Delay Timer Relay, por Amazon, s.f., https://www.amazon.com/-/es/temporizador-retardo-1-2S-300H-100-240VAC-100-125VDC/dp/B07WWWNPZY?language=en_US

Módulo de chispa y electrodo

Dispositivo que se encuentra principalmente en cocinas a gas modernas, como su nombre lo sugiere brinda una chispa la cual se produce cuando una corriente eléctrica circula a través del módulo, esta chispa es suficiente para encender el gas. Para conducir la chispa hacia el lugar requerido se usa un electrodo, que es un cable recubierto de material aislante y que tiene una boquilla de cerámica para hacerlo resistente al calor. En la **Figura 8** se observa este conjunto de dispositivos del fabricante Mabe.

Figura 8

Módulo de chispa y electrodo



Nota. Tomado de Descripción de Chisperos, por Servicat, s.f.,
<https://repuestoslineablanca.com/6082-6082CHISPEROS>

Portafusibles

Es la estructura que en su interior aloja el fusible, el cual es un dispositivo de protección para instalaciones eléctricas compuesto de un filamento de espesor definido, mismo que se funde una vez que en el circuito fluye una corriente mayor a la cual el fusible está dimensionado, protegiendo así cualquier dispositivo que se encuentre a continuación.

Figura 9

Portafusibles



Nota. Tomado de Portafusible Unipolar, por Renovables del Este, s.f.,
<https://renovablesdeleste.com/producto/portafusible-unipolar-38x10-hasta-38a/>

Ventilador AC

Dispositivo que funciona con un pequeño motor de corriente alterna, dispone de unas aspas que hacen circular aire en una dirección, es barato, aunque tiende a calentarse un poco. (Brico, s.f.) En la **Figura 10** se observa uno que funciona con 110V, tiene una base en aluminio y aspas en plástico.

Figura 10

Ventilador AC



Nota. Tomado de: AC Fan, por Itsale, s.f., https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/91WOLqxyOHL._AC_SY355_.jpg

Selector, interruptor y pulsador

Son dispositivos que permiten o impiden el paso de corriente eléctrica al mover algún elemento mecánico; el pulsador cuenta con un botón que al presionarse cambia de estado y al soltarlo regresa al estado original, el interruptor funciona de manera similar al pulsador, pero cuenta con un enclavamiento, el selector cuenta con una perilla para seleccionar entre dos o más estados de conexión, por lo general estos dispositivos cuentan con contactos normalmente abiertos y cerrados. En la **Figura 11** se observa algunos de estos dispositivos, entre otros.

Figura 11*Interruptores eléctricos*

Nota. Distintos tipos de interruptores además de los mencionados previamente. Tomado de: Interruptores en Instalaciones Eléctricas, por JD Eléctricos, s.f., <https://jdelectricos.com.co/interruptores-instalaciones-electricas/>

Final de carrera

Dispositivo con tres contactos, uno es común, otro es normalmente abierto y el otro normalmente cerrado, consta de alguna clase de accionamiento mecánico que permite cambiar el estado de conexión, dependiendo de cómo esté montado se usa para determinar si una puerta está cerrada, si un cilindro ha llegado al final de su desplazamiento, etc. En la **Figura 12** se observan estos dispositivos con dos acoples diferentes en el accionamiento mecánico.

Figura 12*Final de carrera*

Nota. Tomado de: Interruptor Final de Carrera, por Mazcr, s.f.,
<https://mazcr.com/microinterruptores-y-finales-de-carrera/433062-interruptor-final-de-carrera-15a-250vac-palanca-con-roldada.html>

Luz piloto

Dispositivo luminoso que se usa para dar un aviso visual sobre el estado de un proceso, hay de varios colores entre amarillo, azul, rojo, verde, blanco, etc. Cada color se debe emplear para una circunstancia en particular, según lo definen algunas normas. En la **Figura 13** se observan las más comunes, se usan con corriente alterna.

Figura 13*Luz piloto*

Nota. Tomado de: Luz piloto indicador, por Alibaba, s.f.,
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/ad16-16c-16mm-led-indicator-pilot-light-lamp-12v-24v-220v-380v-60613550019.html>

1.6.3.3 Dispositivos neumáticos y otros

Regulador de Flujo

Es un elemento de control que permite regular la velocidad de un pistón o cilindro neumático de simple o doble efecto, también son utilizados si se requiere regular la cantidad de aire o gas que se suministra a través de su conexión. (Univer, s.f.)

Suelen estar contruidos de distintos materiales en función de la aplicación, como aluminio, latón, etc. Pueden ser de tipo unidireccional o bidireccional. En la **Figura 14** se observa una familia de reguladores de flujo con cuerpo de aluminio y regulador en latón.

Figura 14

Regulador de flujo



Nota. Tomado de: Flow Regulators, por Univer, s.f., https://www.univer-group.com/en/doc/am50_en_c91.pdf

Mechero de Bunsen

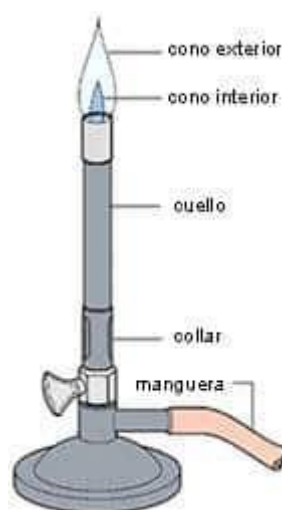
Es un instrumento utilizado principalmente en laboratorios, para calentar y esterilizar muestras, proporciona una llama estable y que se puede regular en función del gas y aire que se suministre al mismo. (TP Laboratorio Químico, s.f.)

Las partes del mismo son una base, collar, cuello, manguera, llave para regular el flujo de gas, como se indica en la **Figura 15**, usa gas natural o gas licuado de petróleo como propano, butano o una mezcla de ambos.

El color y otras características de la llama indican si existe ausencia o exceso de gas y aire.

Figura 15

Mechero de Bunsen



Nota. Partes del Mechero Bunsen. Tomado de Mechero Bunsen, por TP Laboratorio Químico, s.f., <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/mechero-bunsen.html>

El collar es el que permite el paso de aire a la chimenea del mechero para así generar una mezcla con el gas, al variar este parámetro se logra que la combustión sea completa o no.

1.6.4 *Técnicas de construcción*

Aquí se describe brevemente los métodos empleados para llevar a cabo la fabricación de la cámara de inflamabilidad, el tablero de control, accesorios y el portaprobetas, el cuál es parte esencial del equipo.

1.6.4.1 Soldadura TIG

Propiamente soldadura GTAW, por las siglas en inglés, Gas Tungsten Arc Welding, es un proceso de soldadura por arco eléctrico, con electrodo no consumible y protección de atmósfera gaseosa. Dependiendo del espesor de los materiales a soldar y de la aplicación, se puede o no usar material de aporte. (Ingemecánica, s.f.)

El electrodo utilizado es de tungsteno, material con un punto de fusión muy alto, si bien el electro es no consumible con el tiempo se degrada de a poco; el gas inerte generalmente es Argón, aunque también se puede usar Helio, una mezcla de ambos o una mezcla de Argón-Hidrógeno. El gas se encarga de aislar el material fundido con respecto a la atmósfera, para evitar que el charco se contamine. Una característica destacable de este proceso de soldadura es que el resultado final es de alta calidad, si se ejecuta de forma correcta. En la **Tabla 3** se indican de forma resumida, los parámetros importantes sobre este proceso. (Ingemecánica, s.f.)

Tabla 3

Características del proceso de Soldadura TIG

Característica	Detalle
Fuente de Calor	Arco eléctrico
Tipo de electrodo	No consumible de tungsteno

Característica	Detalle
Tipo de protección	Gas Inerte, argón principalmente
Material de aporte	Varilla externa de material similar al que se esté soldando
Limpieza posterior	No se debe realizar, el proceso no desprende escoria
Aplicaciones	En todo metal, desde espesores muy finos
Dificultad	Elevada

Nota. Tomado de Técnica y Fundamentos de la Soldadura TIG, por Ingemecánica, s.f., <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn52.html>

El equipo necesario para llevar a cabo el proceso se observa en la **Figura 16** y consta de:

- Generador de corriente continua y/o alterna, generador de alta frecuencia o de pulsos
- Circuito de gas, con tanque, válvulas, acoples, etc
- Pinza porta electrodo, con electrodo debidamente afilado
- Elementos de control

Figura 16

Equipo de Soldadura TIG



Nota. Tomado de Soldadura TIG equipo, por Soldadoras, s.f.,

<https://soldadoras.info/soldadura-tig-equipo>

Para este tipo de soldadura la corriente eléctrica suministrada juega un papel muy importante, puede ser: continua con polaridad directa, ofrece buena penetración y soporta alta intensidad; continua con polaridad inversa, se obtiene poca penetración y un efecto de limpieza del baño; y con corriente alterna que brinda un efecto intermedio entre los dos tipos mencionados previamente.

1.6.4.2 Procesos de Mecanizado

Es un proceso de fabricación mecánica que se realiza mediante conformado de material, mismo que puede ser de distintos tipos, como:

- Conformado por desprendimiento de material, también conocido como mecanizado por arranque de viruta
- Conformado por deformación plástica
- Conformado por moldeo (añadir material)

El que se detalla a continuación es el mecanizado por arranque de viruta.

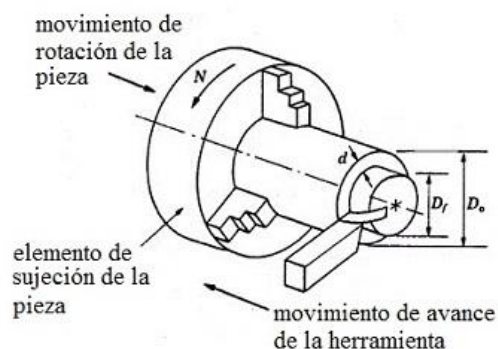
El mecanizado por arranque o desprendimiento de viruta es un procedimiento en el cual, al partir de una pieza inicial, se da forma, dimensiones y acabados al eliminar partes de la pieza inicial, con el uso de herramientas de filo y tareas mecánicas. Para retirar el material se pueden usar herramientas de corte con filo definido geoméricamente, la herramienta arranca el material con la cuña de los filos, ejemplos de estos procesos son: torneado, fresado, taladrado, limado, cepillado, etc.; otra forma de retirar el material es con herramientas con filos no definidos, la herramienta arranca el material a través de granos abrasivos, ejemplos de estos son: rectificado o bruñido. (Ingemecánica, 2017)

Las operaciones principales de mecanizado que se suelen observar son:

- Torneado, se realiza al rotar la pieza y desplazar la herramienta de corte situada en el torno. Este proceso permite obtener piezas con geometrías de revolución, en la **Figura 17** se observa una pieza montada en el torno y la herramienta de corte desplazándose para dar forma a un cilindro.

Figura 17

Proceso de Torneado

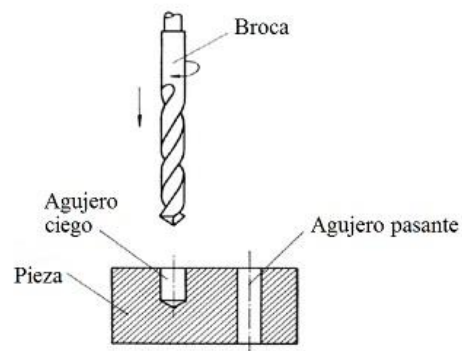


Nota. Tomado de Fundamentos de los Procesos de Mecanizado, por Ingemecánica, s.f., <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn38.html>

- Fresado, la herramienta es rotativa y la pieza se encuentra en una base fija, el arranque de material se logra con un conjunto de desplazamientos de la base y la herramienta. Dichos desplazamientos se logran linealmente en los ejes X, Y, Z; se puede generar piezas de todas las geometrías e incluso de dimensiones muy reducidas.
- Taladrado, sirve para realizar agujeros pasantes o ciegos, la herramienta de corte se conoce como broca y puede estar fabricada de distintos materiales como acero y reforzada con titanio o cobalto; el arranque del material se obtiene al rotar la herramienta y desplazarla longitudinalmente sobre la pieza, en la **Figura 18** se observa el proceso de taladrado de dos agujeros; existen varios tipos de taladradoras como de pedestal, radial, múltiple.

Figura 18

Taladrado de agujeros



Nota. Tomado de Fundamentos de los Procesos de Mecanizado, por Ingemecánica, s.f., <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn38.html>

Para llevar a cabo estas operaciones se toma en cuenta algunos parámetros de corte, como:

- Velocidad de corte (V_c), velocidad de la herramienta respecto a la pieza en dirección y sentido del movimiento. La Ecuación (1) indica la expresión para calcular la velocidad de corte en operaciones de fresado o torneado.

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (1)$$

Donde:

V_c , es la velocidad de corte, expresado en m/min .

d , es el diámetro de la herramienta para fresado, o el diámetro de la pieza para fresado, en mm .

n , velocidad de giro de la pieza, en revoluciones por minuto ($r.p.m.$)

- Avance (a), desplazamiento que la herramienta hace durante cada revolución
- Velocidad de avance (V_a), misma que se puede calcular conociendo el avance y la velocidad de giro a través de la Ecuación (2)

$$V_a = a \cdot n \quad (2)$$

Donde:

a , es el avance expresado en mm .

- Profundidad de corte (p), distancia que penetra la herramienta en cada operación de desplazamiento.

Fresado CNC

Consiste en la operación de mecanizado antes mencionada pero cuando el control de la máquina herramienta se da a través de un ordenador, el término CNC

atiende a las siglas en inglés Computer Numerical Control. (FerrosPlanes, 2019) La

Tabla 4 indica algunas ventajas de este procedimiento con respecto a su contraparte manual.

Tabla 4

Ventajas del Control Numérico Computarizado

Característica	Detalle
Automatización	Debido a que reduce la intervención de los operarios en el proceso de manufactura
Precisión	Las máquinas cuentan con una repetibilidad sumamente alta, lo que asegura la precisión
Flexibilidad	Realizar pequeñas modificaciones es posible y eficaz
Seguridad	Reduce la probabilidad de accidentes debido a la menor interacción del operario

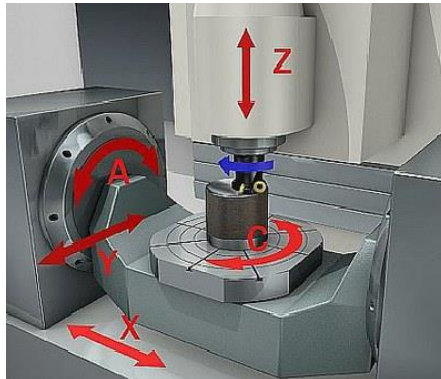
Nota. Tomado de El mecanizado CNC en la industria del metal y el tubo, por FerrosPlanes, 2019, <https://ferrosplanes.com/mecanizado-cnc/>

También presenta desventajas en cuánto al costo y a la necesidad de operarios más capacitados, sin embargo, se compensa con la elevada productividad que pueden brindar estos procesos. Además de suprimir ciertas palancas y manivelas, en las fresadoras CNC se suele observar más de tres ejes de movimiento, lo que le confiere la

capacidad de realizar movimientos lineales y rotatorios, en la **Figura 19** se observa una fresadora con estas características.

Figura 19

Modelo de una fresadora CNC



Nota. Tomado de Fresado, por Instituto de Máquina Herramienta s.f.,
<https://www.imh.eus/es/imh/comunicacion/docu-libre/procesos-fabricacion/mecanizado/arranque-de-viruta/fresado>

Electroerosión

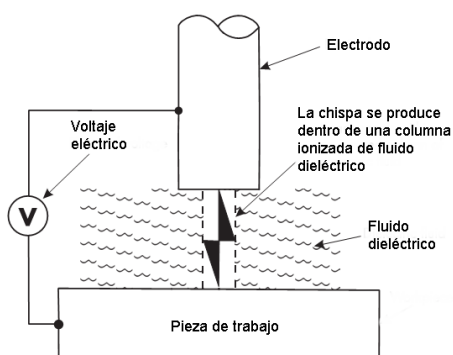
Es un proceso de mecanizado por arranque de viruta que emplea una descarga eléctrica controlada, producida desde un electrodo hacia la pieza de trabajo en presencia de un fluido dieléctrico. El electrodo representa la herramienta de corte y suele ser de cobre o de grafito. (Izanda, s.f.)

Presenta una ventaja significativa con respecto a otros procesos de mecanizado por arranque de viruta, en que la pieza y la herramienta de corte no entran en contacto físico directo, lo que elimina las fuerzas generadas debido al mecanizado, permitiendo así realizar formas de dimensiones que romperían fresas o brocas en procesos convencionales.

Los parámetros a controlar en este proceso son la corriente aplicada, el tiempo de aplicación, y la separación entre el electrodo y la pieza, en la **Figura 20** se observa el proceso de electroerosión.

Figura 20

Proceso de Electroerosión



Nota. El electrodo realiza una descarga eléctrica sobre la pieza de trabajo. Tomado de Introducción al Mecanizado por Electroerosión, por De máquinas y Herramientas, 2018, <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/mecanizado-por-electroerosionfabricacion/mecanizado/arranque-de-viruta/fresado>

1.6.5 **Materiales internos en carrocerías**

Los materiales que se pueden colocar al interior de las carrocerías fabricadas localmente son varios, sin embargo, entre los más frecuentes, están:

1.6.5.1 **Textiles**

Es el material resultante de tejer hilos, filamentos o fibras para formar una tela, pueden ser de tipo natural como el algodón, lino, cáñamo, etc. o de tipo sintético como el nylon, el rayón, poliéster y otros. Tienen una alta resistencia a la abrasión y al desgaste, son de bajo mantenimiento y por lo general económicos. (Udale, 2014)

En carrocerías se usa para tapicería de asientos y recubrimiento de otras superficies.

1.6.5.2 Elastómeros

Son materiales poliméricos que tienen un comportamiento elástico, pueden soportar grandes deformaciones para después volver a su forma original, normalmente son duros y rígidos; sobre cierta temperatura cambian su estado a gomoso, elástico y flexible. (Flowtrend, 2020) Un ejemplo es el poliuretano que está construido a partir de varios elastómeros y se usan para revestimientos, soportes, asientos, etc.

1.6.5.3 Termoplásticos

Son plásticos que, a temperaturas generalmente altas, se ablandan lo suficiente para ser deformables o flexibles y así modificar su forma. Pueden pasar por este proceso de calentamiento y enfriamiento por varias ocasiones sin perder sus propiedades. Ejemplos incluyen: poliamida (PA) también conocida como Nylon, policarbonato (PC), polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC). (Aristegui, 2020)

1.6.5.4 Materiales compuestos

Son aquellos que se forman por la unión de dos materiales de diferentes naturalezas, para obtener un nuevo material con mejores propiedades con respecto a los materiales en unitario, por lo general son igual o más resistentes con menor peso. Dichas dos partes son una matriz y un refuerzo de fibra o lámina. El ejemplo más utilizado en carrocerías es la fibra de vidrio. (Aimplas, 2019)

1.6.6 Técnicas de control

Se refiere al conjunto de automatismos y programación para llevar a cabo un proceso con la menor intervención de un operario, son de gran utilidad principalmente en tareas repetitivas o que supongan un peligro para el operario. Pueden llevarse a cabo de manera sencilla con lógica cableada o de contactos o más compleja con unidades programables, pero que permiten procesos más complejos y flexibles.

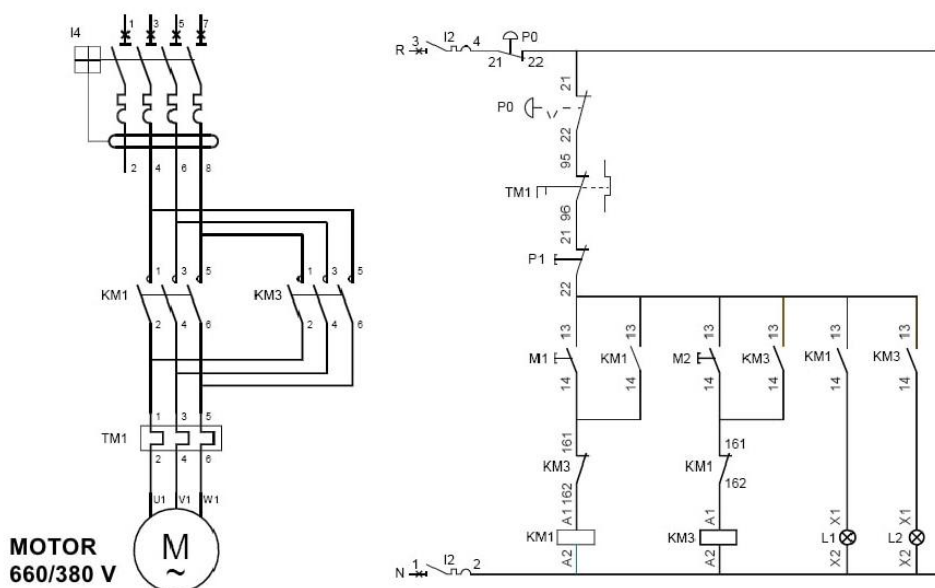
1.6.6.1 Lógica cableada o de contactos

Es una forma de realizar control, en la que, con el uso de botones, fines de carrera, sensores, presóstatos, etc. y contactores, relés auxiliares, temporizadores y contadores se lleva a cabo el control a través de la conexión de estos elementos. Dicha conexión permite ejecutar secuencias de activación y desactivación de los elementos, como por ejemplo encender o apagar motores, abrir o cerrar válvulas, etc. (EMB, s.f.)

La ventaja de este tipo de control es su practicidad para aplicaciones relativamente sencillas, sin embargo, debido a la naturaleza de su conexión es poco flexible, lo que limita las mejoras que se deseen implementar. En la **Figura 21** se observa el diagrama de conexión con inversión de giro para un motor trifásico realizado con lógica cableada, se logra implementar este control únicamente con dispositivos electromecánicos.

Figura 21

Diagrama de conexión en lógica cableada



Nota. Tomado de Lógica Cableada, por F. Blanco en Slideshare, 2009,

<https://es.slideshare.net/federicoblanco2009/02-logica-cableada>

1.6.7 Visión Artificial

1.6.7.1 Lenguaje de programación

Open CV

Es una biblioteca libre de visión artificial, desarrollada originalmente por Intel, sus siglas significan “Visión Artificial Abierta” del término en inglés, es muy popular si se requiere desarrollar aplicaciones de detección de movimiento, reconocimiento de objetos y gestos, reconocimiento facial, reconstrucción 3D a partir de imágenes, tracking, realidad aumentada, entre otros. (Marín, 2020)

Entre sus principales beneficios destacan:

- Es software de uso libre, lo que permite que sea usado para propósitos de investigación y comerciales.
- Es multiplataforma, ya que está disponible para sistemas operativos Linux, Mac OS, Windows, Android.
- Existe una gran cantidad de documentación explicada en internet, los desarrolladores están constantemente compartiendo información con ejemplos de uso y funciones útiles en diversos sitios en internet.

Los algoritmos que se pueden implementar gracias a OpenCV se encuentran disponibles en diversas bibliotecas de forma gratuita, actualmente es la biblioteca de visión por computadora más grande en términos de funciones poseídas. (Marín, 2020)

Al estar orientado a trabajar con imágenes, dispone de varias funciones que permiten obtener y almacenar las imágenes como matrices y transformarlas a escala de grises, o binaria, representarlas en forma RGB, HSV, etc.

Funciones principales

Para el desarrollo de un algoritmo de visión artificial se requiere como base de algunas funciones importantes, el uso y sintaxis de las mismas se describe a continuación.

Función inRange

Esta es una función que permite filtrar una ventana de valores para píxeles en una imagen. Por ejemplo, esta función se utilizaría en el procedimiento de crear un rastreador por color, para obtener como resultado una imagen binaria con el objeto detectado. (Estrada, 2018)

Su sintaxis es:

```
salida = cv2.inRange(entrada, valor_minimo, valor_máximo)
```

Función threshold

Permite la segmentación de imágenes cuyo objetivo es separar un objeto de interés del fondo de una imagen. Hay que tomar en cuenta que para su aplicación deben emplearse imágenes en las que el objeto y el fondo sean diferenciables, ya que, si no lo son, va a ser mucho más difícil determinar dicho objeto. Se utilizan principalmente imágenes en escala de grises. Dependiendo de la necesidad se pueda usar otros tipos de umbralización, como invertida, adaptativa, etc. (Solano, s.f.)

Su sintaxis es:

```
MatrizSalida = cv2.threshold (ImagenGris, #Umbral, #NuevoValorAsignado,
cv2.THRESH_BINARY)
```

Función dilate, erode

La función dilate, en conjunto a la función erode, son un grupo de funciones que procesan las características morfológicas de los objetos, la función dilate se encarga de convolucionar una imagen A, con un Kernel B, mismo que puede tener cualquier forma o tamaño, por lo general un círculo o cuadrado. El resultado es que el fondo claro se dilata alrededor de las regiones oscuras de una letra por ejemplo, también se usa la función erode, que en esencia hace lo mismo que la función dilate sin embargo en sentido contrario, su sintaxis es similar. (Iftikhar, 2018)

Su sintaxis es:

```
Imagensalida=cv2.dilate( ImagenOriginal, kernel, iterations=1);
```

```
Imagensalida=cv2.erode( ImagenOriginal, kernel, iterations=1);
```

Función findContours

Los contornos son la curva de puntos continuos que tienen la misma intensidad en una zona delimitada, son útiles para reconocer la forma de un objeto, así como su

detección e interpretación, esta función se encarga básicamente de encontrar un objeto claro, en un fondo oscuro. (OpenCV, 2020)

Su sintaxis es:

```
contours, hierarchy = cv.findContours(thresh, cv.RETR_TREE,
cv.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
```

Función drawContours

Similar a la anterior se usa al trabajar con los contornos de imágenes para definir la forma de un objeto, en este caso genera el objeto que se quiere presentar en la imagen. (OpenCV, 2020)

Su sintaxis es:

```
cv.drawContours(imagen, mododecontorno, -1, (colorR,colorG,colorB),
grosordelinea)
```

1.6.7.2 Interfaz gráfica

Es un programa que, a través de un conjunto de imágenes y objetos, permite al usuario intercambiar información con el ordenador, en esta interfaz pueden existir menús, íconos, botones, gráficas, datos, etc. El principal objetivo al implementar un programa de este tipo es que sea de fácil comprensión, aprendizaje y uso.

En este caso se usa tkinter que es un módulo de creación de interfaces gráficas de Python, permite desarrollar aplicaciones relativamente complejas en poco tiempo. (Python, 2021) La principal ventaja de usar tkinter es su velocidad.

1.6.8 Normas y estándares

1.6.8.1 ISO 3795

Es una norma internacional que lleva por título: Vehículos de carretera, tractores y maquinaria para la agricultura y la silvicultura. Determinación del comportamiento de

combustión de materiales interiores. Especifica el método para determinar la tasa de combustión horizontal de los materiales usados en el interior de vehículos después de que se expone a una pequeña llama. Se puede ensayar los materiales de manera individual o de manera combinada con un espesor de hasta 13 mm. Fue revisada y confirmada por última vez en 2019 por el comité ISO/TC 22, por lo tanto, sigue vigente.

El procedimiento de ensayo indica que al interior de una cámara de flamabilidad de ciertas dimensiones y realizada en material anticorrosivo, se coloque un mechero de bunsen con diámetro interno de 9.5 mm, luego se sitúa una probeta para que entre en contacto con la llama generada por el mechero y así estimar cuánto tiempo tarda en consumirse el material ensayado. (ISO, 2019)

1.6.8.2 SAE J369

Es una norma que de manera similar a la ISO 3795, busca establecer un método para ensayar probetas de forma horizontal, pero con ligeros ajustes en las dimensiones de la cámara de inflamabilidad y en los requerimientos de las probetas previo al ensayo como tal; otra característica en la que difiere levemente es que esta norma está pensada para ensayar materiales poliméricos, dejando de lado la generalización que hace ISO al ensayar materiales presentes en el interior de las carrocerías. Se puede decir también que esta norma se ensaya en países donde la Sociedad de Ingenieros de Automoción tenga más influencia. (SAE, 2019)

1.6.8.3 FMVSS 302

Es otra norma para ensayar materiales de forma horizontal y determinar su comportamiento frente al fuego, fue desarrollada por la FMVSS, siglas que corresponden a *Federal Motor Vehicle Safety Standards*; está basada en la norma ISO 3795 y en la norma SAE J369, con la diferencia que define además un valor fijo para la

tasa de combustión de los materiales ensayados, misma que debe ser menor a 102 mm/min, se da este valor con el objetivo de establecer una tasa de combustión baja para así reducir la severidad y frecuencia de quemaduras e incrementar el tiempo en el que los ocupantes de un vehículo pueden evacuar el mismo, en caso de un incidente.(Hennessey, 2017)

1.6.8.4 INEN-ANT

El Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) ha generado algunas Normas Técnicas en lo que concierne a las características que debe tener un vehículo destinado al transporte de personas, tipo bus, sea escolar, urbano, interprovincial, intrarregional; así como Reglamentos Técnicos con el mismo fin, en estas normas y reglamentos se indica que los materiales utilizados al interior de las carrocerías deben tener una baja combustibilidad o tener la capacidad de retardar el fuego, con una tasa de combustión menor a 250 mm/min, también define el procedimiento por el cual se debe llevar a cabo el ensayo para determinar dicha variable. Lo indicado por el INEN en sus normas debe ser implementado para la construcción de buses en el país y para la importación de los mismos desde otros mercados, para así poder cumplir con una ficha de homologación que exige la Agencia Nacional de Tránsito.

1.6.9 Estado del arte

Los equipos que permiten llevar a cabo el ensayo de flamabilidad siguen los lineamientos descritos según una Norma ISO, SAE o FMVSS, en cuanto a dimensiones especificadas, materiales, equipos que lo conforman, procedimiento de ensayo y entrega de resultados; se describen a continuación algunos de ellos.

1.6.9.1 Equipos manuales

Constan de la cámara para realizar los ensayos con agujeros para ventilación, un mechero Bunsen, un portaprobetas con su soporte, una ventana de observación y la conexión a una fuente de combustible; el proceso requiere iniciar la llama a través de un encendedor de bolsillo o algún objeto similar, la toma del tiempo se hace con un cronómetro adicional no incluido con el equipo; es por tanto la forma más básica de llevar a cabo el ensayo, equipos de esta forma lo ofrece el fabricante español Instruments J. Bot. y el fabricante inglés Fire Testing Technology, en la **Figura 22** se observa dicho equipo, para este además se dispone de un control de flujo en la parte externa del equipo, lo cual aporta algo más de seguridad al realizar el ensayo.

Figura 22

Equipo Fire Testing Technology FMVSS 302



Nota. Tomado de FMVSS 302, por Fire Testing Technology, s.f., <https://www.fire-testing.com/fmvss-302/>

1.6.9.2 Equipos semi-automáticos

Aquí encontramos equipos que además de proporcionar lo visto en equipos manuales, permiten gracias a un tablero de control iniciar el proceso, así como la toma

de tiempo en el equipo como tal, un ejemplo es el del fabricante chino Testex, que se observa en la **Figura 23**.

Figura 23

Equipo Testex TF311



Nota. Tomado de Horizontal Flammability Tester TF311, por Testex, s.f.,
<https://www.testextextile.com/product/horizontal-flammability-tester-tf311/>

Capítulo II

Diseño del Concepto

En este capítulo se describe el diseño de la parte física de la cámara de inflamabilidad y de los demás componentes del equipo, también se desarrolla la parte de control. Se realiza la selección ponderada de los dispositivos más importantes para el proyecto.

2.1 Planificación y factibilidad del Diseño

En primer lugar, se determina las características que debe tener el equipo en función de lo requerido por el cliente, esto se hace a través de la matriz QFD. Así mismo se exponen todos los parámetros que deben ser tomados en cuenta para desarrollar el equipo.

2.1.1 *Matriz de Calidad*

En la matriz de calidad se incorporan y comparan las necesidades y expectativas del usuario, con las alternativas de solución presentadas por el diseñador, para dar prioridad y satisfacer las mismas en función de la importancia que tengan de manera general en el equipo.

2.1.1.1 **Necesidades del usuario**

Las características del equipo son solicitadas por el usuario, que en este caso corresponde a los Asistentes Técnicos del Área de Ensayos e Inspecciones, del Centro de Fomento Metalmeccánico Carrocero, las mismas se indican en la **Tabla 5**.

Tabla 5*Necesidades de los usuarios*

No.	Necesidad
1	Cumplir con normativa vigente
2	Trabajo continuo del equipo
3	Robustez en ambiente industrial
4	Fácil de usar
5	Bajo mantenimiento
6	Económica
7	Uso con software libre

2.1.1.2 Alternativas de solución

Las especificaciones técnicas son presentadas por quien desarrolla el proyecto, deben representar la forma en la que se va a dar solución cada uno de los requerimientos del cliente, para posteriormente compararlos y determinar la relación que existe entre todos. En la **Tabla 6** se lista las especificaciones con las que se busca desarrollar el equipo.

Tabla 6*Alternativas de solución*

No.	Alternativa de solución
1	Materiales y técnicas de construcción
2	Repetibilidad en el proceso
3	Dispositivos empleados
4	Automatismos
5	Equipo modular

No.	Alternativa de solución
6	Componentes normalizados
7	Software libre

Una vez definido los requerimientos del cliente, y las alternativas de solución de parte del diseñador, se desarrolla la matriz QFD teniendo en cuenta la escala japonesa de relación indicada en la **Tabla 7**, así como la escala de correlación indicada en la **Tabla 8**. (Llorente, s.f.)

Tabla 7

Escala japonesa de relación

Símbolo	Descripción	Valor
●	Relación fuerte	5
O	Relación moderada	3
▲	Relación débil	1
	Ninguna relación	0

Nota. Tomado de Despliegue de la función de calidad QFD, por J, Llorente, 2019, <http://gestion-calidad.com/wp-content/uploads/2016/09/QFD.pdf>

Tabla 8

Escala de correlaciones

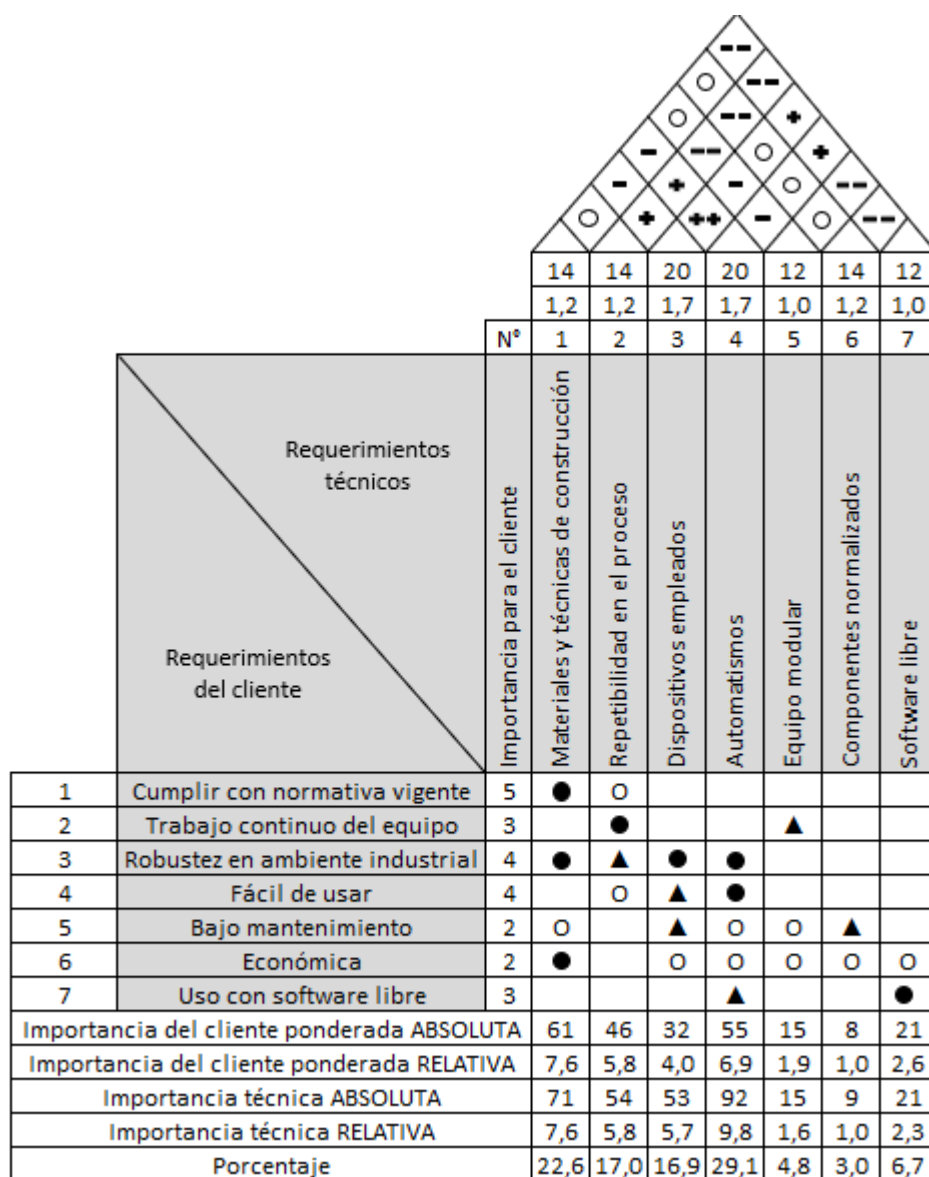
Símbolo	Descripción	Valor
++	Relación fuerte	5
+	Relación moderada	4
O	Relación débil	3
-	Relación muy débil	2
--	Ninguna relación	1

Nota. Tomado de Despliegue de la función de calidad QFD, por J, Llorente, 2019, <http://gestion-calidad.com/wp-content/uploads/2016/09/QFD.pdf>

En la **Figura 24** se observa el desarrollo de la matriz QFD, implementando los requerimientos del usuario, así como los requerimientos técnicos o alternativas de solución, que van a resolver esas necesidades, tras aplicar las ponderaciones correspondientes se obtiene el resultado.

Figura 24

Matriz QFD



Con los resultados obtenidos de la matriz QFD se puede determinar las áreas del equipo a las que se debe dar prioridad, en la **Tabla 9** se recopila en orden de importancia dicho resultado.

Tabla 9

Resultados de la matriz QFD

Hito	Características técnicas	Porcentaje
1	Automatismos	29.1%
2	Materiales y técnicas de construcción	22.6%
3	Repetibilidad en el proceso	17%
4	Dispositivos empleados	16.9%
5	Software libre	6.7%
6	Equipo modular	4.8%
7	Componentes normalizados	3%

Por tanto, la selección de los automatismos para la máquina, así como los materiales y técnicas de construcción deben ser cuidadosamente elegidos para cumplir así con lo requerido por el usuario.

El proceso genérico del desarrollo de productos especificado por Ulrich y Eppinger (2009), establece una secuencia de seis pasos:

- a. Planeación: Representa identificar necesidades u oportunidades, para así iniciar con un proyecto.
- b. Desarrollo del concepto: Se identifican las necesidades del usuario objetivo, plantear conceptos y alternativas, posteriormente se selecciona una, para iniciar con el desarrollo.

- c. Diseño a nivel sistema: Se define los módulos, sistemas o subsistemas que conforman el producto, para poder abarcarlos de uno en uno.
- d. Diseño de detalle: En esta fase se incluyen las especificaciones completas de la geometría, materiales, medidas y tolerancias de todas las partes del producto, también se determina piezas de tamaño estándar a ser adquiridas.
- e. Pruebas y refinamiento: Comprende construir el equipo y someterlo a funcionamiento en condiciones normales, para determinar si cumple con lo requerido
- f. Inicio de producción: Una vez que se ha probado el producto, se capacita a los encargados de la producción y se pone en marcha la fabricación en masa.

Considerando la naturaleza de este trabajo, la Planeación ya ha sido realizada, en vista de que se identificó la necesidad y se aprobó la ejecución del proyecto; el Inicio de la Producción no se realiza en vista de que este equipo será el único en fabricarse; y finalmente las Pruebas y Refinamiento se desarrollan en capítulos posteriores.

Por ello a continuación se describe el Desarrollo de Conceptos, Diseño a nivel sistema y Diseño de detalle, para los sistemas mecánicos y de control del equipo.

2.2 Criterios de diseño

2.2.1 Especificaciones del equipo y método de ensayo

Esta sección corresponde al desarrollo de conceptos, lo primero que se debe considerar para un prototipo es partir de las Normas Técnicas mencionadas previamente en este documento, las cuales son ISO 3795, SAE J369 y FMVSS 302, las mismas especifican el método de ensayo que se debe seguir para realizar pruebas de

inflamabilidad horizontal en materiales interiores de carrocerías, si bien todas especifican un enfoque bastante similar al desarrollo del ensayo, se toma la norma ISO 3795 a petición del usuario, ya que se desea acreditar el procedimiento ante el organismo nacional correspondiente.

La norma ISO 3795 especifica las características de la cámara de inflamabilidad, los porta-probetas, quemador de gas, gas de prueba, características del medidor de tiempo, campana extractora de humos, características de las probetas, método de ensayo, determinación de la tasa de combustión, informe de resultados. (ISO, 2019) A continuación, se detalla cada ítem.

Cámara de Inflamabilidad

Debe estar construida preferiblemente de acero inoxidable, con las dimensiones especificadas en la **Figura 25** y cumplir con los criterios indicados en la **Tabla 10**.

Tabla 10

Características de la cámara de inflamabilidad

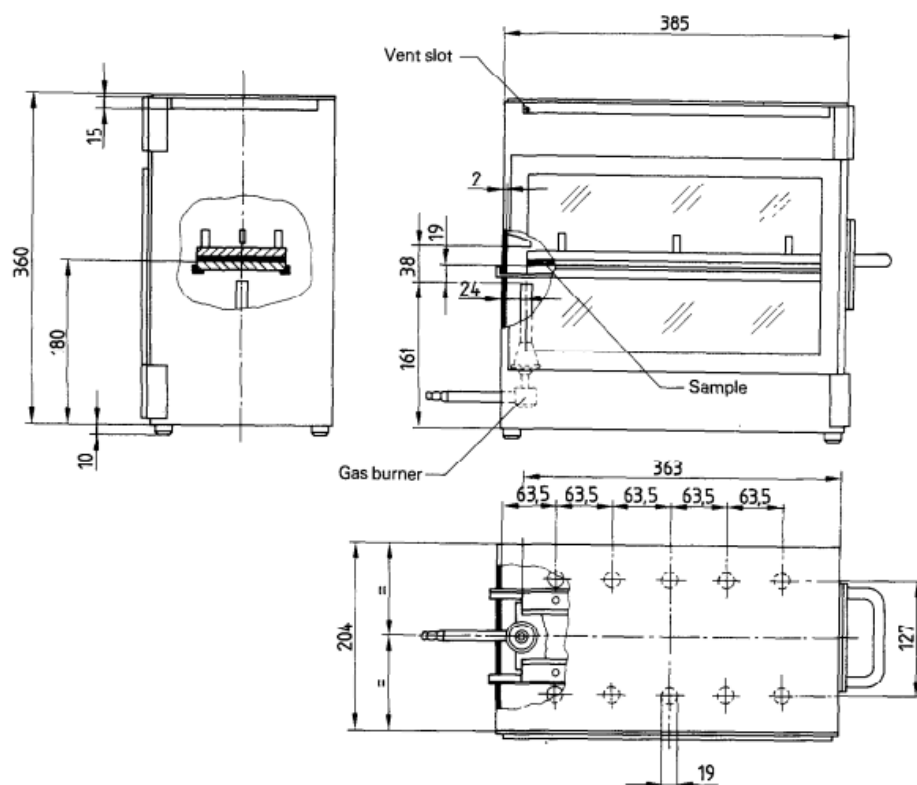
Característica	Detalle
Material	Preferentemente acero inoxidable
Ventana de observación	Colocada en la parte frontal, con vidrio resistente a altas temperatura, puede servir como puerta de acceso
Ventilación	En la base y en el techo, debe estar suspendida al menos a 10 mm del suelo
Agujeros	Uno para el porta-probetas y uno para línea de gas

Característica	Detalle
Accesorios	Depósito para restos producidos durante ensayos

Nota. Tomado de: ISO 3795:1989. Road vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry — Determination of burning behaviour of interior materials, por ISO, 2019, <https://www.iso.org/standard/9328.html>

Figura 25

Dimensiones cámara de inflamabilidad



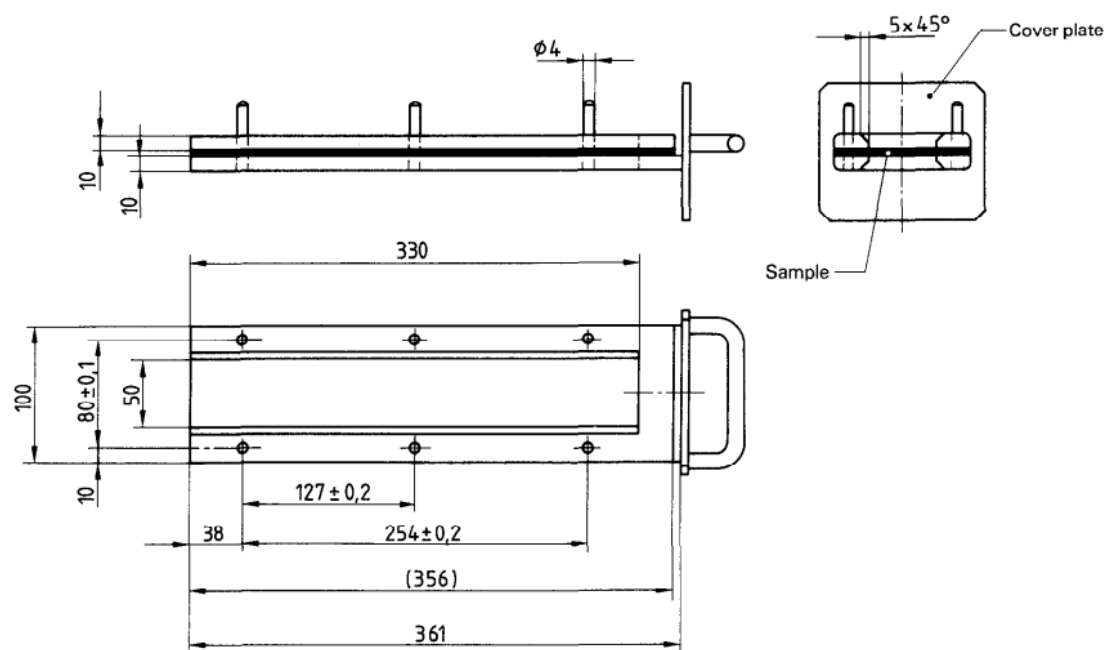
Nota. Tomado de: ISO 3795:1989. Road vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry — Determination of burning behaviour of interior materials, por ISO, 2019, <https://www.iso.org/standard/9328.html>

Porta-probetas

Consiste de dos platinas de acero inoxidable con forma de U, cuyas medidas se observan en la **Figura 26**, el porta-probetas inferior consta de unos pines que sirven como guías para colocar el porta-probetas superior, se coloca también un alambre hecho de material resistente al fuego sobre unos canales provistos en el porta-probetas inferior. Debe colocarse en el interior de la cámara a 178 mm desde la base del equipo y centrado con respecto a los demás planos.

Figura 26

Dimensiones porta-probetas

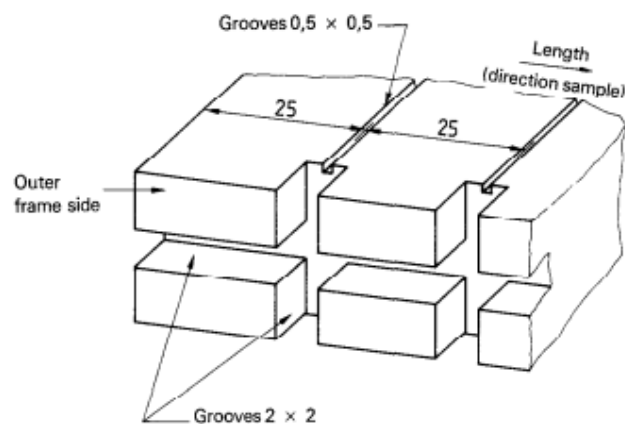


Nota. Tomado de: ISO 3795:1989. Road vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry — Determination of burning behaviour of interior materials, por ISO, 2019, <https://www.iso.org/standard/9328.html>

En la **Figura 27** se observa el detalle del ranurado en el porta-probetas inferior, se aprecia desde el lado izquierdo o con la abertura de la platina en forma de U.

Figura 27

Detalle de ranuras en porta-probetas



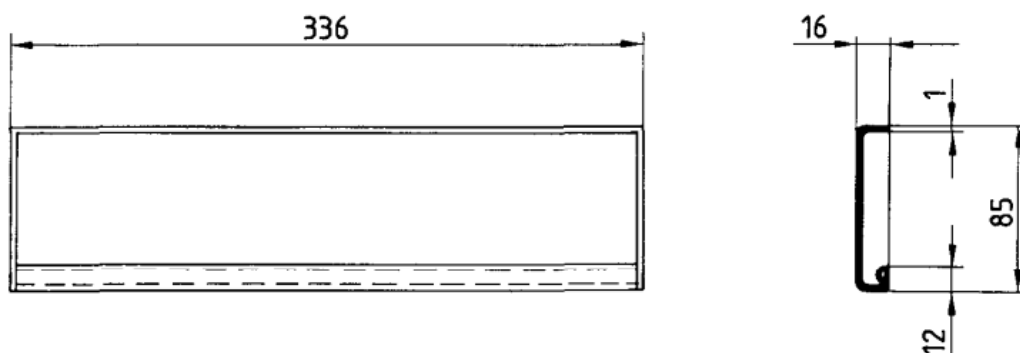
Nota. Tomado de: ISO 3795:1989. Road vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry — Determination of burning behaviour of interior materials, por ISO, 2019, <https://www.iso.org/standard/9328.html>

Bandeja recolectora

El equipo debe contar con una bandeja en la que se pueda ir depositando los restos desprendidos de las muestras conforme se vayan quemando por acción de la llama, debe estar realizada en acero inoxidable, la forma general y dimensiones quedan a consideración del diseñador, sin embargo, en la **Figura 28** se aprecia un ejemplo. La única especificación es que cuando se coloque la bandeja al interior de la cámara, esta no obstruya los agujeros en la base destinados a ventilación.

Figura 28

Ejemplo de bandeja recolectora



Nota. Tomado de: ISO 3795:1989. Road vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry — Determination of burning behaviour of interior materials, por ISO, 2019, <https://www.iso.org/standard/9328.html>

Quemador de gas

Al interior de la cámara se debe disponer de una llama provista por un Mechero Bunsen, con un diámetro interno de 9.5 mm, se coloca hacia el lado izquierdo de la cámara y a 19 mm por debajo de la altura de las muestras a ensayar.

Gas de prueba

El gas proporcionado debe tener un valor calorífico de aproximadamente 38 MJ/m³, un gas sugerido, pero no obligado por la norma es el gas natural.

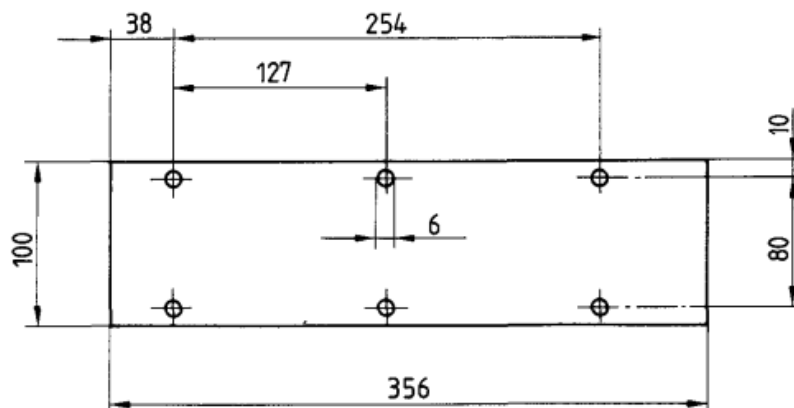
Probetas o muestras para ensayo

La forma y dimensión de las probetas se observan en la **Figura 29**, el espesor máximo de una muestra es de 13 mm, sea individual o en el caso que se requiera con una combinación de materiales. La muestra además debe tener un espesor constante a

través de toda su longitud. Los materiales abarcan a cualquiera que se vaya a colocar al interior de la carrocería.

Figura 29

Probeta para ensayo



Nota. Tomado de: ISO 3795:1989. Road vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry — Determination of burning behaviour of interior materials, por ISO, 2019, <https://www.iso.org/standard/9328.html>

Se puede ensayar probetas que no cumplan con los criterios dimensionales según la **Figura 29**, como en el caso que tengan un ancho de entre 3 mm a 60 mm, simplemente se coloca en sentido del ancho para el ensayo; otro escenario permitido para el ensayo es cuando se tiene un ancho de 60 mm a 100 mm, siempre y cuando la longitud sea de al menos 138 mm. Si una probeta tampoco cumple con estos criterios dimensionales, entonces no se puede ensayar bajo este método.

Acondicionamiento previo al ensayo

Las muestras deben acondicionarse por al menos 24 horas, pero no más de 7 días a una temperatura de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ y a una humedad relativa del $50\% \pm 5\%$.

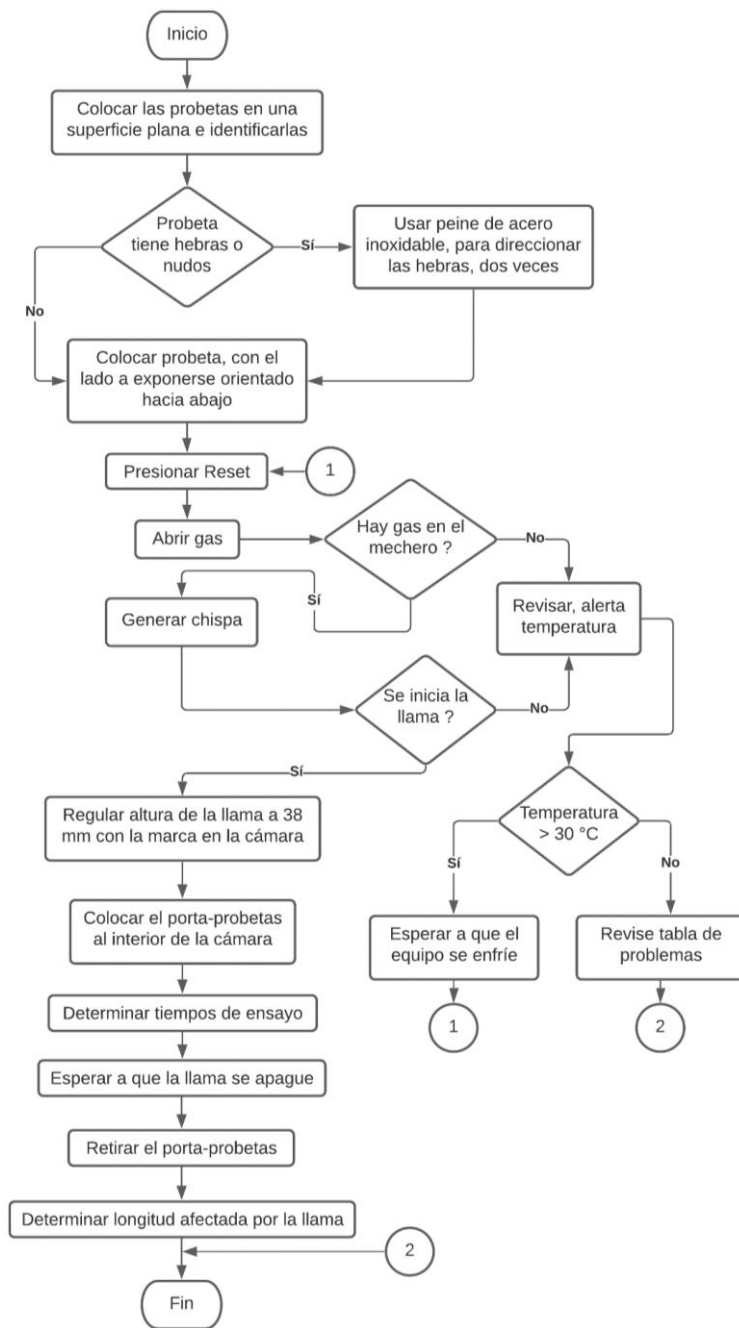
Para esto se debe disponer de un equipo por separado, ó emular estas características de forma manual.

Procedimiento de ensayo

El procedimiento se debe realizar para cada grupo de muestras distintas que se ensayen y se realiza como se indica en la **Figura 30**.

Figura 30

Procedimiento de ensayo



Para determinar la tasa de combustión B, se usa la Ecuación (3), se expresa en mm/min.

$$B = \frac{s}{t} \quad (3)$$

Donde:

s , es la distancia alcanzada por la llama, expresado en mm .

t , es el tiempo que se tardó en consumirse la distancia s , en seg .

Informe de resultados

Una vez realizado el ensayo, se procede a generar un informe con la información que se indica a continuación:

- Características de la probeta (tipo, color, etc)
- Ensayo de material en unitario o en conjunto
- Dimensiones de la probeta, con espesor máximo y mínimo
- Instrucciones sobre preparación de probeta
- Posición de la probeta durante el ensayo (longitudinal o transversal)
- Número de probetas ensayados en ese grupo
- Resultado de: distancia alcanzada por la llama, tiempo y tasa de combustión
- Observaciones con respecto a si es auto extinguido
- Condiciones durante el ensayo (Uso de ventilador, o campana de humo)
- Condiciones ambientales especiales (temperatura y humedad relativa)
- Fecha y Hora de ensayo

2.2.2 Criterios de Seguridad

Para la manipulación de cualquier equipo y en general llevar a cabo cualquier actividad en la industria, se debe considerar que siempre existen riesgos implícitos, a estos se les suele denominar riesgos laborales, en las empresas se desarrollan

actividades, para evitar o disminuir daños y lesiones que los trabajadores pueden tener al desenvolverse en sus tareas, de ahí aparece el término prevención de riesgos laborales. (Escuela Select, 2020)

Los principales tipos de riesgos laborales que existen, son:

- Físicos, comprenden riesgos como: ruido, vibraciones, iluminación, descargas eléctricas, temperatura y humedad.
- Químicos, son los producidos por procesos químicos, como: exposición a material particulado y a vapores orgánicos, agentes alérgenos, etc.
- Biológicos, debido a la exposición a virus, bacterias, parásitos y hongos.
- Ergonómicos, se producen por posturas inadecuadas, levantar gran cantidad de peso, o realizar actividades repetitivas por largos períodos de tiempo.
- Psicosociales, son los asociados al estrés, fatiga laboral o labores rutinarias.
- Ambientales, son los producidos por la naturaleza, como inundaciones, sismos, etc. y también de carácter antropogénico.
- Mecánicos, se pueden producir lesiones corporales, golpes, cortes, quemaduras, etc.

Una vez identificados los tipos de riesgos laborales se señala que el funcionamiento del equipo podría acarrear principalmente riesgos de tipo: físicos, químicos, ergonómicos y mecánicos.

Considerando el funcionamiento del equipo se identifica al uso de gas y de energía eléctrica, como los principales elementos que podrían causar accidentes. Al

trabajar con estos elementos se debe brindar al trabajador por lo menos, protección de tipo respiratoria, cutánea, ocular, y misceláneos. (Repsol, 2016)

El equipo de protección personal (E.P.P.), son los dispositivos que protegen al trabajador ante los riesgos laborales, con lo ya indicado el E.P.P. para usar el equipo es:

- Protección respiratoria, debido al uso de gas en ambientes cerrados o con poca ventilación, se debe usar máscaras o respiradores en presencia de vapores en alta concentración.
- Protección cutánea, guantes de PVC para evitar irritación en la piel por contacto y para evitar cortes con las aristas del equipo; calzado de seguridad antiestático, resistente a productos químicos y con refuerzo en la punta, para evitar golpes por caída; ropa que cubra brazos y piernas por completo.
- Protección ocular, Gafas de seguridad cerradas, y lavaojos.
- Otras precauciones, evitar exposición prolongada al equipo al realizar múltiples ensayos (temperatura y ergonomía).

2.2.3 *Diseño para el medio ambiente*

Una consideración importante al diseñar una máquina es que la misma no produzca agresiones al medio ambiente en cualquiera de las etapas de su ciclo de vida. (Riba Romeva, 2002)

Se comprende dentro del ciclo de vida, distintas etapas como: diseño (definir el uso de ciertas materias primas), fase de producción, durante su distribución y comercialización, durante su utilización y mantenimiento, al final de su vida útil.

Por otro lado, dentro de las acciones a tomar para incorporar una metodología de diseño para el medio ambiente, se tiene:

- Controlar consumos de energía
- Evitar emisiones a la atmósfera, contaminación de las aguas, contaminación sonora, radiación, productos nocivos para la salud, vertido de sustancias.
- Prever reciclaje, reutilización de elementos, recuperación de energía.

Conforme se vaya desarrollando el equipo, se harán las consideraciones necesarias en lo que corresponde al diseño para el medio ambiente.

2.2.4 Análisis de materiales

Nótese, que no se realiza ningún análisis con respecto a la selección de materiales a través de un método de evaluación, para la cámara de inflamabilidad, porta-probetas, bandeja recolectora, etc. sino que directamente se opta por el acero inoxidable, este particular se da, debido a la necesidad del cliente de que el equipo puede ser designado para realizar ensayos según una norma ISO, por lo tanto, se limitan las características que se pueden alterar con respecto a lo especificado. De todas formas, se sustenta la razón de que el material escogido, es apto para esta aplicación. En la **Tabla 11** se listan algunas características del acero inoxidable, que lo vuelven un material apropiado para esta aplicación, entre estas se pueden señalar un punto de fusión elevado, buena resistencia a la tracción, además de que es un material ampliamente utilizado en la industria, por la facilidad en la limpieza del mismo.

Tabla 11*Ficha Técnica del Acero Inoxidable*

Característica	Detalle
Designación	Acero Inoxidable AISI 304
Composición Química	Cr 18% - 20%
	Ni 8% - 10.5%
Punto de fusión	1398-1454 °C
Resistencia a la Tracción, Fluencia S_y	276 MPa
Módulo de Elasticidad E	190 Gpa
Relación de Poisson ν	0.305
Conductividad térmica	15-16 W/mK
Dureza	149 HBW
Propiedades eléctricas	Amagnético
Presentaciones	Plancha, platina, ángulo, perfil T, barra sólida, tubo hueco

Nota. Tomado de Ficha técnica del Acero Inoxidable, por Carbone Stainless Steel, s.f., <https://www.empresascarbhone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>

Considerando el diseño para el medio ambiente se puede decir que es apropiado usar acero inoxidable ya que es un material que puede ser reciclado al 100%, manteniendo sus propiedades físicas intactas si el proceso se realiza apropiadamente.

(JNAceros, 2017)

2.3 Selección de componentes

2.3.1 Quemador de gas

Las características del mechero ya se han descrito previamente, la norma indica que debe tener un diámetro interno de 9.5 mm, debe colocarse hacia el lado izquierdo de la cámara y a 19 mm por debajo de la altura de las muestras a ensayar.

Para determinar la mejor alternativa se utiliza el Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados, el mismo permite al evaluador clasificar por orden de importancia las diferentes soluciones según cada criterio propuesto y obtener resultados significativos globalmente. (Riba Romeva, 2002)

En el mercado existen varios diseños de mecheros, que en esencia cumplen con la misma función, aunque difieren en cuanto a dimensiones, precio, adaptabilidad y disponibilidad. Son justamente estos los criterios que se toman para desarrollar el método de criterios ponderados, se espera que el mechero tenga las dimensiones requeridas o las mismas se puedan modificar, un precio accesible considerando las modificaciones que se necesiten hacer, adaptabilidad para poder implementarlo en el equipo ya desarrollado y que exista disponibilidad inmediata para incorporarlo al equipo.

La primera alternativa a evaluar se observa en la **Figura 31**, es un quemador de tipo industrial con chimenea fija y sin llave para regular el paso de gas, aunque si para regular el paso de aire, su altura es de 215.9 mm, su precio oscila los \$80.

Figura 31

Mechero Bunsen, Cole Parmer



Nota. Tomado de: Mechero Bunsen Cole Parmer 36130-20, por Fisher Scientific, 2021, <https://www.fishersci.es/shop/products/bunsen-burner-9/15311802>

La segunda alternativa se observa en la **Figura 32**, tiene un alto de 150 mm y su chimenea un diámetro interno de 11 mm, la chimenea se puede retirar, se puede regular el paso de gas y de aire, su precio es de \$34.

Figura 32

Mechero Bunsen con chimenea intercambiable



Nota. Tomado de: Mechero Bunsen para gas natural, por Grupo Didacta, 2020, <https://grupodidacta.com/product/mechero-segun-bunsen-para-gas-natural-con-tirril-marca-citotest/>

La tercera alternativa se observa en la **Figura 33**, tiene un alto de 160 mm y chimenea con diámetro interno de 13 mm, la chimenea se puede retirar y dispone de regulación de aire y gas, la llave de paso se dirige en la misma dirección que la entrada de gas, lo cual puede ser un problema dependiendo de hacia dónde se oriente el mechero, su precio es de \$17.

Figura 33

Mechero Bunsen con llave de paso



Nota. Tomado de: Mechero Bunsen para gas, por Mercado Libre Ec, s.f.,
https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-502977260-mechero-bunsen-para-gas-_JM

El primer paso es determinar el peso específico de cada criterio a evaluar con respecto a los demás, lo cual se desarrolla en la **Tabla 12**, la relevancia de cada criterio se establece en el orden indicado en la misma tabla.

Tabla 12*Evaluación criterios, quemador*

dimensiones > adaptabilidad = disponibilidad > precio						
Criterio	Dim.	Pre.	Adapt.	Disp.	$\Sigma+1$	Peso ponderado
Dimensiones		1	1	1	4	0,4
Precio	0		0	0	1	0,1
Adaptabilidad	0	1		0,5	2,5	0,25
Disponibilidad	0	1	0,5		2,5	0,25
				Suma	10	1

Posteriormente se realiza el cálculo de la ponderación específica de cada alternativa en función del peso obtenido en la **Tabla 12**, al final del proceso la alternativa con mejor puntuación, es aquella más apta según los criterios evaluados. En la **Tabla 13** se evalúa el criterio dimensiones para las alternativas.

Tabla 13*Evaluación criterio, Dimensiones*

alternativa 2 = alternativa 3 > alternativa 1					
Dimensiones	alt. 1	alt. 2	alt. 3	$\Sigma+1$	Peso ponderado
alternativa 1		0	0	1	0,167
alternativa 2	1		0,5	2,5	0,417
alternativa 3	1	0,5		2,5	0,417
			Suma	6	1

En la **Tabla 14** se evalúa el criterio precio para las alternativas.

Tabla 14*Evaluación criterio, Precio*

alternativa 3 > alternativa 2 > alternativa 1					
Precio	alt. 1	alt. 2	alt. 3	$\Sigma+1$	Peso ponderado
alternativa 1		0	0	1	0,167
alternativa 2	1		0	2	0,333
alternativa 3	1	1		3	0,500
			Suma	6	1

En la **Tabla 15** se evalúa el criterio adaptabilidad para las alternativas.

Tabla 15

Evaluación criterio, Adaptabilidad

alternativa 2 > alternativa 1 = alternativa 3					
Adaptabilidad	alt. 1	alt. 2	alt. 3	$\Sigma+1$	Peso ponderado
alternativa 1		0	0,5	1,5	0,250
alternativa 2	1		1	3	0,500
alternativa 3	0,5	0		1,5	0,250
			Suma	6	1

En la **Tabla 16** se evalúa el criterio disponibilidad para las alternativas.

Tabla 16

Evaluación criterio, Disponibilidad

alternativa 2 = alternativa 3 > alternativa 1					
Disponibilidad	alt. 1	alt. 2	alt. 3	$\Sigma+1$	Peso ponderado
alternativa 1		0	0	1	0,167
alternativa 2	1		0,5	2,5	0,417
alternativa 3	1	0,5		2,5	0,417
			Suma	6	1

Para obtener la tabla de resultados se debe multiplicar los resultados de la columna de peso ponderado de cada criterio (**Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16**) por el valor de peso ponderado obtenido en la **Tabla 12** para el mismo criterio, por ejemplo para obtener la ponderación de Dimensión de alternativa 1, se debe multiplicar, 0.167 por 0.4, de ahí se obtiene el valor de 0.067.

Tabla 17

Evaluación de Resultados, quemador

Conclusión	Dimensiones	Precio	Adaptabilidad	Disponibilidad	Σ	Prioridad
alternativa 1	0,067	0,017	0,063	0,042	0,188	3
alternativa 2	0,167	0,033	0,125	0,104	0,429	1
alternativa 3	0,167	0,050	0,063	0,104	0,383	2

Al visualizar los resultados obtenidos en la **Tabla 17**, se puede asegurar que, con los criterios evaluados, la alternativa 2 es la más apropiada, ya que, aunque las dimensiones no sean exactas, se puede retirar la chimenea y fabricar otra a medida, además de que existe disponibilidad inmediata.

2.3.2 Gas de prueba

La norma indica que se debe usar un gas con un valor calorífico de aproximadamente 38MJ/m^3 (ISO, 2019), en la **Tabla 1** se presentaron algunos gases combustibles disponibles en el país, como el gas natural y el gas licuado de petróleo (GLP), mismos que poseen valores caloríficos que permitirían realizar el ensayo, otra alternativa disponible en el mercado es el acetileno; para seleccionar el más apropiado se desarrolla el Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados.

Los criterios a evaluar son Precio, Disponibilidad, Compatibilidad, Practicidad, se analizan respectivamente debido a que: se desea mantener bajo el costo de funcionamiento de la cámara de ensayos; es necesario que el equipo esté siempre listo para trabajar; el gas utilizado debe ser válido para la aplicación y que usar el mismo resulte apropiado para el operario.

La primera alternativa de solución es el gas natural, la siguiente es el GLP y finalmente se considera el acetileno. En la **Tabla 18** se evalúan los criterios para las alternativas.

Tabla 18*Evaluación criterios, gas de prueba*

compatibilidad = disponibilidad > precio > practicidad						
Criterio	Precio	Disp.	Comp.	Practicidad	$\Sigma+1$	Peso ponderado
Precio		0	0	1	2	0,2
Disponibilidad	1		0,5	1	3,5	0,35
Compatibilidad	1	0,5		1	3,5	0,35
Practicidad	0	0	0		1	0,1
				Suma	10	1

En la **Tabla 19** se evalúa el criterio precio para las alternativas.

Tabla 19*Evaluación criterio, Precio*

alternativa 2 > alternativa 1 > alternativa 3					
Precio	alt. 1	alt. 2	alt. 3	$\Sigma+1$	Peso ponderado
alternativa 1		0	1	2	0,333
alternativa 2	1		1	3	0,500
alternativa 3	0	0		1	0,167
			Suma	6	1

En la **Tabla 20** se evalúa el criterio disponibilidad para las alternativas.

Tabla 20*Evaluación criterio, Disponibilidad*

alternativa 2 > alternativa 3 > alternativa 1					
Disponibilidad	alt. 1	alt. 2	alt. 3	$\Sigma+1$	Peso ponderado
alternativa 1		0	0	1	0,167
alternativa 2	1		1	3	0,500
alternativa 3	1	0		2	0,333
			Suma	6	1

En la **Tabla 21** se evalúa el criterio compatibilidad para las alternativas.

Tabla 21*Evaluación criterio, Compatibilidad*

alternativa 1 = alternativa 2 > alternativa 3					
Compatibilidad	alt. 1	alt. 2	alt. 3	$\Sigma+1$	Peso ponderado
alternativa 1		0,5	1	2,5	0,417
alternativa 2	0,5		1	2,5	0,417
alternativa 3	0	0		1	0,167
			Suma	6	1

En la **Tabla 22** se evalúa el criterio practicidad para las alternativas.

Tabla 22*Evaluación criterio, Practicidad*

alternativa 2 > alternativa 3 > alternativa 1					
Practicidad	alt. 1	alt. 2	alt. 3	$\Sigma+1$	Peso ponderado
alternativa 1		0	0	1	0,167
alternativa 2	1		1	3	0,500
alternativa 3	1	0		2	0,333
			Suma	6	1

En la **Tabla 23** se determina la mejor alternativa.

Tabla 23*Evaluación de Resultados, gas de prueba*

Conclusión	Precio	Disponibilidad	Compatibilidad	Practicidad	Σ	Prioridad
alternativa 1	0,067	0,058	0,146	0,017	0,288	2
alternativa 2	0,100	0,175	0,146	0,050	0,471	1
alternativa 3	0,033	0,117	0,058	0,033	0,242	3

Al observar los resultados obtenidos en la **Tabla 23**, se opta por utilizar el gas licuado de petróleo GLP, este gas cumple con el requerimiento indicado en la norma con respecto al poder calorífico, su valor es de 37.5 MJ/m³ (Chasi, 2018), otro de los beneficios de usar este combustible es que es fácil conseguirlo y es relativamente económico.

2.3.3 Ventana de observación

La cámara de inflamabilidad está dotada de una ventana de observación de ciertas dimensiones, como se observa en la **Figura 40**, aquí se define las características que el vidrio debe tener, para que sea apto para esta aplicación. Las alternativas de solución son vidrio convencional (solución A) y vidrio templado resistente a altas temperaturas (solución B). Se desarrolla el Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados para la selección de este elemento. Los criterios a evaluar son: Precio, para mantener un bajo costo en el desarrollo del equipo; Resistencia, ya que se necesita un material que cumpla con los requerimientos de resistencia a altas temperaturas; Disponibilidad, para implementarlo al equipo sin demora; Fiabilidad, este criterio asegura confiabilidad en realizar el ensayo sin paradas inesperadas.

En la **Tabla 24** se determina el peso específico de cada criterio, la relevancia de cada criterio se establece en el orden indicado en la misma tabla.

Tabla 24

Evaluación Criterios, ventana de observación

resistencia = fiabilidad > disponibilidad > precio						
Criterio	Precio	Resistencia	Disponibilidad	Fiabilidad	$\Sigma+1$	Peso ponderado
Precio		0	0	0	1	0,1
Resistencia	1		1	0,5	3,5	0,35
Disponibilidad	1	0		0	2	0,2
Fiabilidad	1	0,5	1		3,5	0,35
				Suma	10	1

En la **Tabla 25** se evalúa el criterio precio para las alternativas.

Tabla 25*Evaluación criterio, Precio*

solución A > solución B				
Precio	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		1	2	0,667
solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

En la **Tabla 26** se evalúa el criterio resistencia para las alternativas.

Tabla 26*Evaluación criterio, Resistencia*

solución B > solución A				
Resistencia	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0	1	0,333
solución B	1		2	0,667
		Suma	3	1

En la **Tabla 27** se evalúa el criterio disponibilidad para las alternativas.

Tabla 27*Evaluación criterio, Disponibilidad*

solución A = solución B				
Disponibilidad	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0,5	1,5	0,500
solución B	0,5		1,5	0,500
		Suma	3	1

En la **Tabla 28** se evalúa el criterio fiabilidad para las alternativas.

Tabla 28*Evaluación criterio, Fiabilidad*

solución B > solución A				
Fiabilidad	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0	1	0,333
solución B	1		2	0,667
		Suma	3	1

En la **Tabla 29** se determina la mejor alternativa.

Tabla 29*Evaluación de Resultados, ventana de observación*

Conclusión	Precio	Resistencia	Disp.	Fiabilidad	Σ	Prioridad
solución A	0,067	0,117	0,100	0,117	0,400	2
solución B	0,033	0,233	0,100	0,233	0,600	1

Con los resultados obtenidos en la **Tabla 29**, se puede asegurar entonces que la mejor opción es usar vidrio templado, fabricado en la empresa Fairis y que se puede conseguir localmente, esto principalmente a la resistencia y fiabilidad que se requiere para este elemento.

2.3.4 Control de Temperatura

El equipo debería contar con un control que permita el funcionamiento del mismo, solo si el mismo se encuentra a menos de 30 °C, para ello se debe incorporar un sistema que asegure esta situación, se desarrolla el Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados para escoger la mejor alternativa entre las siguientes.

El control de temperatura se puede hacer con un conjunto de dispositivos que incluyan un microcontrolador, un sensor para medir temperatura como un LM35, y un ventilador para disipar el calor en el caso que la temperatura se encuentre muy elevada, esta es la primera alternativa de solución; por otro lado, se puede utilizar un dispositivo de carácter industrial, que en conjunto a una termocupla, permita el mismo fin, esta es la segunda alternativa de solución. Considerar los elementos adicionales que se requieren para que cada alternativa funcione.

Los criterios a evaluar son: Precio, para mantener bajos los costos del equipo; Robustez, debido a que se espera el funcionamiento sin contratiempos; Disponibilidad, para que se pueda implementar este dispositivo sin demora; Practicidad, para evitar

contratiempos en la instalación del dispositivo. En la **Tabla 30** se evalúan los criterios para las alternativas.

Tabla 30

Evaluación Criterios, control temperatura

robustez > practicidad = disponibilidad > precio						
Criterio	Precio	Robustez	Disp.	Practicidad	$\Sigma+1$	Peso ponderado
Precio		0	0	0	1	0,1
Robustez	1		1	1	4	0,4
Disponibilidad	1	0		0,5	2,5	0,25
Practicidad	1	0	0,5		2,5	0,25
				Suma	10	1

En la **Tabla 31** se evalúa el criterio precio para las alternativas.

Tabla 31

Evaluación criterio, Precio

solución A = solución B				
Precio	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0,5	1,5	0,500
solución B	0,5		1,5	0,500
		Suma	3	1

En la **Tabla 32** se evalúa el criterio robustez para las alternativas.

Tabla 32

Evaluación criterio, Robustez

solución B > solución A				
Robustez	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0	1	0,333
solución B	1		2	0,667
		Suma	3	1

En la **Tabla 33** se evalúa el criterio disponibilidad para las alternativas.

Tabla 33*Evaluación criterio, Disponibilidad*

solución A = solución B				
Disponibilidad	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0,5	1,5	0,500
solución B	0,5		1,5	0,500
		Suma	3	1

En la **Tabla 34** se evalúa el criterio practicidad para las alternativas.

Tabla 34*Evaluación criterio, Practicidad*

solución B > solución A				
Practicidad	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0	1	0,333
solución B	1		2	0,667
		Suma	3	1

En la **Tabla 35** se determina la mejor alternativa.

Tabla 35*Evaluación de Resultados, control temperatura*

Conclusión	Precio	Robustez	Disponibilidad	Practicidad	Σ	Prioridad
solución A	0,050	0,133	0,125	0,083	0,392	2
solución B	0,050	0,267	0,125	0,167	0,608	1

Con los resultados obtenidos en la **Tabla 35**, se puede asegurar entonces que la mejor opción es usar un dispositivo de carácter industrial, esto principalmente a la robustez que ofrecen estos dispositivos, además de la practicidad que significa solamente conectar la termocupla y configurar el valor deseado como set point. El dispositivo usado es el Maxwell Rex C100. También se incorpora un ventilador en el sistema, sin embargo, no se coloca en la cámara de ensayos, debido a que la misma no puede tener modificaciones en lo que describe la norma ISO 3795, el ventilador se

coloca al interior del tablero de control para que de manera indirecta la temperatura del equipo en conjunto disminuya.

2.3.5 Regulador de flujo

El regulador es un elemento que permite controlar la cantidad de gas que se suministra al mechero Bunsen, se coloca posterior a la electroválvula y antes del quemador; debido a que en el ensayo no se requiere de aire premezclado para la combustión, la regulación del flujo de gas es la única variable que determinará el alto de la llama producida.

Las alternativas de solución se generalizan en dos tipos de reguladores de flujo, en función del material en el que están contruidos, la solución A corresponde a un dispositivo fabricado en aluminio anodizado, regulador en latón, empaques resistentes a aceites y otras sustancias, temperatura de operación de -20 °C a 80 °C, disponible en varios tamaños. Un ejemplo de la marca Univer se observa en la **Figura 14**, la alternativa de solución B, corresponde al regulador de flujo equipado en la cámara de inflamabilidad marca Testex, descrita en la sección 1.6.9.2, este regulador es de la marca Dywer, está construido en policarbonato, es de uso general, tiene dimensiones desde 2 in, un ejemplo se observa en la **Figura 34**, una característica interesante de este dispositivo es que tiene una escala graduada que indica el valor del flujo en ese momento.

Figura 34

Regulador de flujo, marca Dwyer



Nota. Tomado de: Medidor de Flujo Rate Master Serie RM, por Dwyer Instruments, s.f., <https://www.dwyer-inst.com/Product/Flow/Flowmeters/VariableArea/SeriesRM>

Los criterios a evaluar son: Precio, para mantener a bajo costo el equipo; Disponibilidad, debido a que se requiere implementar el dispositivo usando materiales que se consigan localmente; Regulación precisa, considerando que es la tarea principal del mismo; Compacto, debido a que el espacio disponible para ubicarlo en el tablero de control es relativamente pequeño. En la **Tabla 36** se evalúan los criterios para las alternativas.

Tabla 36

Evaluación Criterios, regulador de flujo

regulación > disponibilidad = compacto > precio						
Criterio	Precio	Disp.	Regulación	Compacto	$\Sigma+1$	Peso ponderado
Precio		0	0	0	1	0,1
Disponibilidad	1		0	0,5	2,5	0,25
Regulación	1	1		1	4	0,4
Compacto	1	0,5	0		2,5	0,25
				Suma	10	1

En la **Tabla 37** se evalúa el criterio precio para las alternativas.

Tabla 37

Evaluación criterio, Precio

solución A = solución B				
Precio	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0,5	1,5	0,500
solución B	0,5		1,5	0,500
		Suma	3	1

En la **Tabla 38** se evalúa el criterio resistencia para las alternativas.

Tabla 38

Evaluación criterio, Resistencia

solución A > solución B				
Disponibilidad	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		1	2	0,667
solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

En la **Tabla 39** se evalúa el criterio disponibilidad para las alternativas.

Tabla 39

Evaluación criterio, Disponibilidad

solución A = solución B				
Regulación	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0,5	1,5	0,500
solución B	0,5		1,5	0,500
		Suma	3	1

En la **Tabla 40** se evalúa el criterio fiabilidad para las alternativas.

Tabla 40*Evaluación criterio, Fiabilidad*

solución A > solución B				
Compacto	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		1	2	0,667
solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

En la **Tabla 41** se determina la mejor alternativa.

Tabla 41*Evaluación de Resultados, regulador de flujo*

Conclusión	Precio	Disponibilidad	Regulación	Compacto	Σ	Prioridad
solución A	0,050	0,167	0,200	0,167	0,583	1
solución B	0,050	0,083	0,200	0,083	0,417	2

Al analizar los resultados obtenidos en la **Tabla 41**, el regulador de flujo que se selecciona es de la marca Univer, para seleccionar el tamaño, se debe estimar la cantidad de gas que va a utilizar el equipo durante un ciclo de funcionamiento. Para ello se debe calcular el calor útil para iniciar la llama en la muestra, luego el calor requerido por el sistema y finalmente el gasto de combustible. (Trinks, W. et al, 2003, como se citó en Padilla y Serrano 2013)

2.3.5.1 Calor útil para iniciar la llama en la muestra

Se denomina calor útil, a la energía que absorbe la muestra a ensayar, es un valor constante y dependiente del material ensayado. Se debe conocer la temperatura requerida en la boquilla del quemador y otros parámetros, el cálculo se realiza a través de la Ecuación (4)

$$Q_{\text{útil}} = \frac{m \cdot C_p \cdot (T_f - T_o)}{t} \quad (4)$$

Donde:

$Q_{\text{útil}}$, es la cantidad de calor, en $kcal/h$

m , masa de la probeta, en kg

C_p , calor específico del material, en $\frac{cal}{gr\ ^\circ C}$

T_f , temperatura final, en $^\circ C$

T_o , temperatura inicial, en $^\circ C$

t , tiempo, en *horas*

Se debe entonces considerar el escenario en el cual se va a requerir la mayor cantidad de calor para que la llama encienda la probeta, para esto se considera los puntos de inflamabilidad de los materiales que se podrían ensayar y están descritos en la sección 1.6.5, de forma general los termoplásticos y los materiales compuestos, son los que requieren de mayor energía (Pérez, C., comunicación personal, 15 de diciembre de 2021), es así que la fibra de vidrio por ejemplo tiene una temperatura admisible de $550\ ^\circ C$ (CPI Prodysol, 2015)

Los datos, que se usan para resolver (4) son:

$$m = 0.45\ kg$$

calculado a partir de la densidad de la fibra de vidrio ($2.53g/cm^3$), en una probeta de 5mm de espesor; el calor específico se obtiene a través de un ensayo de laboratorio (Lira, A. y Guevara, A., s.f.)

$$C_p = 190\ \frac{cal}{gr\ ^\circ C}$$

$$T_f = 550\ ^\circ C$$

$$T_o = 20\ ^\circ C$$

$$t = 0.75\ horas$$

El tiempo se calcula considerando que debido a la naturaleza del material y las temperaturas que resiste, un ensayo de este tipo puede durar alrededor de 45 minutos. (Pérez, C., comunicación personal, 15 de diciembre de 2021)

Por lo tanto:

$$Q_{\text{útil}} = \frac{0.45 \text{ kg} \cdot 190 \frac{\text{cal}}{\text{gr} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (550 ^\circ\text{C} - 20 ^\circ\text{C})}{0.75 \text{ h}}$$

$$Q_{\text{útil}} = 60420 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Para convertir este valor a kW , se multiplica por 0.001163, entonces:

$$Q_{\text{útil}} = 70.268 \text{ kW}$$

2.3.5.2 Calor requerido por el sistema

A partir del calor útil, se debe calcular un valor corregido para determinar el calor en todo el sistema, el mismo considera pérdidas o baja eficiencia por falta o exceso de comburente, dado que la norma especifica que la entrada de aire del quemador esté cerrada, se toma el factor de corrección $F_s = 1.3$ (Trinks, W. et al, 2003, como se citó en Padilla y Serrano 2013)

La Ecuación (5) se usa para determinar el valor corregido

$$Q_{\text{sistema}} = Q_{\text{útil}} \cdot F_s \quad (5)$$

$$Q_{\text{sistema}} = 60420 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \cdot 1.3$$

$$Q_{\text{sistema}} = 78546 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 91.35 \text{ kW}$$

2.3.5.3 Gasto de combustible

Con el calor requerido para el sistema y usando la Ecuación (6), se procede a determinar el gasto de combustible

$$\dot{m}_c = \frac{Q_{sistema}}{H_{ci}} \quad (6)$$

Donde:

\dot{m}_c , gasto de combustible en $\frac{kg}{h}$

H_{ci} , poder calorífico del gas combustible en $\frac{kcal}{kg}$

El valor de H_{ci} , se obtiene de la ficha de datos del gas, es igual a $11800 \frac{kcal}{kg}$

(Repsol, 2016), entonces:

$$\dot{m}_c = \frac{78546 \frac{kcal}{h}}{11800 \frac{kcal}{kg}}$$

$$\dot{m}_c = 6.65 \frac{kg}{h}$$

Considerar que el gasto de combustible calculado, es el requerido para consumir en su totalidad una probeta de fibra de vidrio en sus dimensiones especificadas, en un tiempo de 45 minutos. Se desea saber el gasto de combustible en volumen, para ello se usa la densidad del gas, que es igual a 0.560 g/cm^3 ; a partir de (7) y transformando a lt/min , se desarrolla (8), para obtener el flujo de gas necesario para el proceso.

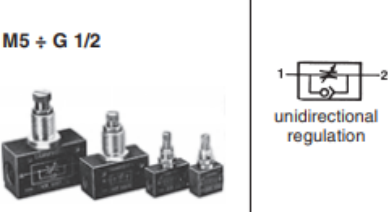

$$densidad = \frac{masa}{volumen} \quad (7)$$

$$6.65 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ cm}^3}{0.56 \text{ g}} \cdot \frac{1 \text{ lt}}{1000 \text{ cm}^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0.197 \text{ lt/min} \quad (8)$$

En la **Figura 35** se observa parte del catálogo de los reguladores de flujo unidireccionales Univer, se selecciona el producto con código AM-5061 debido a que cumple con los parámetros requeridos y se encuentra en disponibilidad inmediata por el proveedor.

Figura 35

Características técnicas, Regulador de flujo Univer

Type	Symbol	Connections	Capacity NI/min regulated	free	Ø Orifice mm regulated	free	Pressure bar	Mass kg	Part number
M5 - G 1/8 - G 1/4 - G 3/8 - G 1/2 unidirectional and bidirectional flow regulators									
M5 ÷ G 1/2 	 unidirectional regulation	M5	99	125	1	2	0 ÷ 12	0,06	AM-5060
		G 1/8	140	410	1	5		0,05	AM-5061
		G 1/8	120	470	2,25	5		0,05	AM-5062
		G 1/8	280	520	3,5	5		0,05	AM-5063
		G 1/4	350	890	5	7		0,12	AM-5064
		G 1/4	700	900	6	7		0,12	AM-5065
		G 3/8	350	980	6	7		0,11	AM-5066
		G 1/2	2200	2800	9	12		0,22	AM-5067

Nota. Tomado de: Flow Regulators, por Univer, s.f., https://www.univer-group.com/en/doc/am50_en_c91.pdf

2.3.6 *Electroválvula*

La electroválvula permite o impide el paso del gas combustible hacia el regulador de flujo y posteriormente al quemador, en la sección 2.3.5, ya se determinó el gasto de combustible que representa el flujo necesario para que se realice el proceso, se obtuvo un valor de $\dot{m}_c = 0.197 \text{ lt/min}$, por lo tanto, este será un parámetro de selección.

En el mercado existen varios diseños de electroválvulas, que en esencia cumplen con la misma función, aunque difieren en cuanto a tamaño, precio, compatibilidad y disponibilidad. Son justamente estos los criterios que se toman para desarrollar el método de criterios ponderados, se espera que la electroválvula, tenga: tamaño compacto para implementarse en el tablero de control; un precio accesible para mantener el equipo económico, tal como se describió en la casa de la calidad; compatibilidad, debido a que existen algunas electroválvulas que no están diseñadas para trabajar con gas, sino únicamente con aire; y que exista disponibilidad inmediata para incorporarlo al equipo.

Para contrastar las alternativas, se dispone de: alternativa de solución A, se observa en la **Figura 36**, es una válvula de 2 vías, normalmente cerrada, construida en latón, presión de trabajo máxima de 50 bar, con sellos y empaques en caucho fluorado FPM, disponible localmente.

Figura 36

Electroválvula ACL



Nota. Tomado de: ACL Solenoid Valves, por ACL, s.f

https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://www.acl.it/wp-content/uploads/2020/04/W105_en.pdf

La alternativa de solución B, se observa en la representa una electroválvula de 3 vías, fabricada en hierro fundido, presión de trabajo máxima 350 bar, dispone de bobinas intercambiables y puede funcionar en conmutación gradual.

Figura 37*Electroválvula Duplomatic*

Nota. Tomado de: ACL Solenoid Valves, por ACL, s.f

https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://www.acl.it/wp-content/uploads/2020/04/W105_en.pdf

Se desarrolla el Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados para la selección de este elemento. En la **Tabla 42** se evalúan los criterios para las alternativas.

Tabla 42*Evaluación Criterios, electroválvula*

tamaño = compatibilidad > disponibilidad > precio						
Criterio	Tamaño	Precio	Comp.	Disp.	$\Sigma+1$	Peso ponderado
Tamaño		1	0,5	1	3,5	0,35
Precio	0		0	0	1	0,1
Compatibilidad	0,5	1		1	3,5	0,35
Disponibilidad	0	1	0		2	0,2
				Suma	10	1

En la **Tabla 43** se evalúa el criterio tamaño para las alternativas.

Tabla 43*Evaluación criterio, Tamaño*

solución A > solución B				
Tamaño	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		1	2	0,667
solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

En la **Tabla 44** se evalúa el criterio precio para las alternativas.

Tabla 44*Evaluación criterio, Precio*

solución A = solución B				
Precio	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0,5	1,5	0,500
solución B	0,5		1,5	0,500
		Suma	3	1

En la **Tabla 45** se evalúa el criterio compatibilidad para las alternativas.

Tabla 45*Evaluación criterio, Compatibilidad*

Solución A > solución B				
Compatibilidad	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		1	2	0,667
solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

En la **Tabla 46** se evalúa el criterio disponibilidad para las alternativas.

Tabla 46*Evaluación criterio, Disponibilidad*

solución A = solución B				
Disponibilidad	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0,5	1,5	0,500
solución B	0,5		1,5	0,500
		Suma	3	1

En la **Tabla 47** se evalúa la mejor alternativa.

Tabla 47


Evaluación de Resultados, electroválvula

Conclusión	Tamaño	Precio	Compatibilidad	Disponibilidad	Σ	Prioridad
solución A	0,233	0,050	0,233	0,100	0,617	1
solución B	0,117	0,050	0,117	0,100	0,383	2

Considerando los resultados de la **Tabla 47**, se escoge la electroválvula ACL, serie W105 30D, ya que es la más apta para el sistema, algunas características técnicas se observan en la **Figura 38**, destacando que la válvula trabaja desde 0 bar; y existe un modelo que trabaja con 110 V AC.

Figura 38

Características, Electroválvula ACL

												Series W105	
COILS ②	Alternating Current 50/60Hz (V)							Direct Current (V)			Electrical connection	Connectors	DESCRIPTION Class F insulation Voltage tolerance AC +15% -10% DC \pm 10% Protection class IP65 with connector fitted IP00 without connector Continuous service ED100%
	12	24	48	110	220 230	240	380	12	24	48			
Series 3 Width 22	30A	30B	30C	30D	30E	30F	30G	300	301	302	DIN 46244	PG9 code 10348000	

CODE ②	Connection G ISO 228	Orifice mm	Kv m ³ /h	Differential pressure bar			Nominal power			Coil		Seal	Temp. range °C
				Min	Max AC DC		AC Inrush	VA Holding	DC Watt	Series	Width		
W105AV15///...	1/8"	1.5	0.06	0	14	3	12	8	6.5	3	22	FPM=V	-10 +140

② Coil

Nota. Tomado de: ACL Solenoid Valves, por ACL, s.f

https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://www.acl.it/wp-content/uploads/2020/04/W105_en.pdf

2.3.7 Ordenador

Este dispositivo permite implementar el programa de visión artificial, debe cumplir con ciertos requerimientos, como que la cámara digital y térmica puedan

conectarse para realizar la toma de datos; también debe tener una potencia de procesamiento suficiente para llevar a cabo el proceso, etc. Puntualmente los criterios que se toman en cuenta son: compatibilidad, considerando que si las cámaras pueden conectarse directamente al ordenador, eso simplifica el proceso y disminuye el retraso en la comunicación; precio; tamaño compacto; potencia.

La primera alternativa de solución es la Raspberry Pi 4, es un ordenador de placa reducida, muy compacto y que permite trabajar con software libre directamente, además que existen muchos dispositivos que son compatibles para conectarse directamente en los pines GPIO de la misma; la otra alternativa de solución es un Ordenador convencional, no es compacto, sin embargo la potencia de procesamiento supera ampliamente a la Raspberry o a otros dispositivos similares, para conectar algunos dispositivos se debe usar módulos especiales y el software para desarrollar el programa de visión artificial, podría requerir instalación. Se desarrolla el Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados para la selección de este elemento. En la **Tabla 48** se evalúan los criterios para las alternativas.

Tabla 48

Evaluación Criterios, ordenador

compatibilidad > potencia > tamaño = precio						
Criterio	Compatibilidad	Precio	Tamaño	Potencia	$\Sigma+1$	Peso ponderado
Compatibilidad		1	1	1	4	0,4
Precio	0		0,5	0	1,5	0,15
Tamaño	0	0,5		0	1,5	0,15
Potencia	0	1	1		3	0,3
				Suma	10	1

En la **Tabla 49** se evalúa el criterio compatibilidad para las alternativas.

Tabla 49*Evaluación criterio, Compatibilidad*

solución A > solución B				
Compatibilidad	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		1	2	0,667
solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

En la **Tabla 50** se evalúa el criterio precio para las alternativas.

Tabla 50*Evaluación criterio, Precio*

solución B > solución A				
Precio	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0	1	0,333
solución B	1		2	0,667
		Suma	3	1

En la **Tabla 51** se evalúa el criterio tamaño para las alternativas.

Tabla 51*Evaluación criterio, Tamaño compacto*

solución A > solución B				
Tamaño	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		1	2	0,667
solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

En la **Tabla 52** se evalúa el criterio potencia para las alternativas.

Tabla 52*Evaluación criterio, Potencia*

solución B > solución A				
Potencia	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0	1	0,333
solución B	1		2	0,667
		Suma	3	1

En la **Tabla 53** se determina la mejor alternativa.

Tabla 53

Evaluación de Resultados, ordenador

Conclusión	Compatibilidad	Precio	Tamaño	Potencia	Σ	Prioridad
solución A	0,267	0,050	0,100	0,100	0,517	1
solución B	0,133	0,100	0,050	0,200	0,483	2

Al observar los resultados obtenidos en la **Tabla 53**, se escoge la Raspberry Pi 4, debido a que permite conectar los dispositivos necesarios directamente y para evitar inconvenientes en la ejecución del programa se escoge una con 8GB de memoria RAM.

2.3.8 Cámara digital

El método ordinal corregido de criterios ponderados es sumamente útil para seleccionar una alternativa entre varias, Riba Romeva recomienda al menos dos opciones y que las características de las mismas sean diferentes (2002), de lo contrario no se puede contrastar las características de cada opción. Debido a este particular y que las cámaras disponibles en el mercado no varían considerablemente entre cada marca, se escoge una cámara digital convencional con resolución de 720p, ya que en las primeras pruebas con una cámara de menor resolución no se obtiene buenos resultados, el resto de características no influyen en mayor medida en el funcionamiento del equipo.

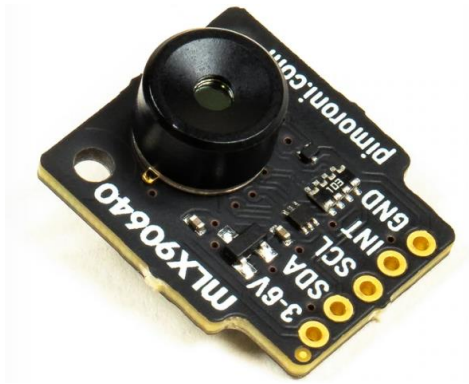
2.3.9 Cámara térmica

Este dispositivo permite visualizar una imagen en función de la temperatura, y a través de una escala de colores presenta valores de temperatura en distintos rangos. Para esta aplicación se requiere que la cámara sea compacta y en lo posible tenga un amplio ángulo de visión, considerando que se ha escogido el uso de la Raspberry Pi 4, se presenta alternativas de solución que sean directamente compatibles.

La primera alternativa de solución es la cámara MLX90640, misma que se observa en la **Figura 39**, funciona con 3.3 V o 5 V, su resolución es de 32x24 pixeles y costo superior a los \$100, es capaz de detectar temperaturas entre -40 °C a 300 °C.

Figura 39

Cámara térmica MLX90640



Nota. Tomado de: MXL90640 Thermal Camera Breakout, por Pimoroni, s.f,
<https://shop.pimoroni.com/products/mlx90640-thermal-camera-breakout?variant=12549161746515>

La segunda alternativa de solución es el módulo AMG8833, que ya se ha descrito previamente, también puede trabajar con 3 V o 5 V, su resolución es solamente de 8x8, su valor es de \$40.

Los criterios de selección a considerar son: disponibilidad, resolución, precio, tamaño. En la **Tabla 54** se evalúan los criterios para las alternativas.

Tabla 54*Evaluación Criterios, cámara térmica*

disponibilidad > resolución > precio = tamaño						
Criterio	Disponibilidad	Resolución	Precio	Tamaño	$\Sigma+1$	Peso ponderado
Disponibilidad		1	1	1	4	0,4
Resolución	0		1	1	3	0,3
Precio	0	0		0,5	1,5	0,15
Tamaño	0	0	0,5		1,5	0,15
				Suma	10	1

En la **Tabla 55** se evalúa el criterio disponibilidad para las alternativas.

Tabla 55*Evaluación criterio, Disponibilidad*

solución B > solución A				
Disponibilidad	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0	1	0,333
solución B	1		2	0,667
		Suma	3	1

En la **Tabla 56** se evalúa el criterio resolución para las alternativas.

Tabla 56*Evaluación criterio, Resolución*

solución A > solución B				
Resolución	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		1	2	0,667
solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

En la **Tabla 57** se evalúa el criterio precio para las alternativas.

Tabla 57*Evaluación criterio, Precio*

solución B > solución A				
Precio	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0	1	0,333
solución B	1		2	0,667
		Suma	3	1

En la **Tabla 58** se evalúa el criterio tamaño para las alternativas.

Tabla 58*Evaluación criterio, Tamaño*

solución A = solución B				
Tamaño	solución A	solución B	$\Sigma+1$	Peso ponderado
solución A		0,5	1,5	0,500
solución B	0,5		1,5	0,500
		Suma	3	1

En la **Tabla 59** se determina la mejor alternativa.

Tabla 59*Evaluación de Resultados, cámara térmica*

Conclusión	Disponibilidad	Resolución	Precio	Tamaño	Σ	Prioridad
solución A	0,133	0,200	0,050	0,075	0,458	2
solución B	0,267	0,100	0,100	0,075	0,542	1

Al observar los resultados obtenidos en la **Tabla 59**, se escoge el módulo AMG8833, principalmente por la disponibilidad inmediata para implementarlo y considerando que tiene una resolución que es suficiente para esta aplicación.

Capítulo III

Diseño y Construcción del equipo

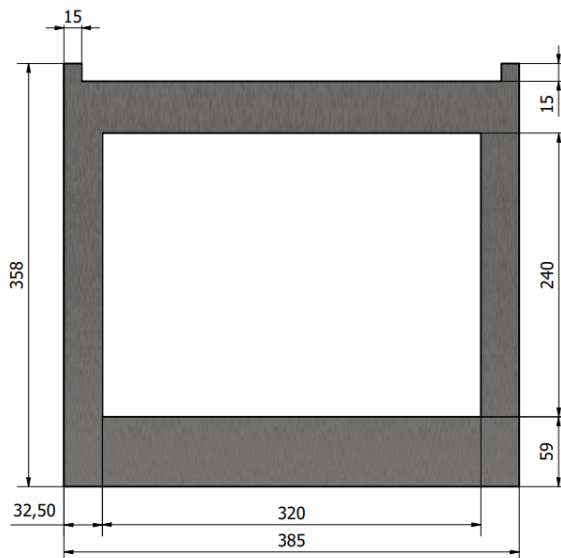
3.1 Diseño del equipo

En esta sección se describe el diseño a nivel sistema y de detalle, para iniciar con el diseño se modela los elementos del equipo, a través de un software CAD como Autodesk Inventor; para así poder cotejar que todas las piezas cumplan con las dimensiones y tolerancias especificadas, que no exista interferencias, optimizar el diseño de ser posible, etc.; posteriormente se generan planos según lo establece el Código de Dibujo Técnico-Mecánico del INEN.

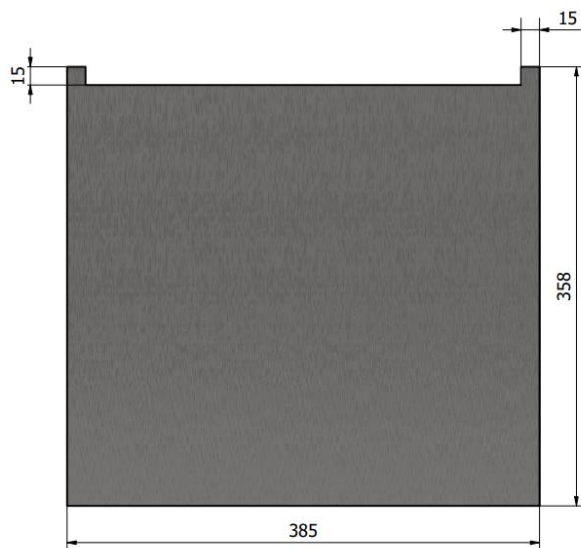
3.1.1 *Cámara de Inflamabilidad*

Considerando que la norma ISO 3795 es sumamente específica con respecto a todos los criterios aquí presentados, se procede a desarrollar el equipo teniendo en consideración las medidas de la **Figura 25**, se genera algunas piezas de forma separada para construir la cámara de inflamabilidad, estas partes se denominan: frontal, posterior, base, techo, lateral izquierdo y lateral derecho.

La tapa frontal se observa en la **Figura 40**, está construida en Acero Inoxidable 304 de 2 mm como lo especifica la norma, cuenta con un agujero central que servirá como ventana de observación.

Figura 40*Tapa frontal*

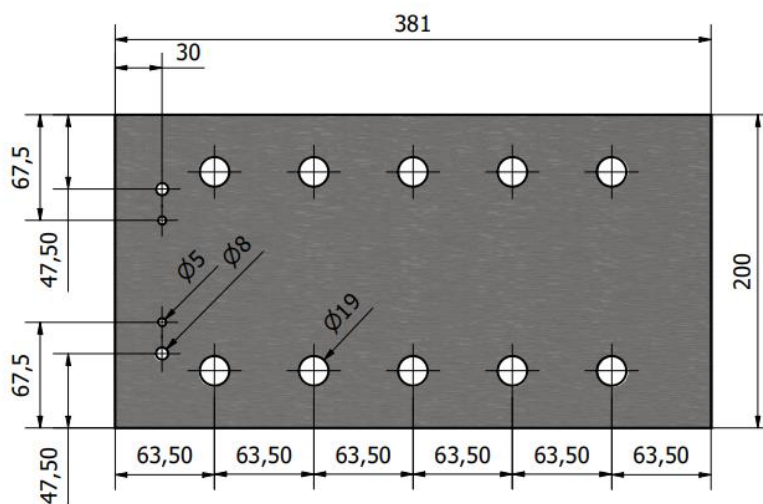
La tapa posterior se observa en la **Figura 41**, está construida en Acero Inoxidable 304 de 2 mm como lo especifica la norma, es completamente uniforme, además de una sección en la parte superior que sirve como ventilación.

Figura 41*Tapa posterior*

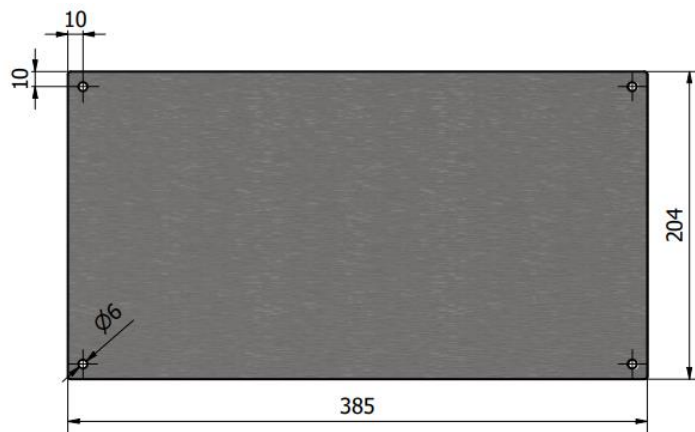
La base se observa en la **Figura 42**, está construida en Acero Inoxidable 304 de 2 mm como lo especifica la norma, dispone de diez agujeros dispuestos uniformemente que sirven como ventilación, además dispone de cuatro agujeros que sirven para sujetar el mechero Bunsen y unas bases que mantienen a la cámara de inflamabilidad conectada al tablero de control.

Figura 42

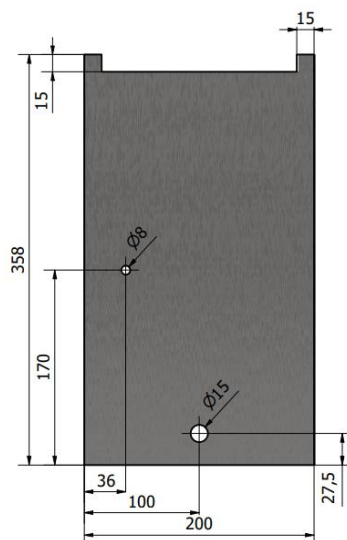
Base



El techo se observa en la **Figura 43**, está construido en Acero Inoxidable 304 de 2 mm como lo especifica la norma, dispone de cuatro agujeros ubicados en las esquinas, para colocar pernos y poder sujetarlo al resto de la cámara se construye de esta forma debido a la practicidad de uso que esto representa, cuando se requieran realizar tareas de limpieza o mantenimiento.

Figura 43*Techo*

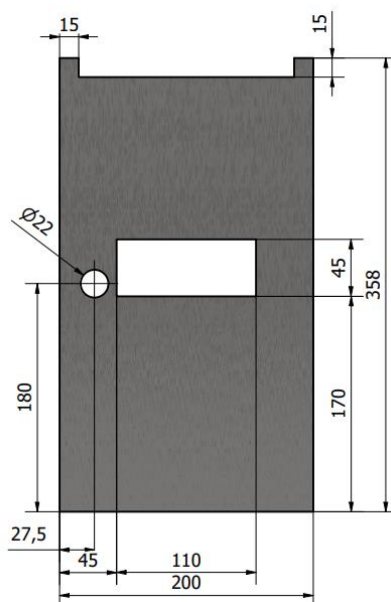
El lateral izquierdo se observa en la **Figura 44**, está construido en Acero Inoxidable 304 de 2 mm como lo especifica la norma, dispone de dos agujeros, el central inferior sirve para conectar la alimentación de gas al mechero Bunsen y el agujero superior para conectar una termocupla que debe estar ubicada en el interior de la cámara de inflamabilidad.

Figura 44*Lateral Izquierdo*

El lateral derecho se observa en la **Figura 45**, está construido en Acero Inoxidable 304 de 2 mm como lo especifica la norma, dispone de un agujero rectangular central por el que se va a deslizar el porta-probetas, también de un agujero que sirve para colocar un seguro para la puerta frontal.

Figura 45

Lateral Derecho



3.1.2 Porta-probetas

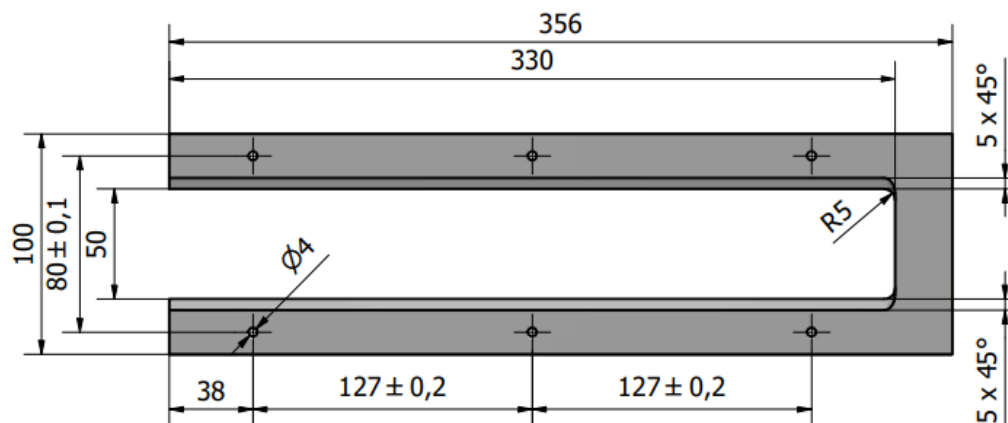
De la misma forma que con la cámara de inflamabilidad, la norma ISO 3795, es específica con los porta-probetas del equipo, por ello, con las dimensiones observadas en la **Figura 26** y **Figura 27** se desarrollan estas piezas, también en acero inoxidable 304.

La **Figura 46** representa el porta-probetas superior, mismo que tiene un espesor de 10 mm; para esta pieza la norma establece tolerancias para tres medidas en particular; aquella descrita como 80 ± 0.1 mm es importante debido a que en esos puntos se colocarán las muestras a ensayarse; por otro lado, las medidas indicadas

como 127 ± 0.2 mm son importantes debido a que esos son los puntos de medición del ensayo.

Figura 46

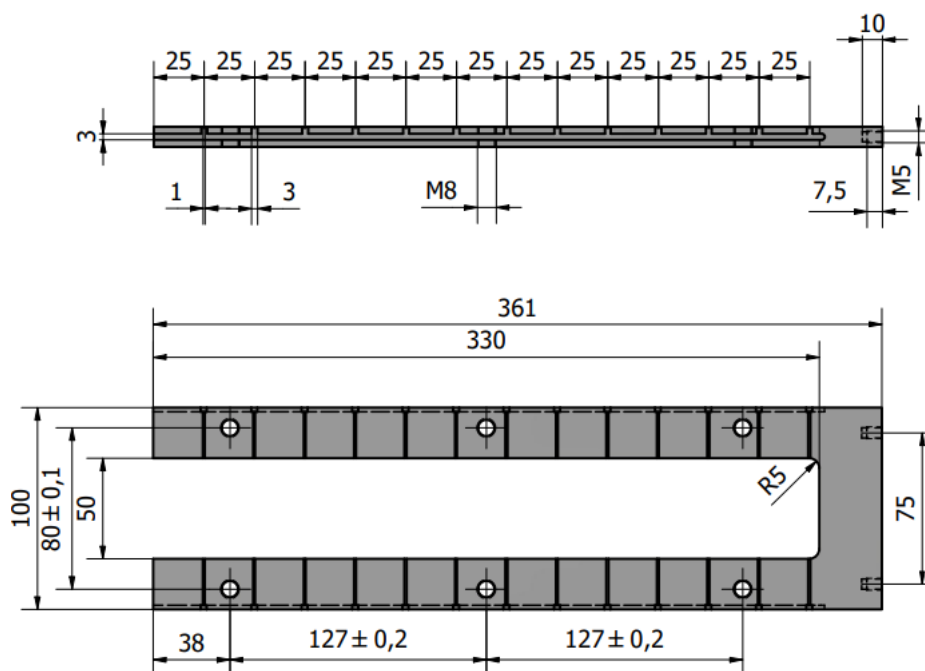
Diseño de porta-probetas superior



El porta-probetas inferior se observa en la **Figura 47**, también tiene un espesor de 10 mm y de manera similar al porta-probetas superior dispone de medidas con tolerancias muy específicas; consta adicionalmente de ranuras en los laterales que servirán de guía para un alambre que servirá de soporte a las muestras, una vez colocadas antes del ensayo.

Figura 47

Diseño de porta-probetas inferior



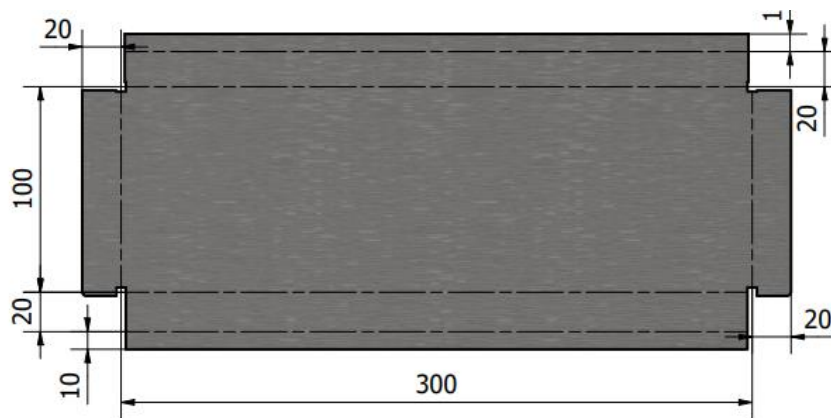
3.1.3 Accesorios varios del equipo

3.1.3.1 Bandeja recolectora

Partiendo de la idea presentada en la **Figura 28** y manteniendo el uso de acero inoxidable, se desarrolla este elemento, tal como se observa en la **Figura 48**, gracias al uso de un software CAD se puede determinar las dimensiones máximas que la misma puede tener, sin que obstruya los agujeros de ventilación, o que a su vez interfiera con la posición del mechero Bunsen, esta pieza en particular se desarrolla como chapa metálica para simplificar su construcción.

Figura 48

Diseño de bandeja recolectora



3.1.3.2 Soporte porta-probetas

Este elemento sirve como base para que el porta-probetas se deslice hacia el interior de la cámara, el peso que va a soportar corresponde al de los porta-probetas superior e inferior, el elemento denominado placa y al de la probeta a ensayarse, en total se estima alrededor de 3 kg a 4 kg. Una consideración útil es que se desea que todo el perfil del porta-probetas se encuentre apoyado sobre el soporte, pero que no interfiera con el ensayo, por ello se usa un perfil L, mejor conocido como ángulo, considerando tamaños estándar se usa de 25 x 25 x 3 todo en mm, también de acero inoxidable.

Se usa dos ángulos con una dimensión de 381 mm, se colocan frente a frente dejando 100 mm de separación entre ellos y que la cara que está en contacto con el porta-probetas se encuentre a 168 mm de distancia con respecto a la base de la cámara. En la **Figura 49** se observa una representación de la posición de los soportes al interior de la cámara, nótese que es una vista seccionada por lo tanto se aprecia el extremo izquierdo en contacto con el elemento denominado Lateral Izquierdo, mientras

que el extremo derecho del soporte parece estar suspendido, esto es debido al corte realizado para observar al interior de la cámara, ya que el extremo derecho del soporte se encuentra soldado al elemento denominado Lateral Derecho.

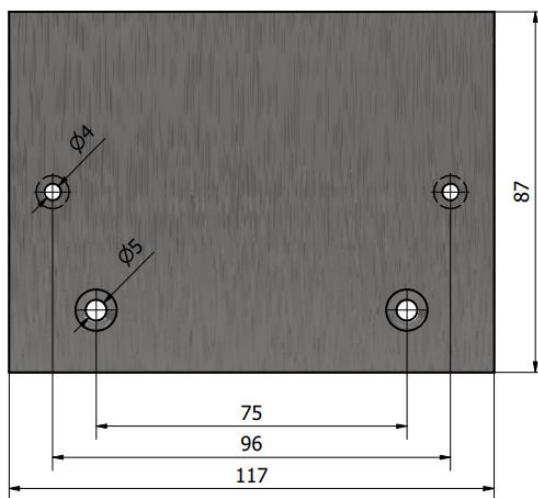
Figura 49

Soporte para porta-probetas



3.1.3.3 Placa

El porta-probetas inferior dispone de una placa unida al mismo con pernos avellanados M5, esta sirve como base para poder colocar y retirar el conjunto de porta-probetas en cada ensayo, está construida en acero inoxidable según las medidas de la **Figura 50** y un espesor de 6 mm, dispone de una agarradera, también en acero inoxidable.

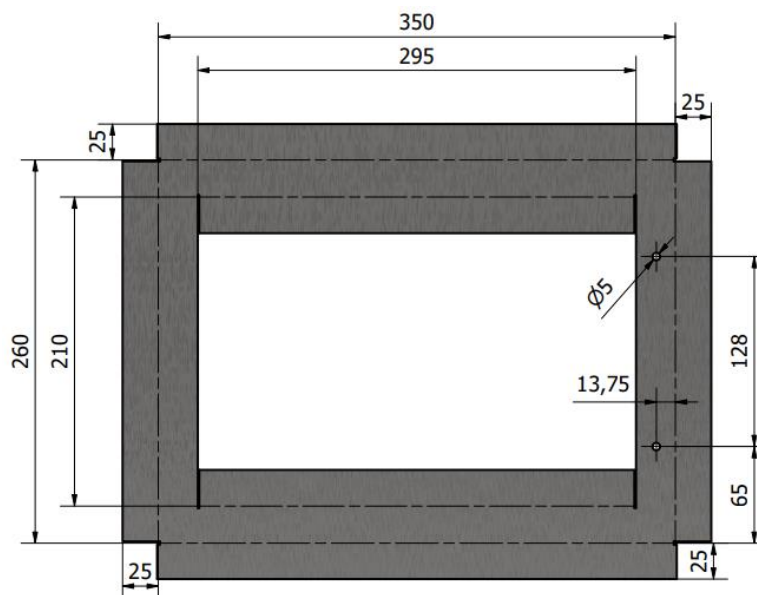
Figura 50*Diseño de Placa porta-probetas*

3.1.3.4 Puerta

Se incorpora una puerta para facilitar la limpieza del equipo al realizar varios ensayos así como para retirar la bandeja cuando se acumulen restos de materiales ensayados, el agujero en el centro es para alojar el vidrio templado que sirve como ventana de observación; fabricada en acero inoxidable de 1 mm de espesor, y con una agarradera en la parte frontal hacia la derecha, la representación de la misma se observa en la **Figura 51**, para construirla se debe realizar dobleces en la parte superior, inferior y en los laterales, todos a 90 °.

Figura 51

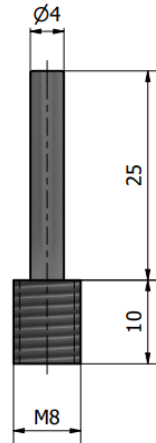
Diseño de la Puerta



Finalmente, un elemento que se debe colocar al interior de la cámara es una marca que determina la altura que debe tener la llama al inicio del ensayo, esta debe estar colocada una altura de 197 mm con respecto a la base de la cámara y centrada con respecto a la parte frontal y posterior del equipo. En la **Figura 49** se aprecia sobre el soporte del porta-probetas.

3.1.3.5 Pin

En el porta-probetas se colocan seis pines que sirven para mantener la probeta en una posición especificada durante el ensayo, los mismos están contruidos en acero inoxidable y tienen las medidas que se observan en la **Figura 52**, este elemento sirve también como punto de medición para el ensayo.

Figura 52*Diseño del Pin*

Se ensamblan los elementos aquí indicados y se obtiene la cámara de inflamabilidad, misma que se observa en la **Figura 53**, adicional a lo descrito se usa el vidrio templado, que posteriormente será seleccionado, así como un par de agarraderas en acero inoxidable.

Figura 53*Cámara de Inflamabilidad*

3.1.4 Tablero de Control

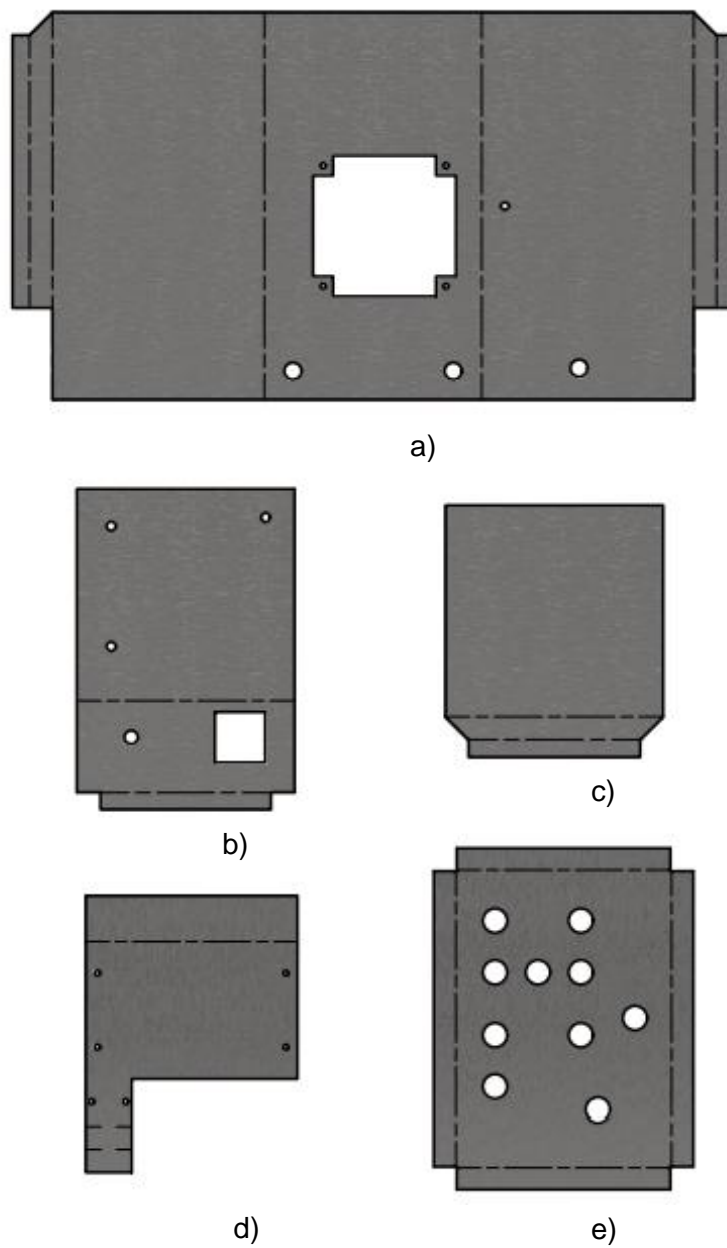
Este elemento se construye a partir de varias piezas, la norma no da ninguna clase de especificación, por ello se desarrolla considerando los elementos que se colocan al interior y algunas particularidades como que este dispositivo posee un elemento que permite separar los objetos que usen gas, de los equipos eléctricos.

3.1.4.1 Tablero

La estructura principal está constituida por tres secciones, las cuales se han denominado: lateral, base, superior; en el interior se ubica otra sección que sirve para generar una base en la que se montan los dispositivos denominada: posterior. El frente del tablero de control que a su vez sirve como puerta, se une el resto de la estructura a través de dos bisagras. Todo el tablero está realizado en acero inoxidable de 1 mm de espesor. En la **Figura 54** se observa las partes aquí mencionadas. Las dimensiones de estos elementos se especifican en los planos, en la sección de Anexos.

Figura 54

Partes que componen el tablero de control



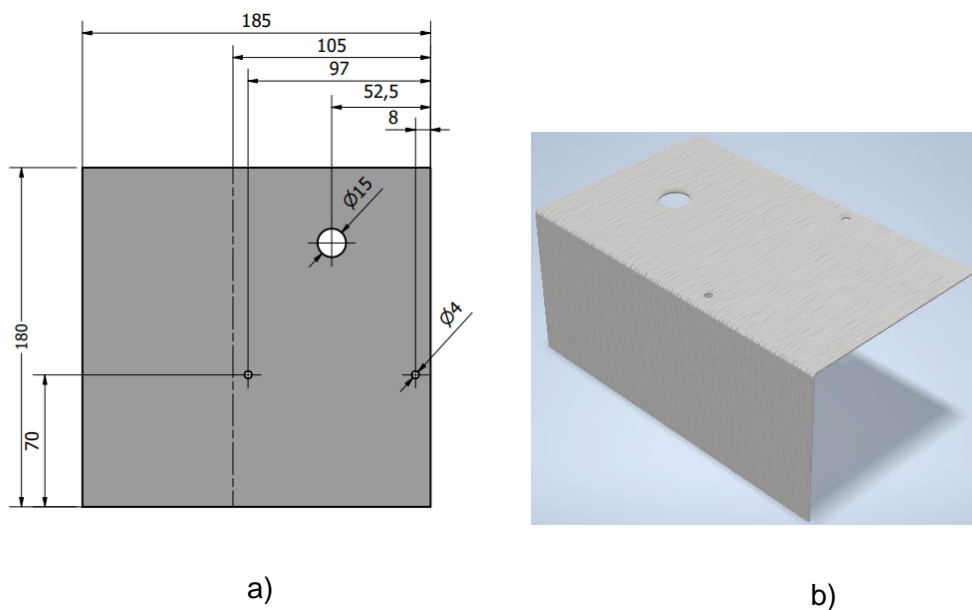
Nota. Las partes presentadas son: a) lateral, b) base, c) superior, d) posterior, e) frontal.

3.1.4.2 Cortafuegos

Debido a que el equipo maneja un gas altamente combustible y electricidad, se considera útil que los elementos eléctricos estén aislados de la válvula y regulador de gas, por ello se diseña una estructura que separa físicamente los grupos antes descritos, misma que se ubica en la parte inferior derecha del tablero de control, se observa en la **Figura 55**, el agujero de mayor tamaño sirve para conducir los cables que controlan la electroválvula.

Figura 55

Diseño de pared cortafuegos



Nota. Se representa a) Desarrollo de la pieza, b) Pieza doblada.

Una vez ensamblados los elementos del tablero, se obtiene lo observado en la **Figura 56**, aquí también se observa la disposición de los botones y luces en el tablero.

Figura 56*Tablero de control*

3.1.5 Accesorios para el sistema de visión artificial

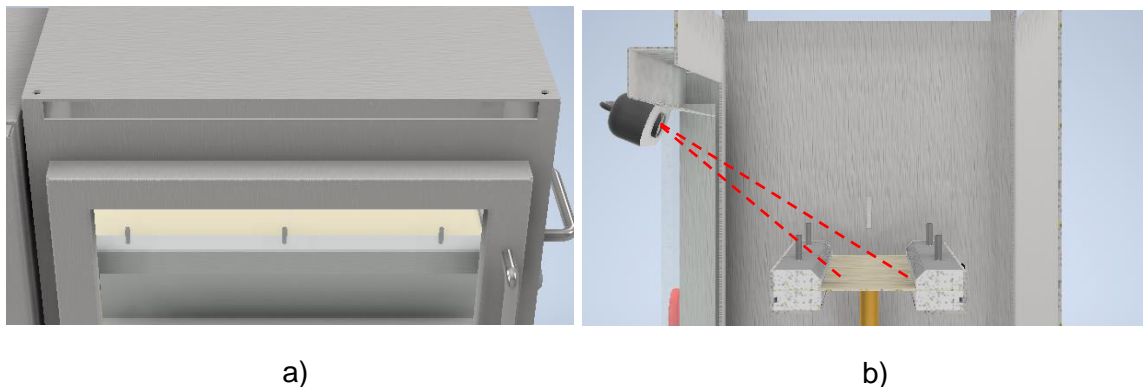
3.1.5.1 Soporte de dispositivos

Para incorporar las cámaras al equipo se considera dos ubicaciones, desde la parte frontal y desde la parte superior. En la parte frontal se dispone de la ventana de observación por lo tanto es posible observar el comportamiento de la probeta durante el ensayo, el problema surge debido a que las dimensiones del agujero frontal no permiten el ángulo suficiente para observar toda la probeta, esta situación se observa en la **Figura 57**. Además, debido a la inclinación de la cámara con respecto a la probeta se debe compensar la perspectiva de la imagen, para luego determinar la distancia que la

probeta se quemó durante el ensayo, aumentando la complejidad del programa y posiblemente el retraso en la presentación de resultados.

Figura 57

Vista en primera persona hacia el interior de la cámara



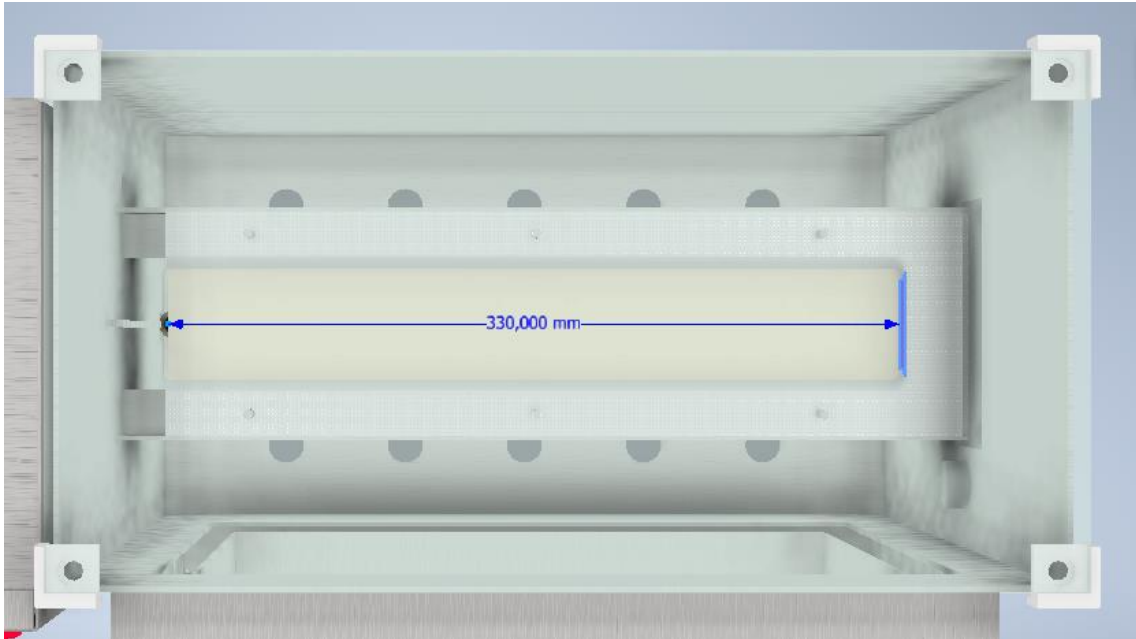
Nota: Se representa a) vista frontal, y b) vista lateral en corte.

El objeto de color negro suspendido en b) de la **Figura 57**, es una de las cámaras, aquí se observa como la cámara no puede ver la probeta completamente, hay una pequeña sección de la probeta en la parte que da hacia el frente que queda en una zona ciega de la cámara, producida por el porta-probetas superior, por lo tanto, hay que considerar otra alternativa.

Desde la parte superior es posible observar toda la probeta, sin embargo, hay que reemplazar la tapa superior por un vidrio templado, esta representación se observa en la **Figura 58**, durante la etapa de pruebas se verifica que esta modificación no incide en: la precisión de los resultados y que los materiales utilizados son apropiados para colocarse en este lugar.

Figura 58

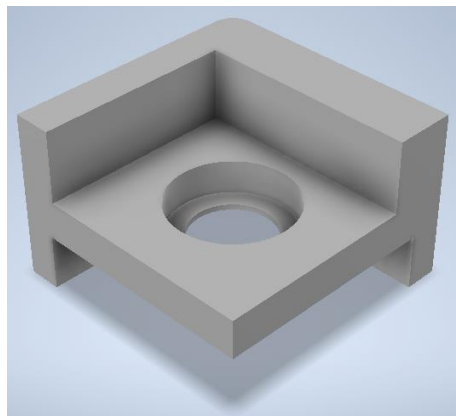
Vista de la cámara de ensayos desde la parte superior



El vidrio templado se une a la cámara de ensayos usando unas piezas impresas en 3D como las que se observan en la **Figura 59**, se unen a la estructura usando los mismos agujeros que sujetan a la tapa de acero inoxidable.

Figura 59

Acoples para vidrio templado

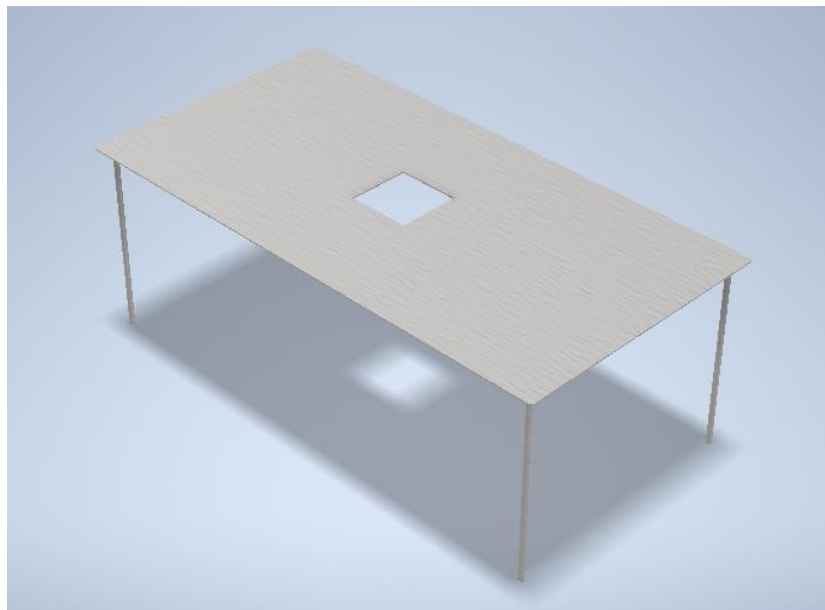


Se diseña entonces una base para en ella colocar la cámara digital ó la cámara térmica, a la altura que corresponda según el ángulo de visión de cada cámara. Según la ficha técnica y pruebas preliminares se determina que para poder observar la sección visible de la probeta que es igual a 330 mm, como se observa en la **Figura 58**; se debe colocar el lente de la cámara a una altura exactamente proporcional. Se habla de una sección visible de la probeta, debido a que otra parte de la misma queda oculta por el porta-probetas.

En la **Figura 60**, se observa el soporte, está fabricado en acero inoxidable de 1 mm de espesor y cuenta con 4 patas ubicadas en los extremos, las medidas exactas se detallan en el Anexo 1.

Figura 60

Soporte para cámaras



El soporte está pensado para albergar a una cámara a la vez y en conjunto a otras bases que se detallan más adelante, colocan a las cámaras en el lugar correspondiente. Este soporte se coloca sobre el vidrio templado antes mencionado a

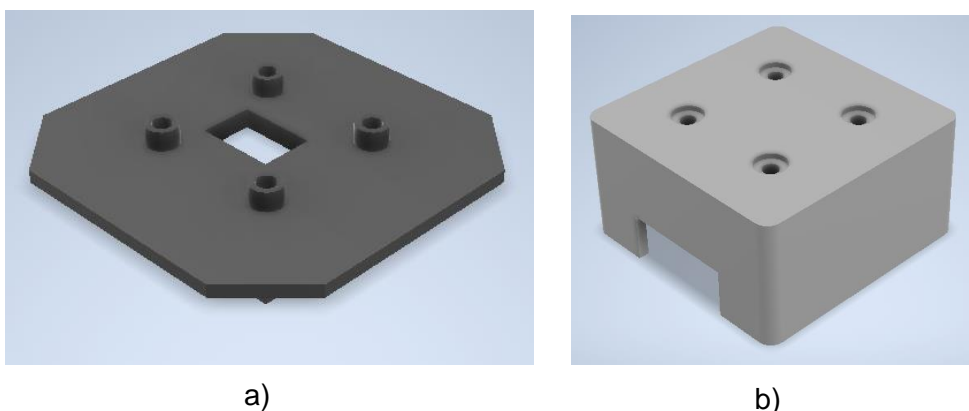
través de unas ventosas. La longitud de las patas se estima en base a los planos y a la representación en el software CAD, tienen una medida de 145 mm.

3.1.5.2 Base y tapa cámara térmica

La cámara térmica se coloca al interior de un conjunto base y tapa, se observa en la **Figura 61**, estos objetos están impresos en 3D, y su función más allá de ser estructural es evitar que la placa del sensor quede expuesta, así como los cables de conexión. Cuenta con agujeros para sujetar la cámara térmica usando tornillos y en la base se tiene una ranura que se acopla al soporte de acero inoxidable de la **Figura 60**.

Figura 61

Base y tapa, cámara térmica



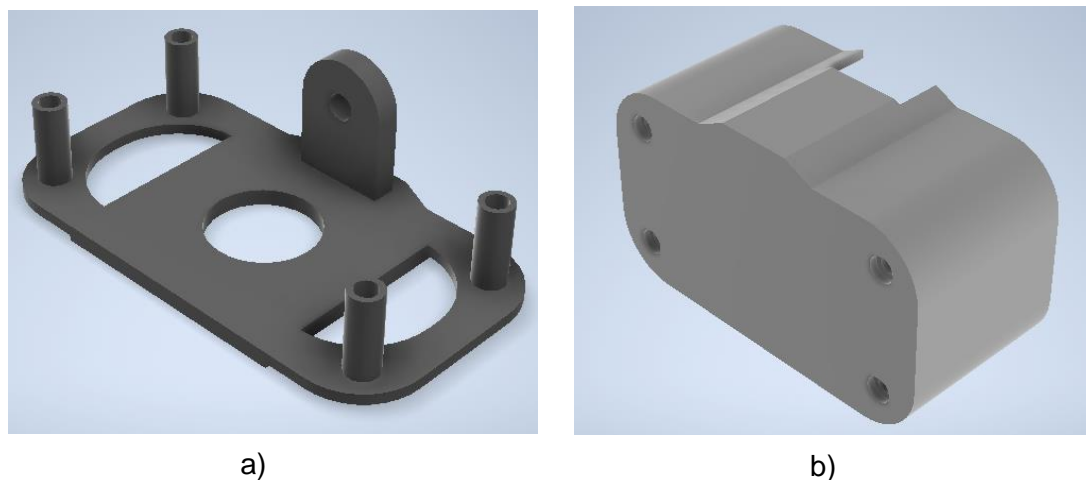
Nota: Se representa a) base, y b) tapa.

3.1.5.3 Base y tapa cámara digital

La cámara digital se coloca al interior de un conjunto base y tapa, se observa en la **Figura 62**, estos objetos están impresos en 3D, y su función más allá de ser estructural es evitar que la cámara quede expuesta, así como el cable. Cuenta con agujeros para unir la tapa a la base usando tornillos, un agujero perpendicular a los otros para sujetar la base a la cámara y en la base se tiene una ranura que se acopla al soporte de acero inoxidable de la **Figura 60**.

Figura 62

Base y tapa, cámara digital



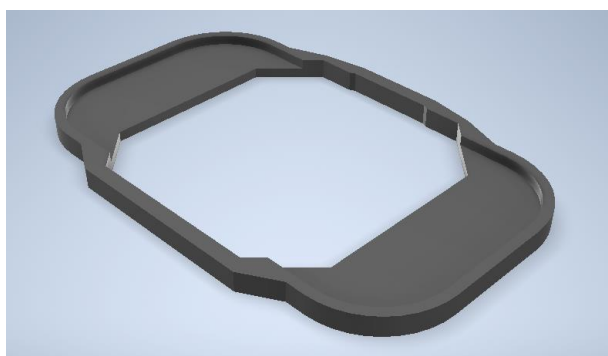
Nota: Se representa a) base, y b) tapa.

Nótese que las bases de las dos cámaras son de color negro, se realiza de esta forma considerando que durante los ensayos por la presencia de grandes cantidades de luz podría producirse reflejo sobre las superficies, lo que dificultaría la lectura de las cámaras, más adelante en las pruebas se determina si existe la necesidad de aplicar un tono negro mate a la parte inferior del soporte de acero inoxidable de la **Figura 60**, teniendo en mente el mismo razonamiento.

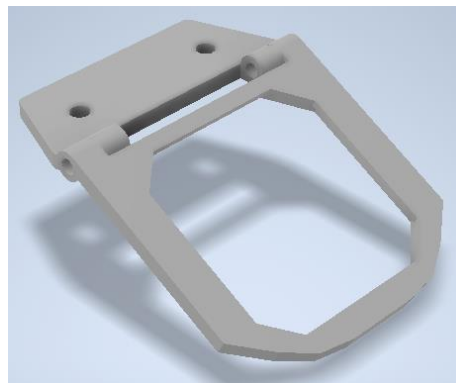
Además, para sujetar correctamente las bases al soporte, se desarrolla el acople de la **Figura 63**, también desarrollado mediante impresión 3D, el mismo es compatible con las bases de la cámara térmica y de la cámara digital, en las pruebas se determina que la cámara térmica funciona mejor al colocarla no directamente sobre la llama, para ello se desarrolla otra base.

Figura 63

Acople, bases a soporte



a)



b)

Nota: Se observa: a) Acople para cámara digital y b) Conjunto de acoples para cámara térmica

3.2 Validación del equipo

Un ciclo de funcionamiento del equipo consiste en colocar una probeta en el lugar de ensayo, encender una llama, esperar a que se extinga y luego retirar los restos, con esta consideración se observa que existen dos comprobaciones que se deben realizar para determinar que el mismo trabaje como se espera y tenga una vida útil dentro de lo esperado. La primera se refiere a que el soporte que sostiene a los porta-probetas soporte la carga que se le va a aplicar y la segunda sería que el equipo soporte los cambios de temperatura a los que se le va a exponer.

3.2.1 Soporte para porta-probetas

3.2.1.1 Análisis de fuerzas y momentos

El porta-probetas se coloca sobre dos soportes, iguales en longitud y disposición; para el cálculo se va a considerar el escenario más crítico en el cual se

pueda realizar un ensayo, es decir con una probeta del máximo espesor y con el material más denso de los descritos en 1.6.5.

De un cálculo previo en la sección 2.3.5.1, se sabe que una probeta en fibra de vidrio, de 5 mm de espesor tiene una masa de $m = 0.45 \text{ kg}$, entonces una probeta de la misma dimensión, pero de 13 mm de espesor tendría una masa de $m = 1.17 \text{ kg}$.

La masa total que se colocaría en los soportes sería la suma de las masas de los porta-probetas superior e inferior, de la placa del porta-probetas y de la probeta de fibra de vidrio, los datos se encuentran detallados en los planos en el Anexo 1, y respectivamente son:

$$m_T = 1.46 \text{ kg} + 1.5 \text{ kg} + 0.48 \text{ kg} + 1.17 \text{ kg}$$

$$m_T = 4.61 \text{ kg}$$

Considerando que se tiene dos soportes, la masa se reparte de forma equitativa, m_S representa la masa para cada soporte.

$$m_S = \frac{4.61 \text{ kg}}{2}$$

$$m_S = 2.305 \text{ kg}$$

Se calcula el peso colocado sobre el soporte, w_S , con (9):

$$w_S = m_S * g \tag{ 9}$$

$$w_S = 2.305 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$w_S = 22.59 \text{ N}$$

El tipo de carga es uniformemente distribuida, a lo largo de $L = 381 \text{ mm}$, distancia que separa los dos laterales de la cámara de ensayos, con w_S y L se calcula la carga por unidad de distancia, con la expresión (10).

$$w = \frac{w_s}{L} \tag{10}$$

$$w = \frac{22.59 N}{0.381 m}$$

$$w = 59.29 \frac{N}{m}$$

En la **Figura 64** se observa las propiedades de ángulos de acero estructural, y en la **Figura 65** se observa propiedades de materiales, entre ellos el acero inoxidable, mismo que se usa para este elemento.

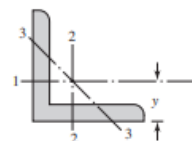
Figura 64

Propiedades de ángulos de acero estructural

Tabla A-6

Propiedades de ángulos de acero estructural*†
(continuación)

m = masa por metro, kg/m
 A = área, pulg² (cm²)
 I = segundo momento de área, pulg⁴ (cm⁴)
 k = radio de giro, pulg (cm)
 y = distancia centroidal, pulg (cm)
 Z = módulo de sección, pulg³, (cm³)



Tamaño, mm	m	A	I_{1-1}	k_{1-1}	Z_{1-1}	y	k_{3-3v}
25 × 25 × 3	1.11	1.42	0.80	0.75	0.45	0.72	0.48
× 4	1.45	1.85	1.01	0.74	0.58	0.76	0.48
× 5	1.77	2.26	1.20	0.73	0.71	0.80	0.48
40 × 40 × 4	2.42	3.08	4.47	1.21	1.55	1.12	0.78
× 5	2.97	3.79	5.43	1.20	1.91	1.16	0.77
× 6	3.52	4.48	6.31	1.19	2.26	1.20	0.77
50 × 50 × 5	3.77	4.80	11.0	1.51	3.05	1.40	0.97
× 6	4.47	5.59	12.8	1.50	3.61	1.45	0.97
× 8	5.82	7.41	16.3	1.48	4.68	1.52	0.96
60 × 60 × 5	4.57	5.82	19.4	1.82	4.45	1.64	1.17
× 6	5.42	6.91	22.8	1.82	5.29	1.69	1.17
× 8	7.09	9.03	29.2	1.80	6.89	1.77	1.16
× 10	8.69	11.1	34.9	1.78	8.41	1.85	1.16
80 × 80 × 6	7.34	9.35	55.8	2.44	9.57	2.17	1.57
× 8	9.63	12.3	72.2	2.43	12.6	2.26	1.56
× 10	11.9	15.1	87.5	2.41	15.4	2.34	1.55

Nota. Tomado de: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (p. 973), por R. G.

Budynas y J. K. Nisbett, 2012, McGrawHill

Figura 65

Propiedades físicas de materiales

Tabla A-5

Constantes físicas de materiales

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Relación de Poisson ν	Peso específico w		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lbf/pulg ³	lbf/ft ³	kN/m ³
Aluminio (todas las aleaciones)	10.4	71.7	3.9	26.9	0.333	0.098	169	26.6
Cobre al berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Acero al carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Hierro fundido (gris)	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Cobre	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Abeto Douglas	1.6	11.0	0.6	4.1	0.33	0.016	28	4.3
Vidrio	6.7	46.2	2.7	18.6	0.245	0.094	162	25.4
Inconel	31.0	214.0	11.0	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Plomo	5.3	36.5	1.9	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Magnesio	6.5	44.8	2.4	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molibdeno	48.0	331.0	17.0	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Metal Monel	26.0	179.0	9.5	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Plata niquelada	18.5	127.0	7.0	48.3	0.322	0.316	546	85.8
Acero al níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Bronce fosforado	16.1	111.0	6.0	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Acero inoxidable (18-8)	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0
Aleaciones de titanio	16.5	114.0	6.2	42.4	0.340	0.160	276	43.4

Nota. Tomado de: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (p. 971), por R. G.

Budynas y J. K. Nisbett, 2012, McGrawHill

Al considerar la carga del ángulo como tal, se usa $m_A = 1.11 \text{ kg/m}$, y se obtiene:

$$w_A = m_A * g$$

$$w_A = 1.11 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$w_A = 10.88 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Entonces la carga total es la suma de:

$$w_T = w + w_A$$

$$w_T = 59.29 \frac{N}{m} + 10.88 \frac{N}{m}$$

$$w_T = 70.17 \frac{N}{m}$$

Se realiza el diagrama de cuerpo libre para el soporte, como se observa en la

Figura 66, para identificar las reacciones y momentos, los datos que se utilizan son:

$$L = 381 \text{ mm} = 0.381 \text{ m}$$

$$w_T = 70.17 \frac{N}{m}$$

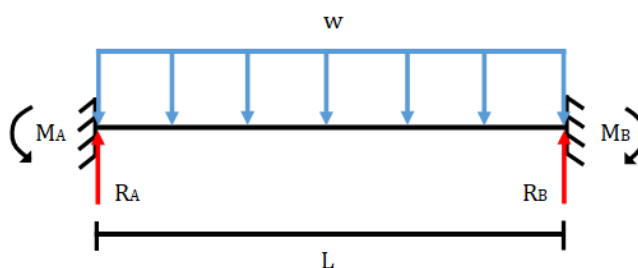
$$E = 190 \text{ GPa}$$

$$I = 0.8 \text{ cm}^4$$

$$Z = 0.45 \text{ cm}^3 = 4.5 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

Figura 66

Diagrama de cuerpo libre, soporte porta-probetas



Para calcular las reacciones y momentos se puede aplicar fórmulas predefinidas, que consideran ciertos casos de apoyos y cargas en vigas. (Budynas y Nisbett, 2012)

Para determinar las reacciones se utiliza (11). Las expresiones se encuentran detalladas en el Anexo 3

$$R_A = R_B = \frac{wL}{2} \quad (11)$$

$$R_A = R_B = \frac{70.17 \frac{N}{m} \cdot 0.381 \text{ m}}{2}$$

$$R_A = R_B = 13.37 \text{ N}$$

Para determinar los momentos se utiliza (12)

$$M_A = M_B = \frac{wL^2}{12} \quad (12)$$

$$M_A = M_B = \frac{70.17 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (0.381 \text{ m})^2}{12}$$

$$M_A = M_B = 0.84 \text{ Nm}$$

3.2.1.2 Análisis de esfuerzo y flexión máxima

Para determinar si la viga resiste la carga que se le va a colocar, se puede evaluar dos criterios, el esfuerzo y flexión máximos al que se somete. Para determinar esfuerzo máximo se usa (13), esta expresión se obtiene del libro de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, se usa esta fórmula debido a que se observa flexión pura, ya que no hay fuerzas que se apliquen axialmente en la viga. El esfuerzo es de tipo normal, debido a flexión.

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M}{Z} \quad (13)$$

Donde:

M , es el momento máximo en Nm

Z , es el módulo de sección, en m^3

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{0.84 \text{ Nm}}{4.5 \times 10^{-7} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 1.87 \text{ MPa}$$

El esfuerzo que soporta cada viga es de 1.87 MPa , considerando esfuerzos de diseño, el material es apropiado, al tomar en cuenta $S_y = 175 \text{ MPa}$, del acero

inoxidable. El elemento puede parecer sobredimensionado, sin embargo, se utilizó el ángulo estándar disponible más pequeño.

Para calcular la flexión máxima se usa

$$y_{m\acute{a}x} = -\frac{wL^4}{384 EI} \quad (14)$$

Donde:

E , es el módulo de elasticidad, en GPa

I , es el segundo momento de área, en cm^4

$$y_{m\acute{a}x} = -\frac{70.17 \frac{N}{m} \cdot (0.381 m)^4}{384 \cdot (190 \times 10^9 Pa) \cdot (8 \times 10^{-9} m^4)}$$

$$y_{m\acute{a}x \text{ calculado}} = 2.53 \times 10^{-6} m = 0.00253 mm$$

Al diseñar vigas en una máquina se debe considerar un límite máximo de flexión (Mott, 2009, p. 459); para una parte general de una máquina, se recomienda que este valor esté en el intervalo según: (15)

$$\frac{y_{m\acute{a}x}}{L} = 0.0005 \text{ a } 0.003 \quad (15)$$

Por lo tanto, la flexión máxima debe estar por debajo de al menos:

$$y_{m\acute{a}x} = 0.003 \cdot (381 mm)$$

$$y_{m\acute{a}x \text{ permitido}} = 1.143 mm$$

El valor de flexión de $y_{m\acute{a}x \text{ calculado}}$ es menor a $y_{m\acute{a}x \text{ permitido}}$, por lo tanto, el diseño es correcto.

3.2.1.3 Análisis a través de Software CAE

Las herramientas de *Computer Aided Engineering (CAE)*, o Ingeniería Asistida por Computador, son muy útiles para contrastar resultados desarrollados por los

métodos tradicionales, o brindar respuestas en situaciones que, debido a la complejidad de la geometría o fuerzas aplicadas, el cálculo a mano, no es posible o es muy complejo. (Chen y Liu, 2018)

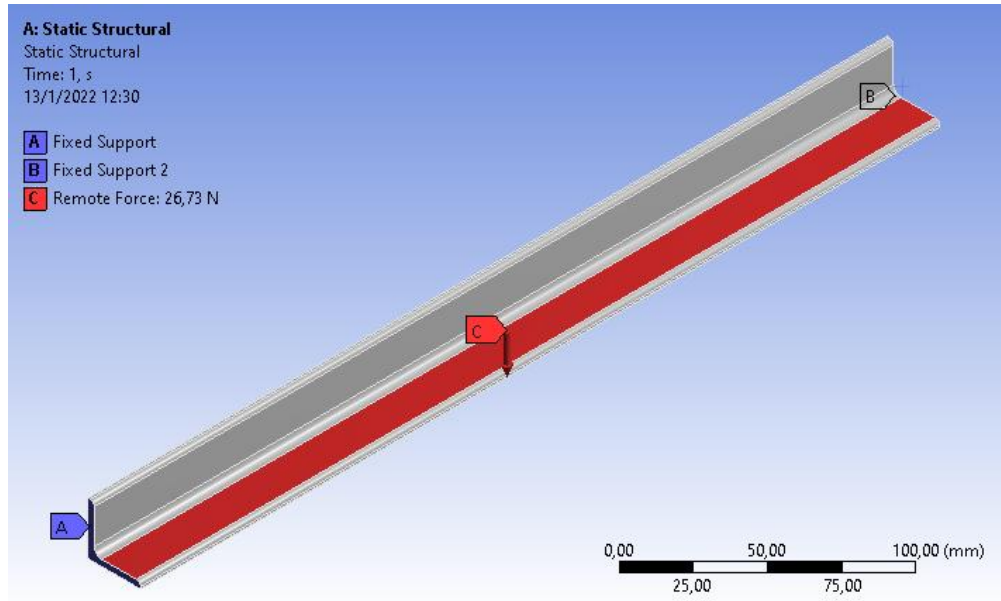
En cierta medida, utilizar estas herramientas simplifican el proceso, sin embargo, se debe entender que tipo de simulación se debe aplicar, partiendo de la teoría descrita en libros. En este caso, el análisis se puede realizar a través de la teoría de Von Mises, la misma predice que “la falla por fluencia ocurre cuando la energía de deformación total por unidad de volumen alcanza o excede la energía de deformación por unidad de volumen correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión o compresión del mismo material” (Budynas y Nisbett, 2012, p. 212) en otras palabras, dice que si el esfuerzo de Von Mises (σ_{vm}), es igual o mayor a la resistencia de fluencia S_y de un material, entonces se produce la falla. La expresión que representa esta afirmación se indica en la ecuación (16)

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \geq S_y \quad (16)$$

Para el análisis se usa el software Ansys 19.2, en primer lugar, se inserta la geometría en un bloque denominado *Static Structural*, se asigna el material acero inoxidable, se aplica un mallado con elemento de calidad de 1 mm, tiene dos bases fijas en los laterales y una fuerza equivalente de $F = -26.73 \text{ N}$ en el eje y . Una vez configurados todos los parámetros la viga se observa como en la **Figura 67**.

Figura 67

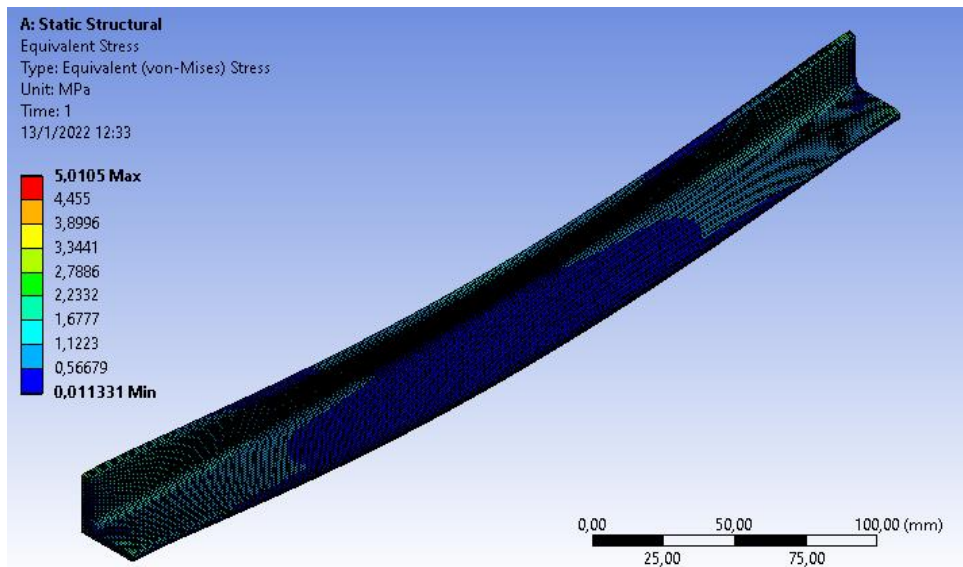
Viga con dos apoyos fijos y una carga uniformemente distribuida



Los resultados que se desea obtener son Esfuerzo de Von Mises (**Figura 68**), así como la deformación en el eje y (**Figura 69**), lo que representaría la flexión. Posteriormente estos datos sirven para validar si los materiales y geometrías están bien dimensionados.

Figura 68

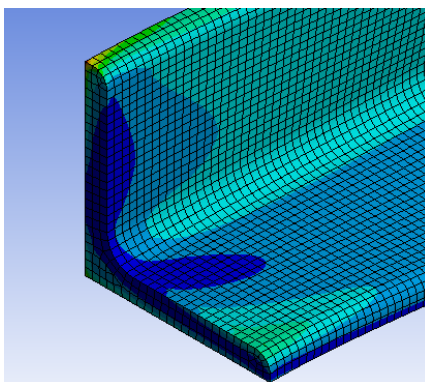
Esfuerzo de Von Mises, para la viga



a)

Tabular Data				
Time [s]	<input checked="" type="checkbox"/> Minimum [MPa]	<input checked="" type="checkbox"/> Maximum [MPa]	<input checked="" type="checkbox"/> Average [MPa]	
1 1,	1,1331e-002	5,0105	0,53714	

b)



c)

Nota: Se representa a) viga completa, b) resultados numéricos de la simulación y c) detalle en el apoyo lateral izquierdo.

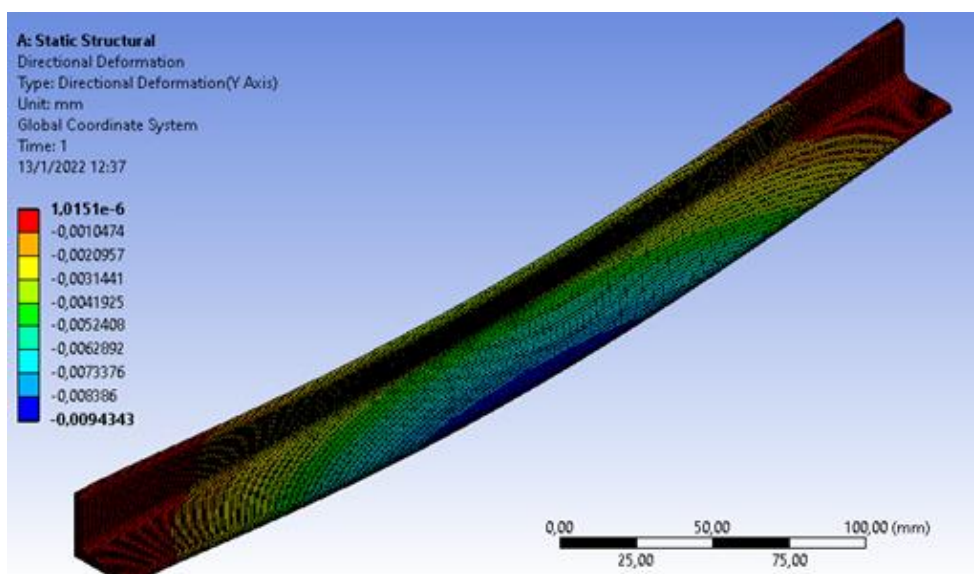
El esfuerzo máximo se presenta en la parte de la viga que está empotrada y tiene un valor de:

$$\sigma_{vm} = 5,0105 \text{ MPa}$$

Considerando la expresión (16), y la fluencia del acero inoxidable AISI 304, el diseño es seguro.

Figura 69

Deformación en eje y, para la viga



Los resultados de la simulación indican que la flexión máxima se produce en la parte central de la viga y con un valor igual a:

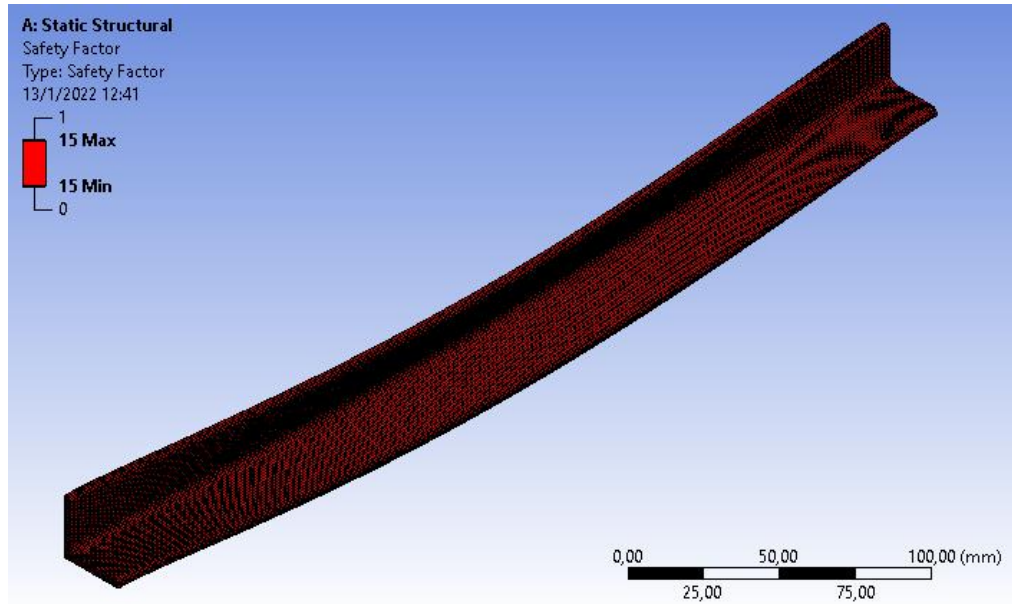
$$y_{m\acute{a}x} = 0,0094343 \text{ mm}$$

Considerando el resultado de la simulación y lo que señala la expresión (15), se observa que la flexión está dentro de los límites recomendados. En vista que al usar dos métodos (cálculo a mano y simulación) se observa que la viga va a soportar la carga aplicada, se da por válido el diseño.

También se simula el factor de seguridad (**Figura 70**) y la vida útil con la carga aplicada (**Figura 71**).

Figura 70

Resultados, Factor de seguridad



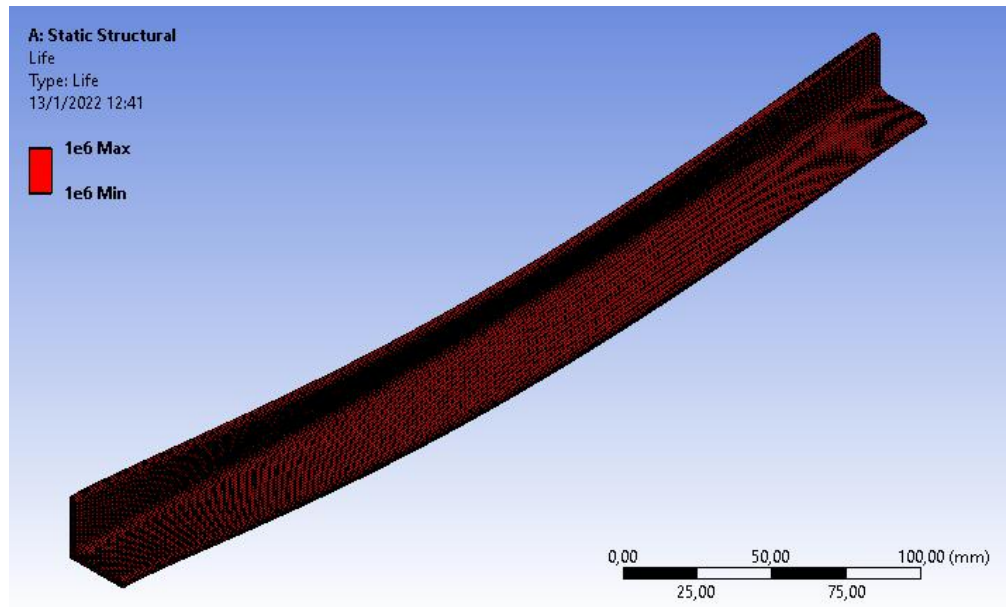
El factor de seguridad en toda la viga, es igual a:

$$N = 15$$

Por lo general se recomienda un valor igual a 2, cuando la carga aplicada sea de tipo estática para materiales dúctiles (Mott, 2009) El factor de seguridad sobrepasa considerablemente al sugerido, sin embargo, se seleccionó el ángulo más pequeño disponible.

Figura 71

Resultado, Ciclo de vida útil



Bajo las condiciones de carga indicadas la viga presenta 1×10^6 ciclos, lo que en otras palabras se puede traducir como vida infinita.

3.2.2 Simulación térmica

El análisis térmico del equipo empieza por considerar las formas en las que se da la transferencia de calor, como: conducción, convección y radiación. Se puede incluir el análisis de temperatura, gradientes de temperatura y flujo de calor, el estudio debe considerar si se realiza en condiciones estables o transitorias.

La conducción de calor se da según la expresión (17) considerando un campo en 3 dimensiones. (Chen y Liu, 2018)

$$\begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{pmatrix} = -\mathbf{K} \begin{pmatrix} \partial T / \partial x \\ \partial T / \partial y \\ \partial T / \partial z \end{pmatrix} \quad (17)$$

Donde:

f_x, f_y, f_z es el flujo de calor en la dirección x, y, z respectivamente

\mathbf{K} es la conductividad térmica del material

$T = T(x, t); T = T(y, t); T = T(z, t)$ temperatura en cada dirección

Al desarrollar esta expresión, se obtiene la ecuación del flujo de calor (18)

$$-\left[\frac{\partial f_x}{\partial x} + \frac{\partial f_y}{\partial y} + \frac{\partial f_z}{\partial z} \right] + q_v = c \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (18)$$

Donde:

q_v , tasa de generación de calor interna de calor, por unidad de volumen

c , calor específico del material

ρ , densidad del material

El esfuerzo-deformación generado en estructuras debido a cambios de temperatura se puede estimar usando la ecuación (19) (Chen y Liu, 2018)

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_o \quad (19)$$

Donde:

ε_e es la deformación debido a una carga mecánica

ε_o es la deformación debido a una variación térmica

A su vez ε_o se determina, con la expresión (20)

$$\varepsilon_o = \begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha \Delta T \\ \alpha \Delta T \\ \alpha \Delta T \end{pmatrix} \quad (20)$$

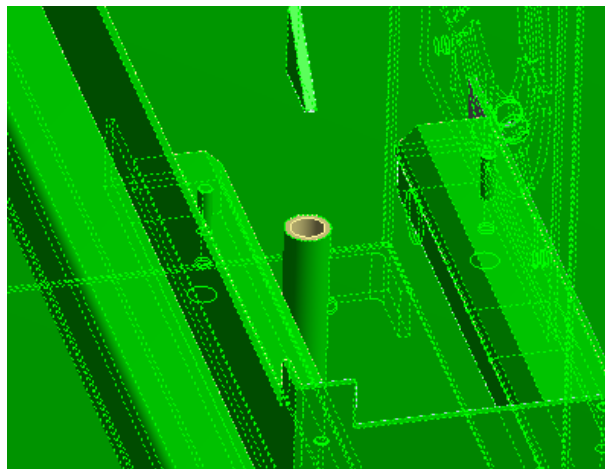
Debido a la complejidad de la resolución de estas expresiones y que este análisis incluye varios elementos de distintos materiales y geometrías complejas se recurre al uso de un software CAE.

En este caso se considera conducción y convección para una etapa transitoria y luego una etapa estable, un ciclo de funcionamiento inicia con el equipo a temperatura ambiente, luego sube la temperatura considerando los cálculos desarrollados en la sección 2.3.5.2, finalmente se deja que el equipo regrese a la temperatura ambiente.

El flujo de calor se aplica desde la boquilla de la chimenea del mechero Bunsen, con un valor de $33.83 W$, debido a que esa es la cantidad de calor aplicada por instante de tiempo por un período de 75 segundos, que es el tiempo de estabilización de la llama y de ensayo; todas las caras del equipo se encuentran en convección, con un valor de $25 W/m^2K$, considerando convección natural. En la **Figura 72** se observa en color verde las caras en convección y en amarillo la parte superior de la chimenea del mechero, desde donde se produce el flujo de calor.

Figura 72

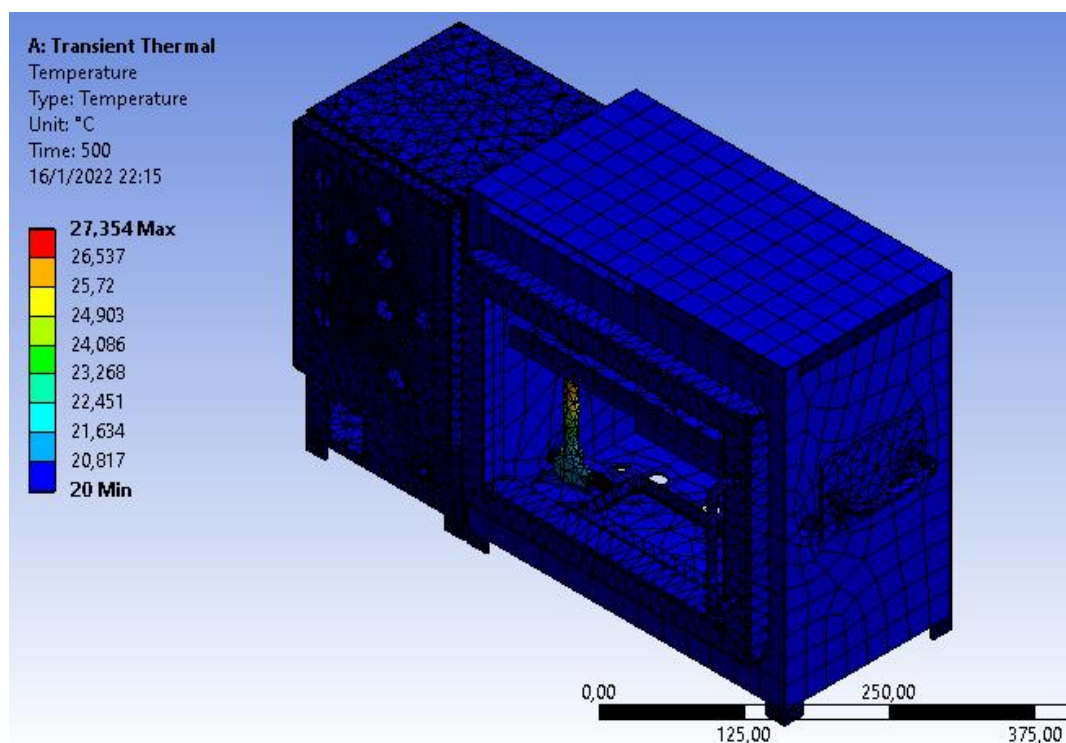
Flujo de calor



Con los parámetros indicados se observa que el equipo alcanza una temperatura de °C en un, el cambio de temperatura dentro de la cámara de ensayos se observa en la **Figura 73**, para este ensayo se observa que el equipo no supera los 30 °C que la norma indica, y tampoco sobrepasa la temperatura de funcionamiento de ninguno de los dispositivos instalados en el mismo.

Figura 73

Temperatura en la cámara de ensayos



Otra consideración del análisis térmico es visualizar los esfuerzos que se presentan en la máquina debido a los cambios de temperatura, los resultados se observan en la **Figura 74**. El valor máximo de esfuerzo es igual a 46.027 MPa, dado que este es menor a la fluencia del material, entonces el diseño es válido.

Figura 74

Esfuerzo debido a cambios de temperatura

Tabular Data				
	Time [s]	<input checked="" type="checkbox"/> Minimum [MPa]	<input checked="" type="checkbox"/> Maximum [MPa]	<input checked="" type="checkbox"/> Average [MPa]
1	1,	3,1449e-009	46,027	0,55214

Se determina también los ciclos de vida útil del equipo, para este caso se obtiene que es igual a 1×10^6 ciclos.

3.3 Diseño del sistema de control

3.3.1 Tipo de control

Para implementar el sistema de control del equipo se toma a consideración los requerimientos del cliente, que se observan en la **Tabla 5**, entre ellos robustez, facilidad de uso, bajo costo; al desarrollar la matriz QFD, se observa en los resultados (**Tabla 9**) que una forma de conseguir este objetivo es a través de automatismos, los cuales ya se han seleccionado en capítulos anteriores. Finalmente queda seleccionar el tipo de control a implementar, en este caso será la lógica cableada, ya que cumple justamente el criterio de ser económica y robusta para una aplicación sencilla como en este caso.

3.3.2 Algoritmo de control

3.3.2.1 Requerimientos del control

La norma ISO 3795 indica el proceso que se debe seguir para el ensayo de inflamabilidad, de forma resumida consiste en:

1. Abrir el gas
2. Generar una llama y permitir que se estabilice
3. Colocar el porta-probetas al interior de la cámara de ensayos y apagar la llama a los 15 segundos
4. Bloquear todo el equipo mientras se realiza el ensayo

5. Controlar durante todo el proceso que la temperatura ambiente y del equipo sea menor al valor configurado.

En la **Figura 30** se observa más detalles del procedimiento; se implementan protecciones para el usuario y para el ensayo, por ello se determina necesario, los elementos de maniobra, señalización y protección que se detallan en la **Tabla 60**.

Tabla 60

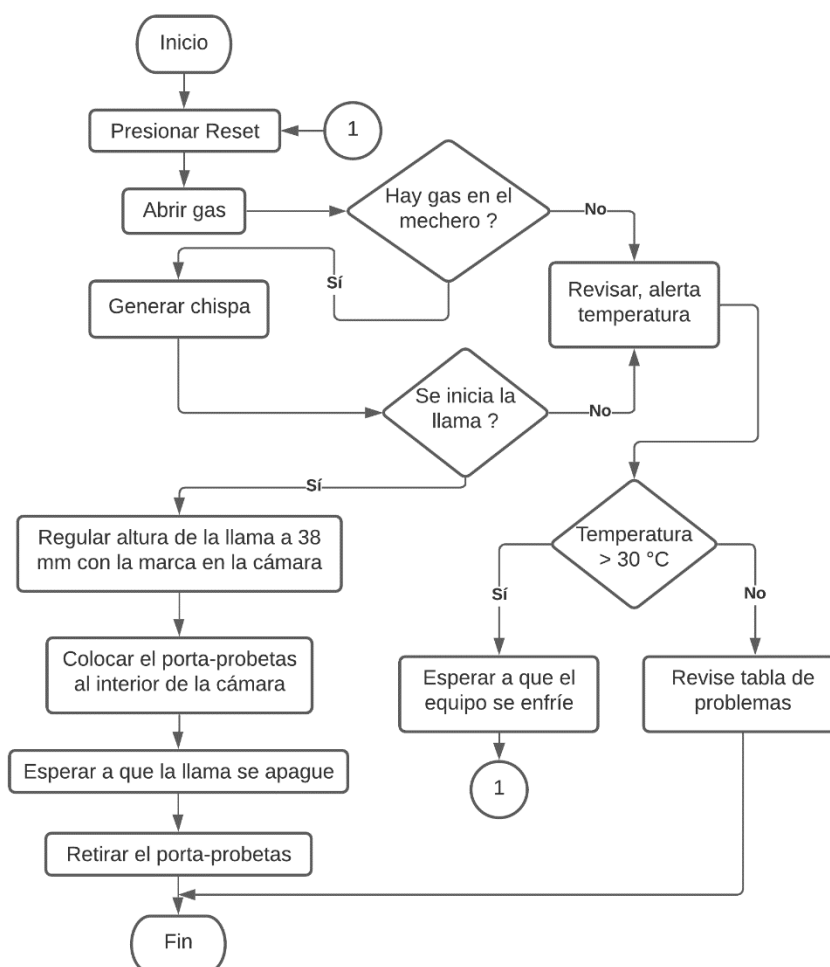
Dispositivos para sistema de control

Dispositivo	Función
1 Controlador de temperatura	-Configurar la temperatura a la cual se desarrolla el ensayo
1 Electroválvula	-Permitir el paso del gas combustible al ser energizada
1 Módulo de chispa con electrodo	-Generar chispa
2 Pulsadores NO	-Mando para abrir gas -Mando para generar chispa
1 Pulsador NC	-Mando para resetear el proceso por fin de ensayo y por alerta de temperatura
1 Selector de 2 posiciones	-Encender y apagar el equipo
1 Paro de emergencia	-Cortar la alimentación en caso de una situación de emergencia
2 Luces piloto, color verde	-Indicar que el gas está abierto -Indicar que el equipo está listo para trabajar
1 Luz piloto, color azul	-Indicar que se está desarrollando un ensayo
1 Luz piloto, color rojo	-Indicar que la temperatura ambiente y/o de la cámara de ensayos es superior al valor configurado

Dispositivo	Función
2 Finales de carrera	-Determinar si la puerta de observación está cerrada -Determinar si el porta-probetas se colocó en la cámara de ensayos
Dispositivo	Función
3 Relés	-Se usan para llevar a cabo la conexión y desconexión de circuitos de mando
1 Relé temporizador	-Configurar el tiempo para cortar el paso de gas
1 Ventilador	-Disipar calor del tablero de control
1 Fusible	-Para protección en caso de cortocircuitos

3.3.2.2 Diagrama de flujo del control

A partir del procedimiento indicado en la **Figura 30**, se desarrolla en la **Figura 75**, el diagrama de flujo que indica el funcionamiento únicamente del algoritmo.

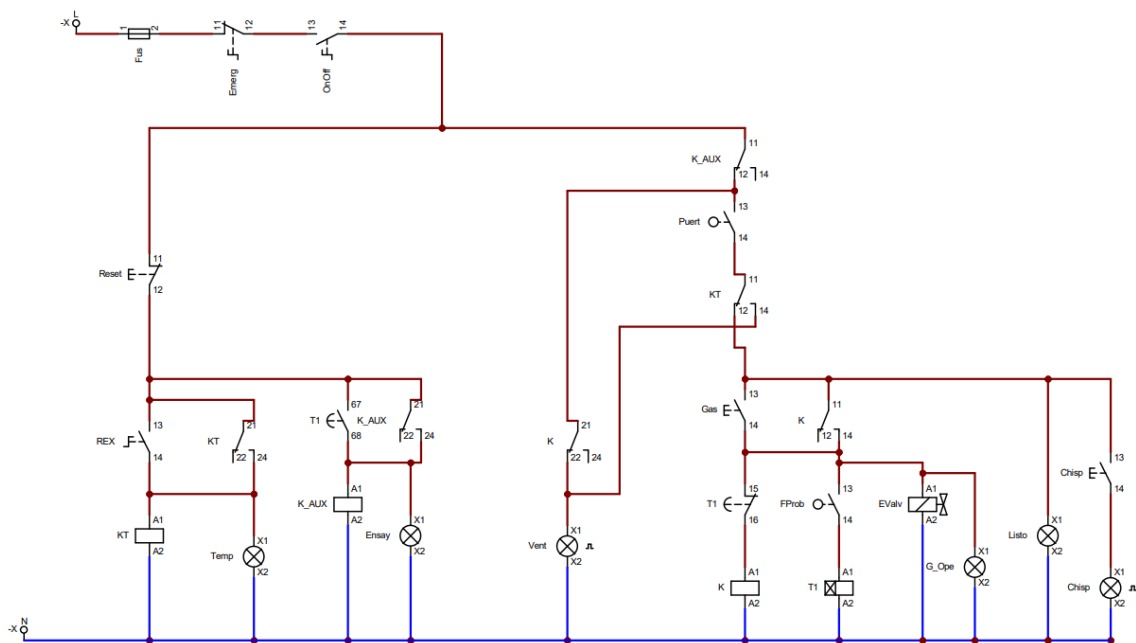
Figura 75*Algoritmo de control*

3.3.2.3 Esquema de control

Usando el software CADe-Simu, para simular el circuito de control, se desarrolla el mismo, como se observa en la **Figura 76**. El esquema se encuentra ampliado en el Anexo 4. Considerar que los elementos identificados como “Vent” y “Chisp” representan el ventilador y el Módulo de chispa, respectivamente.

Figura 76

Esquema de control



El control se encarga de manipular una electroválvula que está conectada en serie desde un regulador de presión y hacia un regulador de flujo, posteriormente se conecta al mechero Bunsen, el detalle de esta conexión se encuentra en los Anexos.

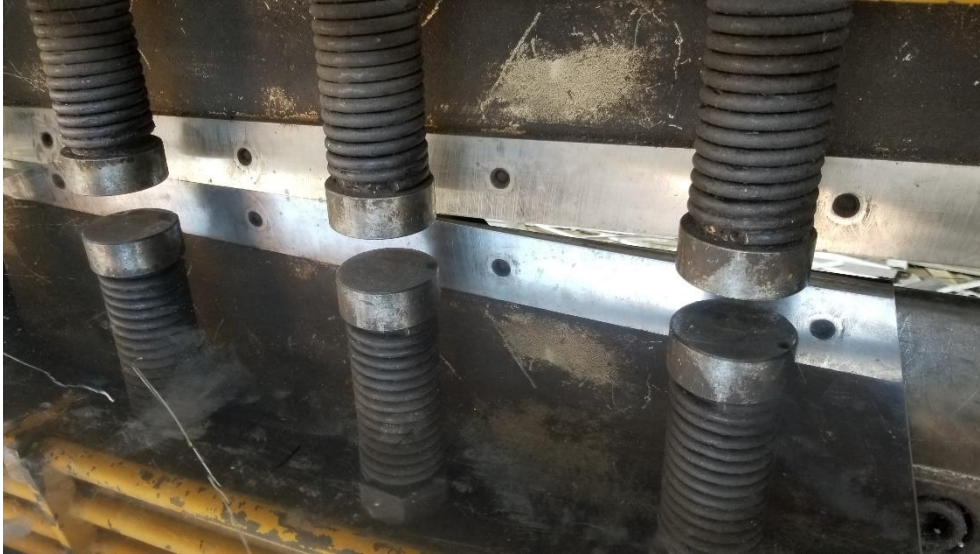
3.4 Construcción del equipo

3.4.1 Cortar las piezas según planos

La construcción inicia al cortar las piezas según los planos, usando distintas herramientas: cortadora hidráulica de hoja, cortadora de plasma, amoladora, etc. En la **Figura 77** se observa el corte de la tapa posterior del equipo con la cortadora de hoja.

Figura 77

Corte de piezas

**3.4.2 Soldar**

El proceso de soldado del equipo es relativamente sencillo e intuitivo, primero se coloca sobre la mesa de trabajo la base, luego, a nivel de la mesa de trabajo se coloca la parte frontal y posterior, se procede a realizar puntos de suelda, ahora es el turno de los laterales del equipo que se colocan sobre la base y entre la parte frontal y posterior, de esta forma se logra las dimensiones especificadas en la norma.

El proceso de soldadura es TIG, para un espesor de 2 mm se coloca el grupo de soldadura en alrededor de 150 A, esta medida se establece en base a dos parámetros, primero, un valor obtenido de una tabla como la mostrada en la **Figura 78**, y segundo, una prueba en el material con su posterior inspección visual.

Figura 78

Valores de Amperaje recomendados para soldadura TIG

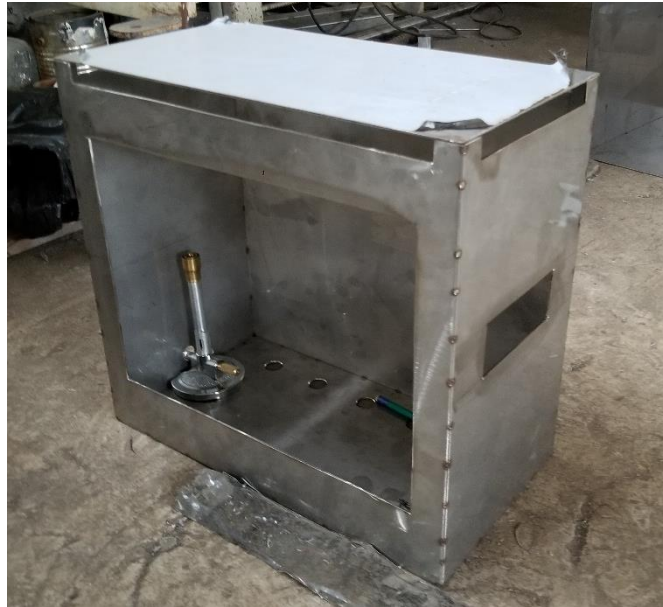
Diametro del Electrodo		CC en Amp.		CA en Amps.	
		Polaridad Directa	Polaridad Inversa	Onda Desbalan.	Onda Balan.
Inch.	mm	DCEN	DCEP		
0.010	0.3	0.1- 15	No Aplicable	0.1-15	0.1-15
0.020	0.5	5-20	No Aplicable	5-20	5-20
0.040	1.0	15-80	No Aplicable	10-80	20-60
0.060	1.6	70-150	10-20	70-150	60-120
0.093	2.4	150-250	15-30	140-235	100-180
0.125	3.2	250-400	25-40	225-325	160-250
0.156	4.0	400-500	40-55	300-400	200-320
0.187	4.8	500-750	55-80	400-500	290-390
0.250	6.4	750-1000	80-125	500-630	340-525

Nota. Tomado de: Electrodo de tungsteno para soldadura TIG-GTAW, por Soldadura y Robótica, 2012, <https://www.josecarlosmoreno.com/single-post/2016/10/02/electrodos-de-tungsteno-para-soldadura-tig-gtaw>

Una vez completada la soldadura entre las piezas, se obtiene la parte principal de la cámara, como se observa en la **Figura 79**, nótese que el equipo se encuentra punteado que es el paso previo a la realización de los cordones. La construcción del tablero de control se realiza de forma similar, los detalles de dimensión, ubicación y disposición de cada pieza se encuentra en el Anexo 1.

Figura 79

Cámara de Inflamabilidad sin acabado



3.4.3 Acabado

El proceso de acabado se realiza para darle una apariencia final de mejor aspecto al equipo y para corregir ciertos defectos superficiales que se generan por la manipulación de las piezas durante la construcción.

Satinado

Dentro del proceso de acabado, lo primero a realizarse es el satinado del mismo, para ello se utiliza una grata de grano 140, para a través de movimientos en sentido vertical, obtener un acabado brillante, pero no pulido. En la **Figura 80** se observa la aplicación de este proceso a una de las partes del equipo.

Figura 80

Proceso de satinado en una parte del equipo

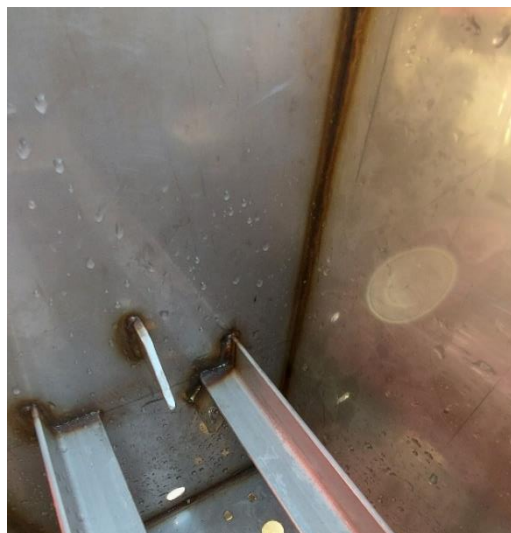
**Decapado**

La soldadura TIG desprende una cantidad casi nula de escoria, sin embargo, siempre existe contaminación debido a presencia de material orgánico, óxido superficial u otras condiciones, por ello es apropiado usar una sustancia decapante que por lo general es ácido nítrico o fluorhídrico, la misma se aplica sobre la zona contaminada, se deja actuar por unos minutos y luego se retira con agua a presión. (Ingemeccánica, s. f.)

En la **Figura 81** se observa la aplicación de este gel específico para aceros inoxidable, debido a la naturaleza de la sustancia empleada, se debe usar protección ocular y respiratoria.

Figura 81

Proceso de decapado en el interior de la cámara de ensayos



a)



b)

Nota. En la figura se observa: a) estado de la cámara de ensayos previo a la aplicación del decapante, b) proceso de decapado.

3.4.4 Mecanizado de porta-probetas

Para fabricar el porta-probetas se usa dos secciones de platina de dos pulgadas, soldadas longitudinalmente, para obtener lo que se observa en la **Figura 82**, esto permite tener una dimensión levemente mayor a las medidas especificadas para esta pieza, considerar que se requieren dos de estos objetos soldados, por ser dos porta-probetas, cada uno con su longitud especificada. En el Anexo 2 se encuentra el desarrollo de los cálculos para el mecanizado.

Figura 82

Platinas soldadas para porta-probetas



En la **Figura 83** se observa los porta-probetas una vez desarrolladas algunas operaciones de mecanizado entre ellas planeado, perfilado, ranurado, taladrado, etc.

Figura 83

Porta-probetas mecanizado



Nota. En la figura se observa las platinas soldadas, antes y después de las operaciones de mecanizado.

Además de las operaciones de mecanizado ya descritas, para el porta-probetas inferior se aplica un proceso de electroerosión.

3.4.5 *Electroerosión*

La electroerosión se utiliza cuando se requiere llevar a cabo operaciones de mecanizado en las que, debido a la geometría o tamaño de las mismas, no es posible realizarlo por métodos tradicionales usando fresas o brocas. El proceso se observa en la **Figura 84**, en este caso se usa un electrodo de cobre para realizar unas pequeñas ranuras de 0.5 mm de ancho en la cara superior del porta-probetas inferior, el equipo utilizado se configura a una corriente de entre 4 A y 5 A, el fluido dieléctrico utilizado es diésel.

Figura 84

Proceso de electroerosión



3.4.6 Ensamblaje del equipo

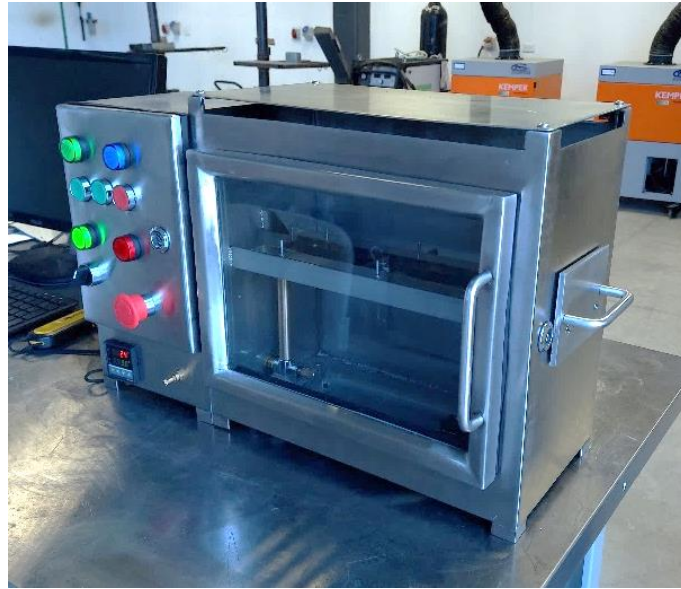
Para el ensamble de los componentes eléctricos del equipo se toma de referencia el esquema de conexión de la **Figura 76**, se usa cable calibre 18 y se monta los relés, módulo de chispa, ventilador, etc, según lo que se observa en la **Figura 85**.

Figura 85

Disposición de los elementos eléctricos al interior del tablero de control



Una vez construido el equipo se observa como en la **Figura 86**.

Figura 86*Equipo terminado*

a)



b)

Nota. En la figura se observa: a) vista desde la parte frontal derecha, b) vista desde la parte posterior derecha.

Capítulo IV

Implementación del sistema de visión artificial

4.1 Criterios para el sistema de visión artificial

Para desarrollar un sistema de visión artificial que sea funcional y robusto se consideran algunos parámetros, principalmente la ubicación y disposición del sistema, así como la iluminación en el mismo; posteriormente cada algoritmo se encargará de detectar la presencia de la llama en la zona considerada.

4.1.1 *Ubicación y disposición del sistema*

Las consideraciones para ubicar cada cámara ya se mencionaron en la sección 3.1.5, se colocaron como se observa en la **Figura 87**, la cámara térmica se coloca hacia la parte posterior debido a que cuando está ubicada en la parte superior el sensor toma mediciones erróneas, la cámara digital se coloca en la parte superior aunque considerar que es posible que debido al calor producido durante los ensayos, la vida útil de la misma pueda reducirse.

Figura 87

Ubicación de cámaras para el sistema de visión artificial

**4.1.2 Iluminación**

Existen varios tipos de iluminación que se suelen instalar para un sistema de visión artificial, sin embargo, los más frecuentes son de tipo: frontal, lateral, retroiluminación por campo luminoso o campo oscuro, e iluminación estructurada. A continuación, se detalla brevemente algunas que podrían servir para esta aplicación.

4.1.2.1 Iluminación frontal

La disposición de los elementos se observa en la **Figura 88**, la cámara y la luz se posicionan en la misma dirección hacia el objeto, sirve para reducir sombras y suavizar texturas, es útil para superficies con poco reflejo, como papel o tela, la desventaja es que produce intensos reflejos sobre superficies reflectantes.

Figura 88

Iluminación frontal



Nota. Tomado de: Sistemas de iluminación para aplicaciones de visión artificial, por Grupo bcvision, 2017, <https://www.bcnvision.es/blog-vision-artificial/iluminacion-vision-artificial2/#:~:text=La%20fuente%20de%20luz%20puede,fluorescente%2C%20ultravioleta%2C%20entre%20otros.>

En el equipo no se puede utilizar iluminación frontal direccional debido a que el acero inoxidable del que está construida la cámara de ensayos, produce muchos reflejos lo que dificultaría la labor del sistema de visión artificial.

4.1.2.2 Retroiluminación

La disposición de los elementos se observa en la **Figura 89**, la luz se emite desde la parte posterior del objeto, sirve determinar siluetas y contornos, la desventaja es que no permite reconocer detalles en la superficie del mismo.

Figura 89*Retroiluminación*

Nota. Tomado de: Sistemas de iluminación para aplicaciones de visión artificial, por Grupo bcvision, 2017, <https://www.bcvision.es/blog-vision-artificial/iluminacion-vision-artificial2/#:~:text=La%20fuente%20de%20luz%20puede,fluorescente%2C%20ultravioleta%2C%20entre%20otros.>

En el equipo no se puede utilizar retroiluminación debido a que se perderían en la superficie de la probeta los detalles que indican el avance de la llama, así como la distancia total consumida por la misma.

4.1.2.3 Iluminación omnidireccional

La disposición de los elementos se observa en la **Figura 90**, la luz se emite al interior de una cúpula que puede ser esférica o cónica, el resultado es una luz difusa desde todas las direcciones, elimina sombras y reflejos, suaviza texturas y minimiza defectos del objeto.

Figura 90

Iluminación omnidireccional



Nota. Tomado de: Sistemas de iluminación para aplicaciones de visión artificial, por Grupo bcvision, 2017, <https://www.bcnvision.es/blog-vision-artificial/iluminacion-vision-artificial2/#:~:text=La%20fuente%20de%20luz%20puede,fluorescente%2C%20ultravioleta%2C%20entre%20otros.>

En el equipo se utiliza una especie de iluminación omnidireccional de baja intensidad proporcionada por el lugar en el que se encuentra ubicado el equipo, de esta forma se trata de eliminar sobras y reflejos, para así determinar el avance de la llama apropiadamente. Además, se considera que al interior de la cámara de ensayos no se puede colocar iluminación debido a que el calor producido durante los mismos, dañaría estos elementos.

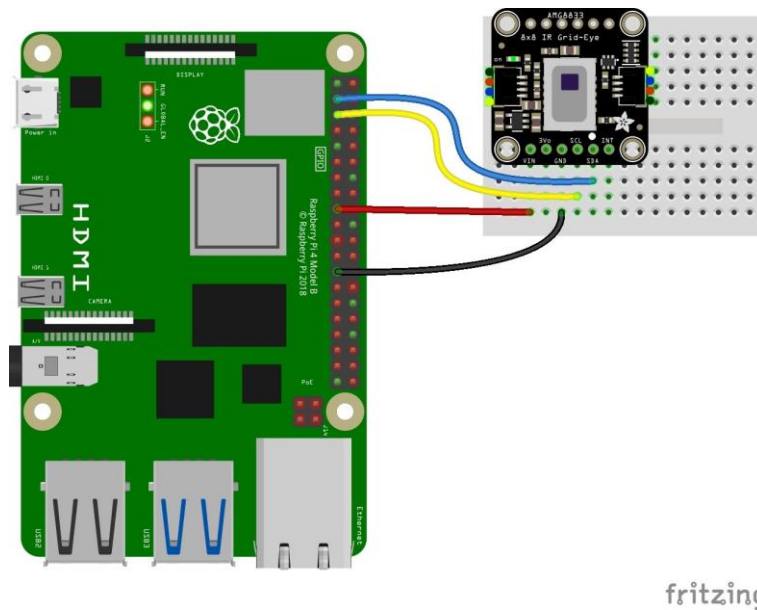
4.2 Conexión de dispositivos

Los elementos que incorporan el sistema de visión artificial incluyen la Raspberry Pi 4, con sus periféricos de entrada y salida, un sensor AMG8833 y una cámara digital;

en la **Figura 91**, se observa la conexión del sensor térmico a la Raspberry Pi, la cámara digital se conecta por cable USB.

Figura 91

Esquema de conexión, sensor AMG8833



Nota. Tomado de: Adafruit AMG8833 8x8 Thermal Sensor, por Learn Adafruit, 2021, <https://learn.adafruit.com/adafruit-amg8833-8x8-thermal-camera-sensor/python-circuitpython>

En el sensor térmico se conectan cuatro pines: Vin, GND, SCL, SDA; en la Raspberry se pueden colocar en los pines del GPIO 17, 25, 5, 3 respectivamente.

4.3 Algoritmos

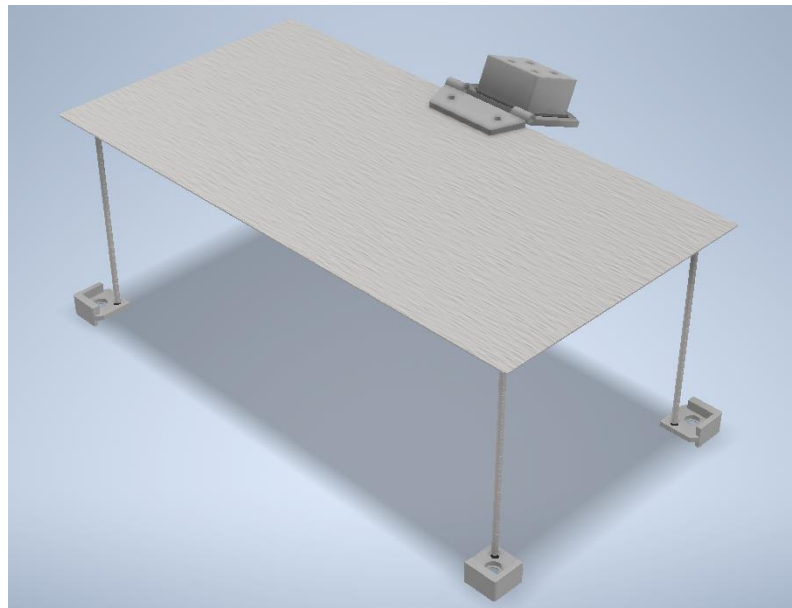
En ambos casos el algoritmo está desarrollado en lenguaje de programación libre Python, en el IDE Thonny Python, se desarrolla por separado el algoritmo para cada cámara.

4.3.1 Cámara térmica

La idea general para el algoritmo con la cámara térmica es que, a través de la lectura de los valores captados por el sensor, se identifique el lugar y el instante de tiempo en el que aparece la llama. El sensor es un AMG8833 que funciona con comunicación I2C y se encuentra al interior de la base que se observa en la **Figura 92**.

Figura 92

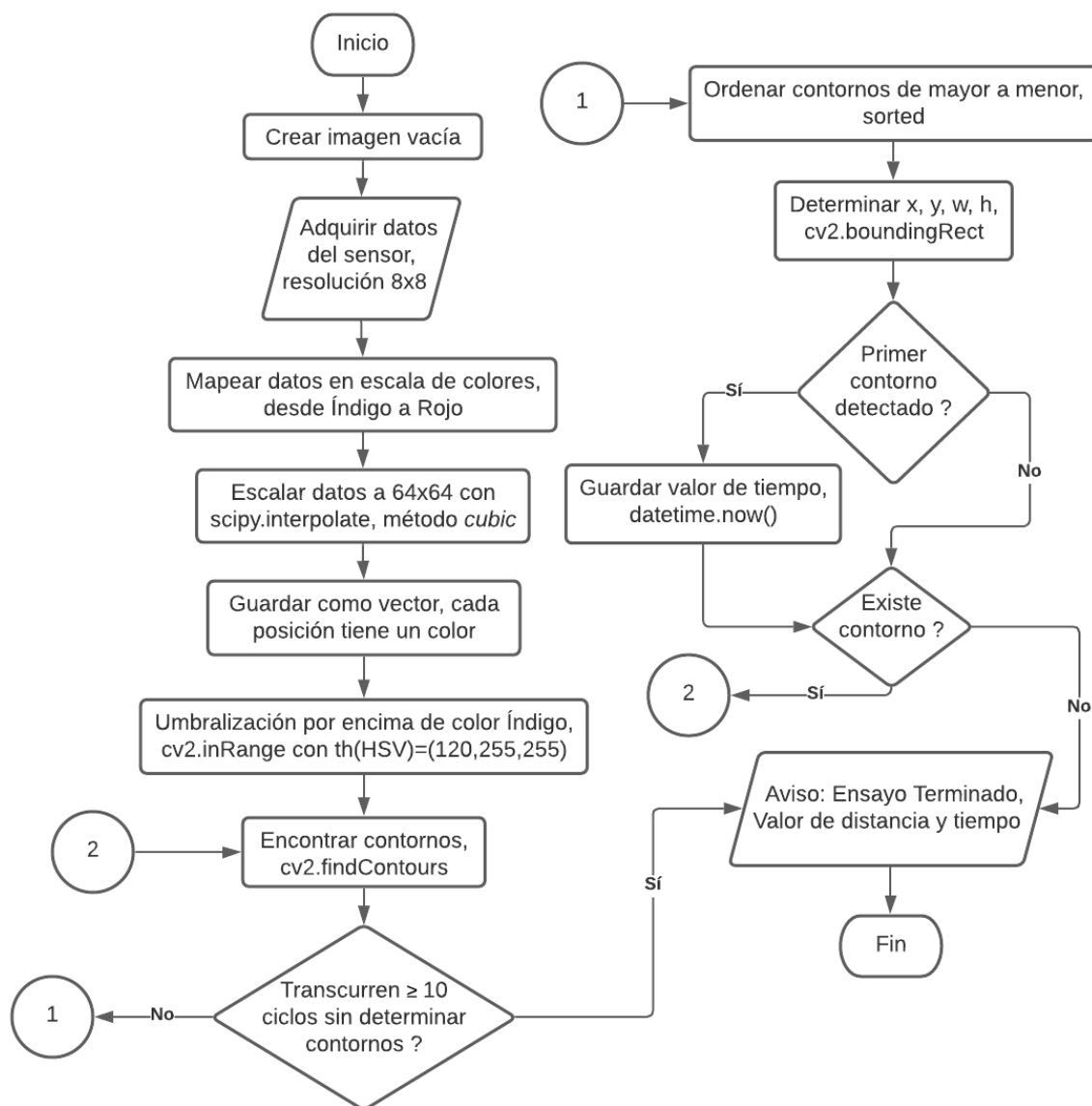
Módulo de visión artificial del equipo con cámara térmica



La **Figura 93** indica el diagrama de flujo para el algoritmo de la cámara térmica.

Figura 93

Diagrama de flujo del algoritmo con cámara térmica



A continuación, se detallan partes representativas del algoritmo con más detalle.

4.3.1.1 Adquisición de datos

El sensor adquiere datos en una matriz de 8x8, para ello se debe instalar la librería correspondiente del sensor AMG8833, se puede hacer desde el terminal con el comando:

- `sudo pip3 install adafruit-circuitpython-amg88xx`

El código que se debe colocar en el programa se observa en la **Figura 94**.

(Torres, 2021)

Figura 94

Código para obtener datos del sensor

```
import time
import busio
import board
import adafruit_amg88xx
i2c = busio.I2C(board.SCL, board.SDA)
amg = adafruit_amg88xx.AMG88XX(i2c)
```

Nota. Tomado de: Adafruit AMG8833 8x8 Thermal Sensor, por Learn Adafruit, 2021, <https://learn.adafruit.com/adafruit-amg8833-8x8-thermal-camera-sensor/python-circuitpython>

Ahora se puede acceder a la información del sensor usando las propiedades:

- *temperature*, es la temperatura del sensor en °C;
- *pixels*, es la temperatura de cada píxel del sensor en °C.

4.3.1.2 Escalado

Para observar la información de los píxeles como una imagen térmica con una resolución más alta, se procede a hacer un escalado, para ello se instala la librería Scipy, que permite procesar datos, a través de distintas herramientas y algoritmos matemáticos. (Torres, 2021) La instalación se hace desde el terminal con el comando:

- `sudo apt-get install -y python-scipy`

La función a usar dentro de la librería Scipy es `scipy.interpolate`, que como su nombre indica sirve para generar valores a través de una interpolación de los datos disponibles, también se usa `griddata` para indicar el tamaño al cual se escala la imagen, que para este caso es 64x64, con esto la resolución de la imagen sería de 4096 píxeles. En la **Figura 95**, se observa la sintaxis y los parámetros para la interpolación.

Figura 95

Código para escalar la imagen térmica

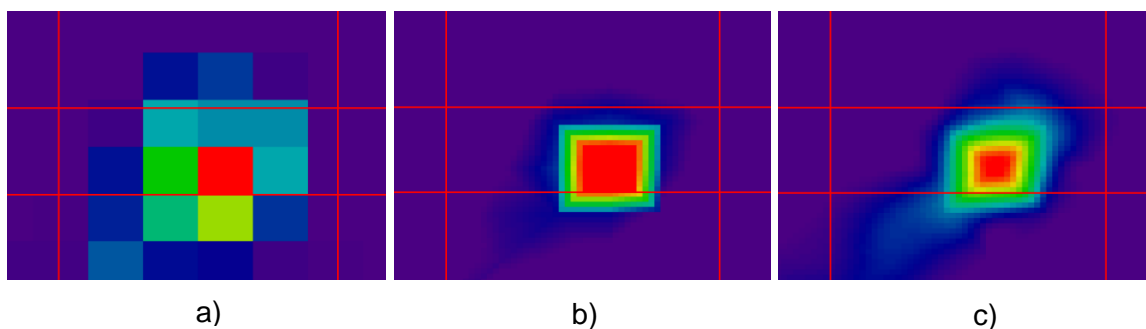
```
>>> from scipy.interpolate import griddata
>>> grid_z0 = griddata(points, values, (grid_x, grid_y), method='nearest')
>>> grid_z1 = griddata(points, values, (grid_x, grid_y), method='linear')
>>> grid_z2 = griddata(points, values, (grid_x, grid_y), method='cubic')
```

Nota. Tomado de: Adafruit AMG8833 8x8 Thermal Sensor, por Learn Adafruit, 2021, <https://learn.adafruit.com/adafruit-amg8833-8x8-thermal-camera-sensor/python-circuitpython>

Entre los parámetros se define el método para la interpolación, que puede ser de tipo *nearest*, *linear* o *cubic*, depende la aplicación se puede usar uno u otro, en la **Figura 96** se aprecia el resultado al aplicar cada método, siendo que a) da una interpolación sustituyendo el valor más cercano al dato que se quiere interpolar, b) genera una interpolación lineal y c) una interpolación cúbica, particularmente útil cuando se tiene una matriz de dos dimensiones.

Figura 96

Resultado de cada método de interpolación



Nota. Se observa, métodos: a) Nearest, b) Linear y c) Cubic

En el código se usa interpolación de tipo *cubic*, ya que esta suaviza mejor los contornos de la imagen y por ser más útil debido a los datos que se tiene.

4.3.1.3 Umbralización

Este proceso permite segmentar una imagen en dos niveles según un valor o conjunto de valores, esto se hace con la intención de separar un objeto del fondo, al identificar características según su modelo de color (imagen RGB o HSV principalmente). RGB es un modelo que representa a los colores como una mezcla aditiva de *Red*, *Green*, *Blue*; rojo, verde y azul respectivamente, en escala de 0 a 255. HSV es otro modo de color compuesto por características de otra naturaleza, las siglas atienden a: *Hue*, es el tono o matiz de cada color *Saturation*, indica la pureza de cada color y *Value* que indica la intensidad de luz en el color. (Rodríguez, 2020)

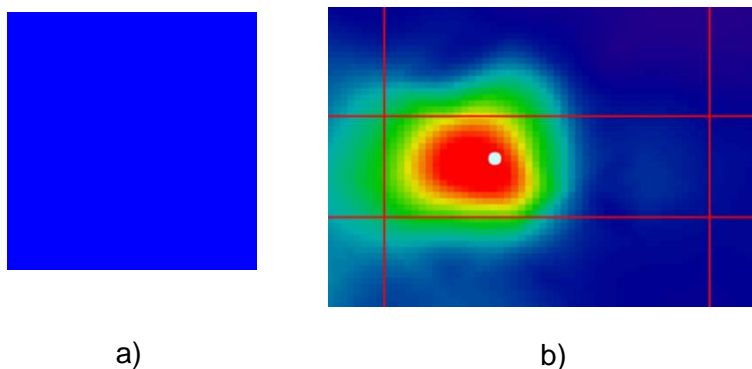
En el código se toma la variable que contiene la información de la cámara térmica ya escalada y se aplica umbralización con la función `cv2.inRange` para una imagen en HSV.

Los valores en HSV seleccionados están en el rango de H: 0 – 120, S: 0 – 255, V: 0 – 255. La razón por la que se selecciona el valor de 120 en el tinte es debido a que

superior a eso se obtiene el color Índigo, el cual representa la temperatura ambiente. En a) de la **Figura 97** se observa el color que representa el punto desde el cual parte la umbralización y representa la temperatura mínima que se identifica como presencia de la llama. En b) de la misma figura se observa una llama en la que el color rojo representa la temperatura más alta, la temperatura va disminuyendo conforme se presenta el color naranja, amarillo, verde y turquesa; el color azul representa el lugar donde la temperatura es baja o ambiental.

Figura 97

Colores considerados para umbralización, cámara térmica



Nota. Se observa: a) Representación del color para el valor de umbral, b) Imagen tomada por la cámara térmica de una llama

4.3.1.4 Tiempo

Para determinar el tiempo de ensayo se crea una función en el programa, en la que cuando se detecta una llama se guarda el valor de tiempo proporcionado por la Raspberry Pi en ese instante, esto se logra con las líneas de código de la **Figura 98**.

Figura 98

Código para obtener el tiempo actual

```
from datetime import datetime  
  
# datetime object containing current date and time  
now = datetime.now()
```

Nota. Tomado de: How to get current date and time in Python?, por Programiz, s.f., <https://www.programiz.com/python-programming/datetime/current-datetime>

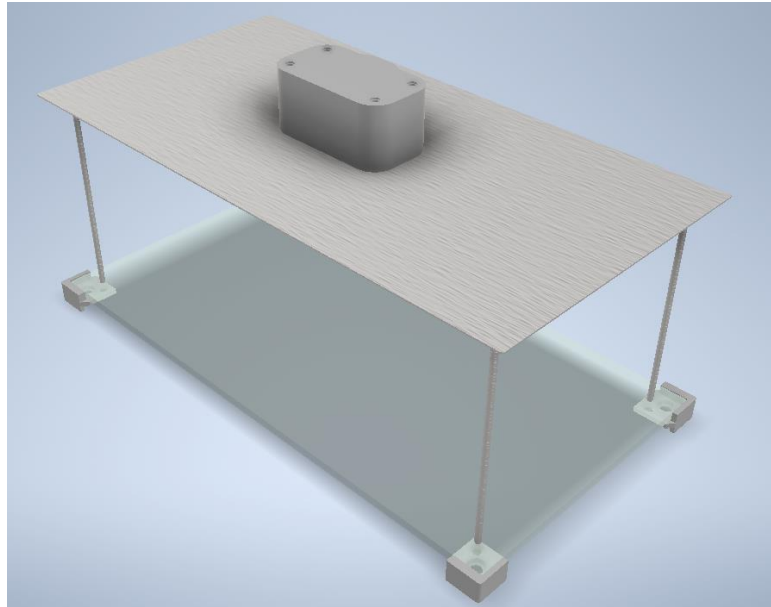
Cuando se detecte que la llama se apagó o que llegó al último punto de medición, se obtiene nuevamente el tiempo actual con la función `datetime.now()`; posteriormente se resta este valor del anterior y así se sabe el tiempo transcurrido.

4.3.2 Cámara digital

El algoritmo con la cámara digital se base en que a través de varias umbralizaciones se identifique el lugar y el instante de tiempo en el que aparece la llama, considerando las diferencias de luz entre la llama y el fondo. El dispositivo utilizado es una cámara digital de 720p que se conecta vía USB y se encuentra al interior de la base que se observa en la **Figura 99**.

Figura 99

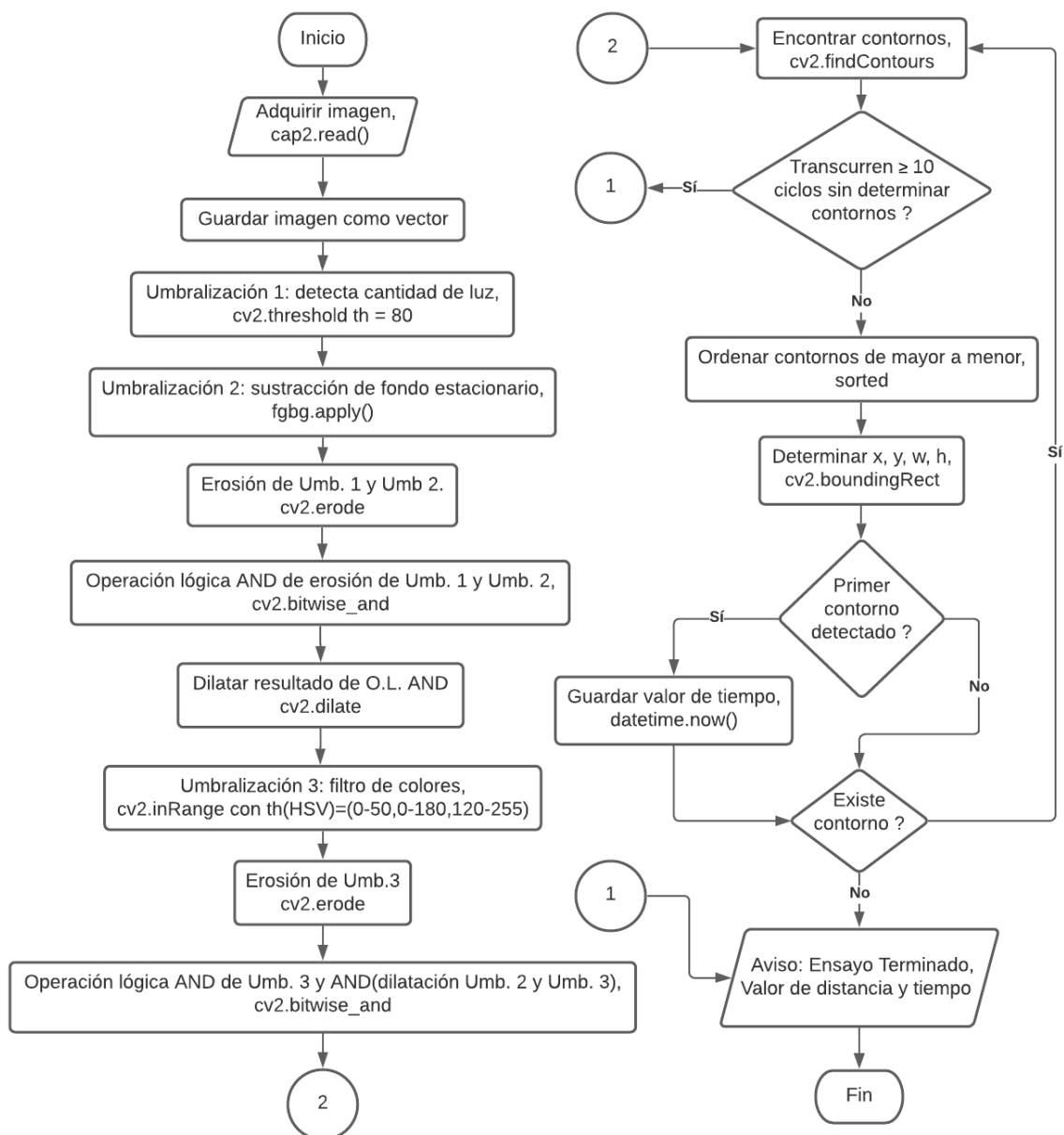
Módulo de visión artificial del equipo con cámara digital



La **Figura 100** indica el diagrama de flujo para el algoritmo de la cámara digital.

Figura 100

Diagrama de flujo del algoritmo con cámara digital



A continuación, se detallan partes representativas del algoritmo con más detalle.

4.3.2.1 Umbralización de tres etapas

En el algoritmo se incorporan umbralizaciones de tres tipos diferentes, las mismas se han denominado: umbralización por cantidad de luz, umbralización por sustracción de fondo estacionario y umbralización por filtro de colores; cada una se explica a continuación.

a. Umbralización por cantidad de luz

Con esta segmentación se busca determinar la presencia de luz producida por la llama, a partir de la imagen captada por la cámara y que se transforma a escala de grises; se compara cada pixel con el valor de umbral y el resultado de la umbralización se da a partir de la expresión (21) donde dst es el valor de cada pixel después de la operación, src el valor de cada pixel antes de la operación y th es el valor del umbral.

$$dst(x,y) = \begin{cases} 255, & src > th \\ 0, & src < th \end{cases} \quad (21)$$

En otras palabras, la expresión (21) dice que, si el valor del pixel es menor al umbral, entonces se convierte en 0 y si el valor del pixel es mayor al umbral, entonces es 1, hablando en términos binarios o 255, considerando la escala; el código usado es:

```
_,th1 = cv2.threshold(gray, 80, 255, cv2.THRESH_BINARY)
```

El valor del umbral es 80, el valor máximo para umbralización es 255 y el tipo de umbralización es de tipo binaria.

b. Umbralización por sustracción de fondo estacionario

Se usa este tipo de algoritmo debido a la consideración que la llama avanza a través de la probeta, entonces se puede identificar donde se encuentra la misma, al retirar el fondo que se encuentra estacionario. El método usado se denomina como BackgroundSubtractorMOG2 y se aplica como se observa en la **Figura 101**.

Figura 101

Código para generar una sustracción de fondo

```
import numpy as np
import cv2

cap = cv2.VideoCapture(0)

fgbg = cv2.createBackgroundSubtractorMOG2()

while(1):
    ret, frame = cap.read()

    fgmask = fgbg.apply(frame)
```

Nota. Tomado de: Introducción al algoritmo de sustracción de fondo de python opencv (42), por programador clic, 2020, <https://programmerclick.com/article/5395513650/>

El algoritmo crea el sustractor del fondo en la variable fgbg, y luego al compararlo con la variable frame que contiene la imagen tomada por la cámara, resta los dos y se puede determinar qué está en movimiento.

c. Umbralización por filtro de colores

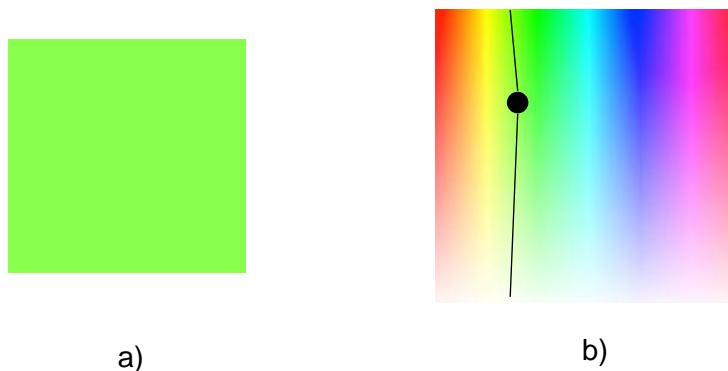
De forma similar al proceso descrito en la sección 4.3.1.3, se realiza una umbralización en modo de color HSV. En el código se toma la variable que contiene la imagen de la cámara y una vez que se ha transformado a HSV, se aplica umbralización con la función cv2.inRange. Los valores en HSV seleccionados están en el rango de H: 0 – 50, S: 0 – 180, V: 120 – 255. La intención de esta umbralización es identificar los píxeles que tengan colores en la gama de amarillo – naranja – rojo, con sus variaciones en función de saturación y brillo, para así identificar donde puede estar una llama por el color típico de la misma. No se considera las llamas de color azul, ya que debido a la teoría investigada y observaciones previas esta llama se presenta cuando la combustión

es completa, algo que aquí no se produce. Se podría incorporar este filtro considerando llamas de otros colores en los que sea el propio material ensayado el que haga variar los tonos de la llama.

En a) de la **Figura 102** se observa el color en el límite superior a considerarse como llama, esta umbralización busca incluir los colores hacia el lado izquierdo de las líneas dibujadas en b) de la misma figura.

Figura 102

Colores considerados para umbralización, cámara digital



Nota. Se representa a) color en el límite superior a considerarse para la llama, b) esquema de colores HSV con el color considerado en la misma figura, identificado con un círculo negro.

4.3.2.2 Erosión y dilatación

Las operaciones de erosión y dilatación sirven respectivamente para remover y añadir píxeles de la frontera de otros objetos en la imagen. En esta aplicación se usan:

- Erosión, para remover píxeles en la umbralización por fondo estacionario, debido a que, una vez identificado el objeto sobre el fondo, también se muestra muchos píxeles que no representan a una llama. Por ejemplo, en a) de la **Figura 103**, se observa la imagen captada por la cámara; en b) el resultado al aplicar la umbralización

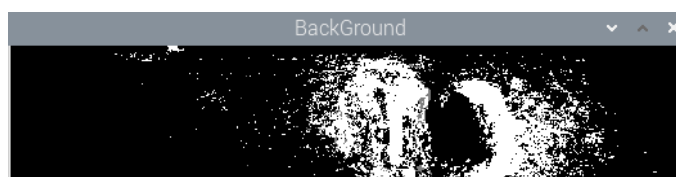
mencionada, se observa muchos píxeles en color blanco, que no representan un objeto en movimiento; en c) se observa la imagen una vez que se aplica la erosión. También se aplica erosión en la umbralización por cantidad de luz, por la misma idea ya planteada.

Figura 103

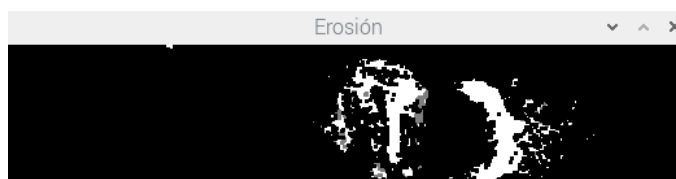
Erosión aplicada en umbralización por fondo estacionario



a)



b)



c)

Nota. Se observa: a) Imagen tomada por la cámara, b) Imagen al aplicar la umbralización por fondo estacionario, c) Imagen posterior a aplicarse la erosión

- Dilatación, para añadir píxeles cuando se suma las primeras dos umbralizaciones, se aplica para resaltar los píxeles que al cumplir las dos condiciones podrían representar una llama.

4.3.2.3 Operación lógica AND, de 3 umbralizaciones

Existen diversas operaciones lógicas que se pueden usar en programas con opencv, como: *and*, *or*, *xor*, *not*. Para esta aplicación se usa *and*, los valores de verdad que se obtienen al aplicarla se observan en la **Tabla 61**.

Tabla 61

Valores de verdad, operación lógica and

Operación lógica AND		
P	Q	$P \wedge Q$
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

La sintaxis de esta función es:

- `d3 = cv2.bitwise_and(di, d2)`

Donde: d3 es la variable en la que se unen las variables di y d2.

El tiempo para este algoritmo se determina de la misma forma que para la cámara térmica, el detalle se observó en la sección 4.3.1.4.

4.4 Interfaz gráfica

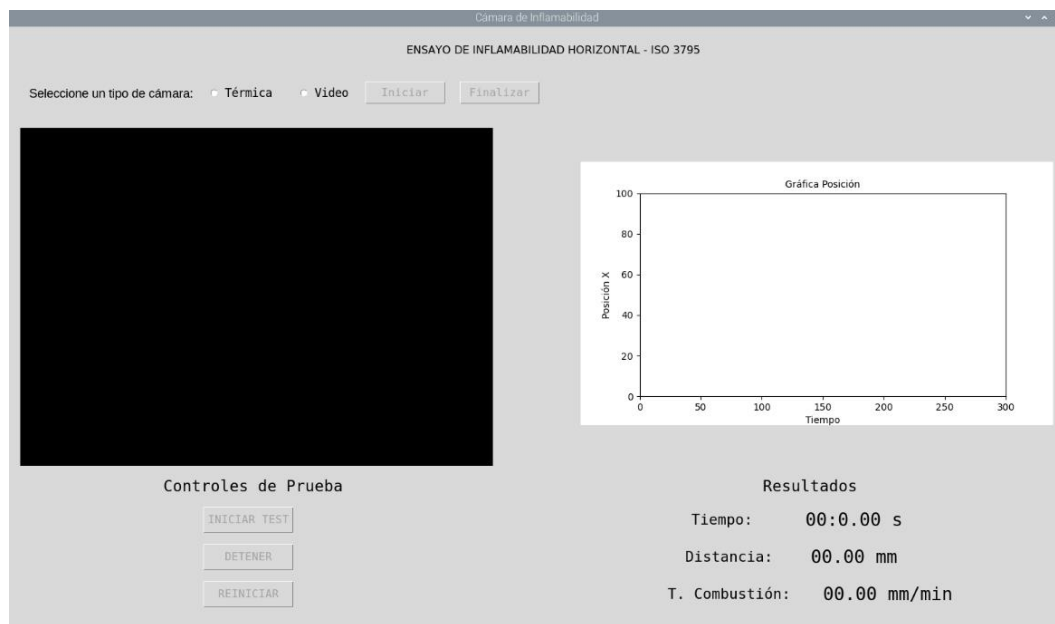
4.4.1 GUI de control y monitoreo

Para interactuar con el sistema se desarrolla una interfaz gráfica de usuario muy sencilla, la misma se observa en la **Figura 104**, su tamaño es de 1600x900, contiene en la parte superior izquierda la imagen de la cámara térmica o digital, según se seleccione, en la parte inferior izquierda se tiene los controles del programa, en la parte

derecha se dispone de una gráfica que indica el avance de la llama con respecto al tiempo, y los resultados del ensayo.

Figura 104

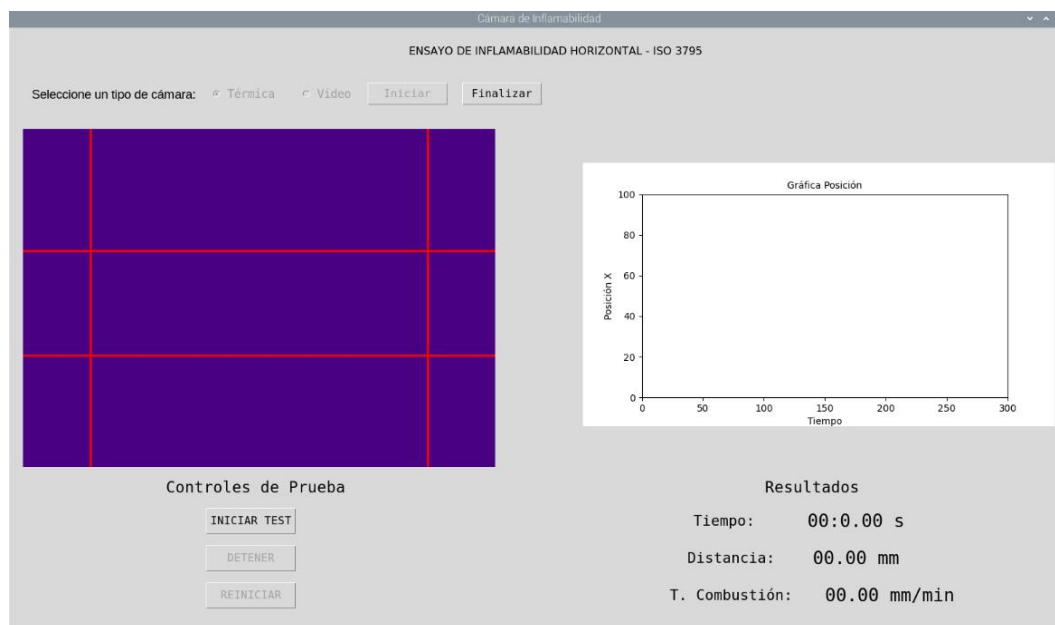
Ventana principal de la GUI



Para usar el programa lo primero es seleccionar una opción entre las dos cámaras, nótese que, hasta seleccionar una opción, los controles están inhabilitados, cuando se selecciona la cámara térmica se observa la imagen ya en tiempo real, con un retraso que se estima menor a 0.5 s. En la **Figura 105** se observa la GUI con la cámara térmica durante un ensayo.

Figura 105

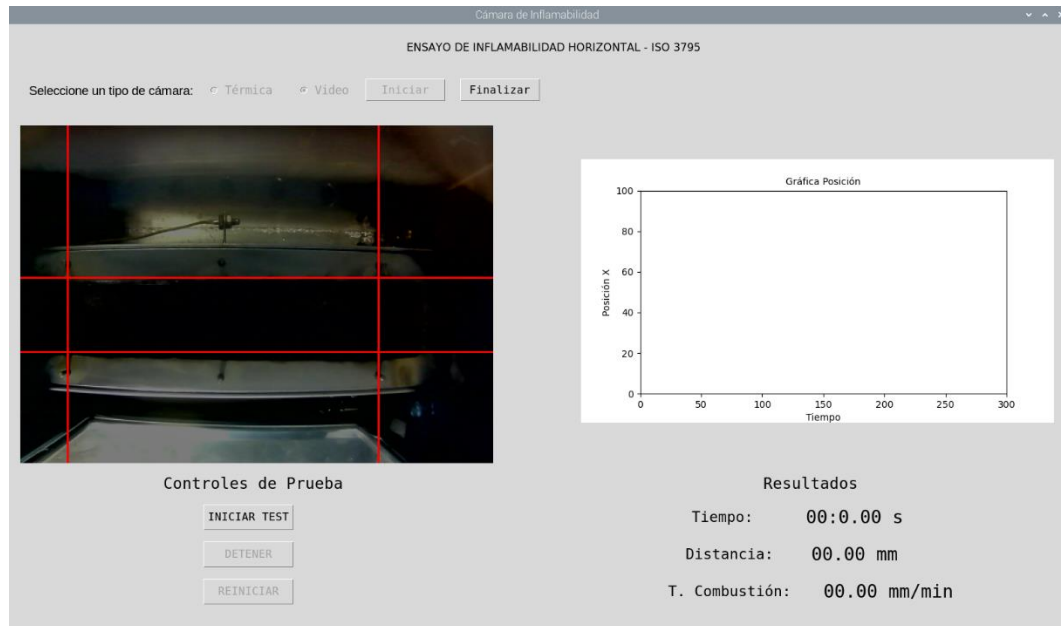
Ventana de GUI, cámara térmica seleccionada



Al seleccionar la cámara digital, se observa la imagen en tiempo real con un retraso similar al de la cámara térmica. En la **Figura 106** se observa la GUI con la cámara digital durante un ensayo.

Figura 106

Ventana de GUI, cámara digital seleccionada



Algunas de las herramientas utilizadas para la GUI incluyen, pero no se limitan a:

- `geometry()`, sirve para generar una ventana en tkinter y asignarle un

tamaño, la sintaxis básica se observa en la **Figura 107**

Figura 107

Crear una ventana y asignarle un tamaño con tkinter

```
from tkinter import Tk, mainloop, TOP
from tkinter.ttk import Button
# creating tkinter window
root = Tk()
# creating fixed geometry of the
# tkinter window with dimensions 150x200
root.geometry('200x150')
# Execute Tkinter
root.mainloop()
```

Nota. Tomado de: Python | geometry method in Tkinter, por GeeksforGeeks, s.f.,

<https://www.geeksforgeeks.org/python-geometry-method-in-tkinter/>

- widget Label, es la etiqueta de texto más común, se puede configurar con distintos tamaños, fuentes, colores, etc. La sintaxis básica se observa en la

Figura 108

Generar una etiqueta Label en tkinter

```
from tkinter import *
root = Tk()

label = Label(root, text=";Otra etiqueta!")
label.pack(anchor=CENTER)
label.config(fg="blue",      # Foreground
             bg="green",    # Background
             font=("Verdana", 24))

root.mainloop()
```

Nota. Tomado de: Widget Label (Etiqueta de texto), por Hektor Docs, 2018, <https://docs.hektorprofe.net/python/interfaces-graficas-con-tkinter/widget-label-etiqueta-de-texto/>

También permite incorporar un objeto denominado StringVar() que cambia el texto con su propiedad respectiva, útil al presentar los valores de tiempo y distancia para este algoritmo.

- messagebox, sirve para generar un cuadro de diálogo, como una ventana emergente, la sintaxis básica se muestra en la **Figura 109**.

Figura 109

Generar una ventana en tkinter con messagebox

```
1. from tkinter import messagebox
2.
3. messagebox.showinfo(message="Mensaje", title="Titulo")
```

Nota. Tomado de: Cuadros de diálogo (messagebox) en Tcl/Tk (tkinter), por recursos python, 2021, <https://recursospython.com/guias-y-manuales/cuadros-de-dialogo-messagebox-en-tkinter/>

- Radiobutton, se usa para generar botones y ofrecer al usuario la posibilidad de escoger una de entre varias opciones. La sintaxis básica para generar un botón radial de tres opciones se observa en la **Figura 110**.

Figura 110

Generar un botón radial en tkinter

```
from tkinter import *

def selec():
    monitor.config(text = "Opción {}".format(opcion.get() ) )

root = Tk()
root.config(bd=15)

opcion = IntVar() # Como StrinVar pero en entero

Radiobutton(root, text="Opción 1", variable=opcion,
             value=1, command=selec).pack()
Radiobutton(root, text="Opción 2", variable=opcion,
             value=2, command=selec).pack()
Radiobutton(root, text="Opción 3", variable=opcion,
             value=3, command=selec).pack()

monitor = Label(root)
monitor.pack()

root.mainloop()
```

Nota. Tomado de: Widget Radiobutton (Radial), por Hektor Docs, 2018, <https://docs.hektorprofe.net/python/interfaces-graficas-con-tkinter/widget-radiobutton-radial/>

- Button, para generar botones que conducen a una acción, en este caso iniciar y terminar el proceso de ensayo. En la **Figura 111** se observa la sintaxis para crear un botón de título “Hello” que ejecuta la función “helloCallBack()”

Figura 111

Generar un botón en tkinter

```
import Tkinter
import tkMessageBox

top = Tkinter.Tk()

def helloCallBack():
    tkMessageBox.showinfo( "Hello Python", "Hello World")

B = Tkinter.Button(top, text ="Hello", command = helloCallBack)

B.pack()
top.mainloop()
```

Nota. Tomado de: Python - Tkinter Button, por tutorials point, s.f.,

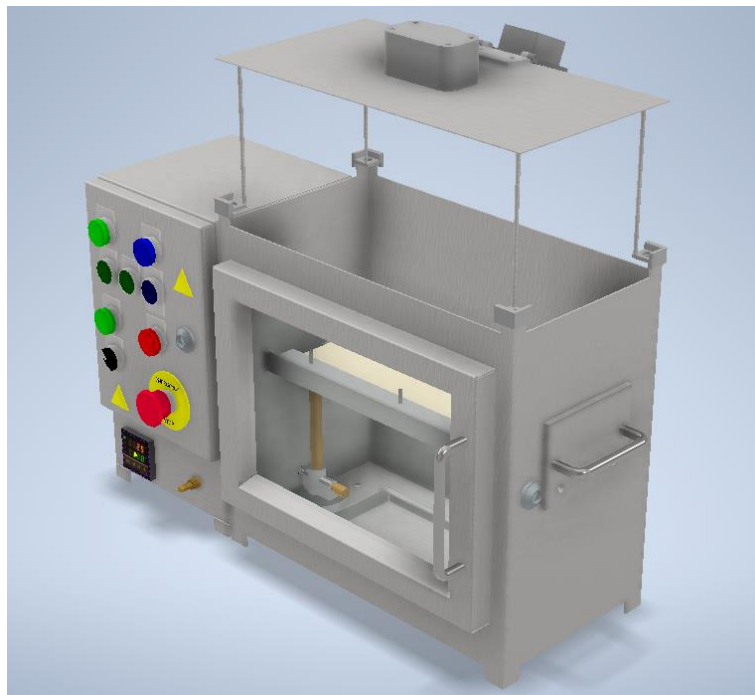
https://www.tutorialspoint.com/python/tk_button.htm

4.5 Trabajos futuros

El sistema de visión artificial del equipo está desarrollado para trabajar con una cámara a la vez, a futuro se espera implementar un algoritmo el cual use datos de las dos cámaras a la vez, esto considerando que la cámara térmica determina con certeza cuando se inicia la llama, pero por su baja resolución no puede estimar apropiadamente la distancia consumida por la llama, por el contrario, la cámara digital estima con buena exactitud la distancia consumida, pero no cuando la llama se inicia; la **Figura 112** indica la representación del equipo con las dos cámaras en uso.

Figura 112

Bosquejo del equipo con las dos cámaras



Capítulo V

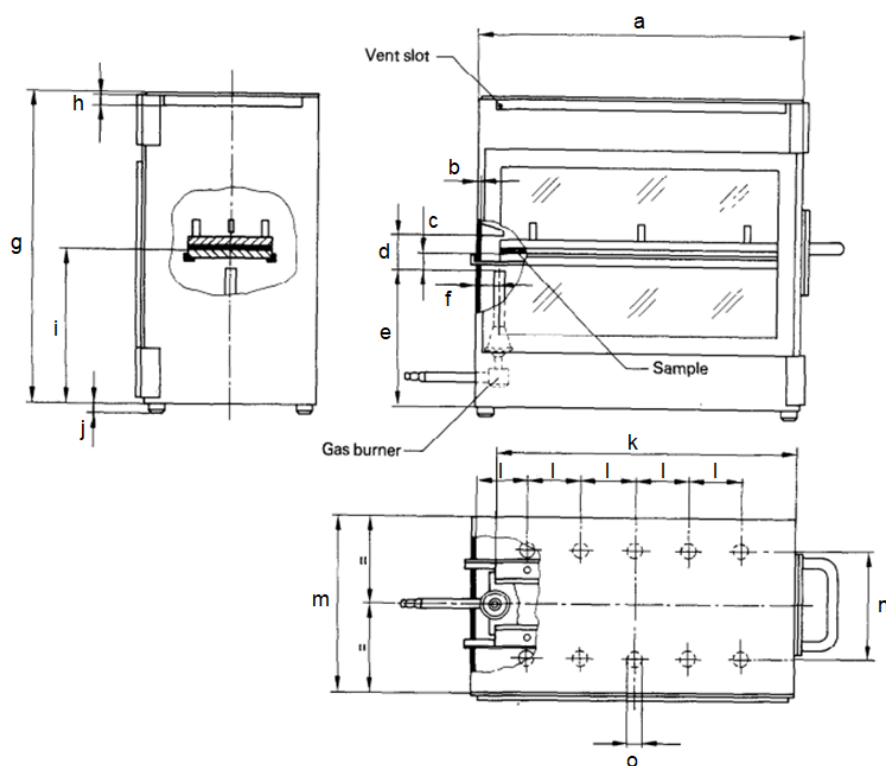
Pruebas y Resultados

Las pruebas del equipo se desarrollan en dos etapas, la primera busca determinar la precisión y exactitud de los resultados obtenidos, para ello se realiza una serie de comprobaciones de distintos tipos. La segunda etapa busca determinar si implementar el sistema de visión artificial disminuye el tiempo de realización de los ensayos.

5.1 Pruebas del equipo

5.1.1 *Control dimensional*

Una vez construido el equipo se realiza un control dimensional, esto permite verificar que las dimensiones finales del equipo están en concordancia con la norma ISO 3795, este proceso se realiza con un instrumento de medición, en la **Figura 113** se observan las dimensiones a medir de la cámara de ensayos.

Figura 113*Dimensiones del equipo*

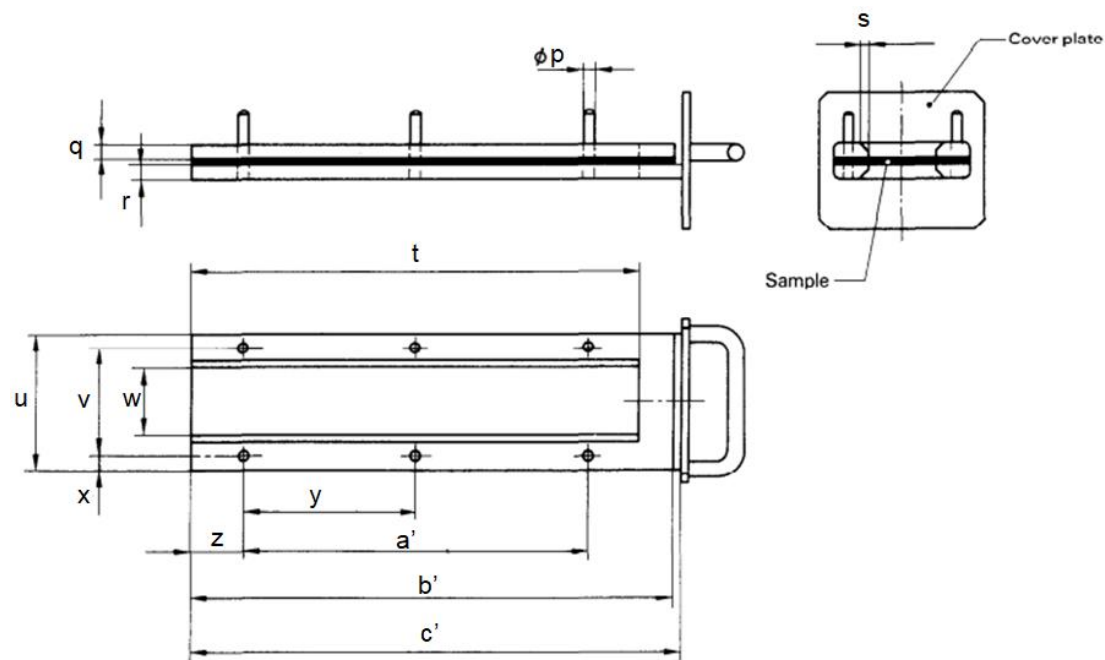
Nota. La imagen se modifica de la original, identificando con letras las dimensiones.

Tomado de: ISO 3795:1989. Road vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry — Determination of burning behaviour of interior materials, por ISO, 2019, <https://www.iso.org/standard/9328.html>

En la **Figura 114** se observan las dimensiones a medir de los porta-probetas.

Figura 114

Dimensiones de los porta-probetas



Nota. La imagen se modifica de la original, identificando con letras las dimensiones.

Tomado de: ISO 3795:1989. Road vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry — Determination of burning behaviour of interior materials, por ISO, 2019, <https://www.iso.org/standard/9328.html>

La **Figura 115** indica las tolerancias según la norma ISO 2768, que se deben considerar según cada dimensión.

Figura 115

Tolerancias permisibles para dimensiones lineales

Dimensiones en milímetros

Clase de tolerancia		Desviaciones permisibles para rango de tamaño básico							
Designación	Descripción	0,5 ¹⁾ hasta 3	más de 3 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1 000	más de 1 000 hasta 2 000	más de 2 000 hasta 4 000
f	fina	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	-
m	media	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2
c	basta	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4
v	muy basta	-	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8

¹⁾ Para los tamaños nominales por debajo de 0,5 mm, las desviaciones deben ser indicadas junto a los tamaños nominales correspondientes.

Nota. Tomado de: Tolerancias Generales – Parte 1: Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicaciones de tolerancia individual (ISO 2768-1:1989, IDT), por INEN, 2016, [Archivo PDF]

En la **Tabla 62** se indica el valor indicado según la norma, el valor real medido y la variación de estas medidas.

Tabla 62

Control dimensional, cámara de ensayos

Identificador	Dimensión ISO 3795 (mm)	Dimensión real equipo (mm)	Tolerancia ISO 2768 (mm)	Variación (mm)
a	385	387.5	2.5	2.5
b	2	2.02	0.2	0.02
c	19	20.98	1	1.98*
d	38	39.08	1.5	1.08
e	161	158.79	2.5	2.21
f	24	25	1	1
g	360	359.95	2.5	0.05
h	15	16.08	1	1.08
i	180	180.85	2.5	0.85

Identificador	Dimensión ISO 3795 (mm)	Dimensión real equipo (mm)	Tolerancia ISO 2768 (mm)	Variación (mm)
j	10	10.39	1	0.39
k	363	360.25	2.5	2.75*
l	63.5	63.02	1.5	0.48
m	204	201.5	2.5	2.5
n	127	126.36	2.5	0.64
o	19	18.96 - 19.01	1	0.01 – 0.04
p	4	4.02	0.5	0.02
q	10	10.19	1	0.19
r	10	10.19	1	0.19
s	5	2.43	0.5	2.57*
t	330	330.3	2.5	0.3
u	100	100.11	1.5	0.11
v	80	79.74	0.1	0.26
w	50	49.41	1.5	0.59
x	10	9.51 – 10.35	1	0.35 - 0.49
y	127	126.92	0.2	0.08
z	38	38.08	1.5	0.08
a'	254	254.15	0.2	0.15
b'	356	356.6	2.5	0.6

Nota: *La variación está fuera del valor de tolerancia permitido, sin embargo, la norma ISO 2768 señala en el Anexo A.4 que, si el funcionamiento del equipo no se ve afectado, entonces la pieza no debe ser rechazada. En algunas columnas se observa más de una medida, esto se debe a que la misma aplica para más de un elemento, entonces se toma los valores máximo y mínimo de todas las medidas tomadas.

La **Figura 116** muestra parte de la ejecución del control dimensional de la cámara de ensayos.

Figura 116

Ejecución del control dimensional



5.1.2 Repetibilidad del proceso

En esta parte de las pruebas, se les facilita el equipo de ensayos y el manual de usuario (Anexo 5) al personal de la empresa, para que manipulen los controles y realicen ensayos, buscando fallas de algún tipo; se desarrolla 20 eventos de funcionamiento y se observa el comportamiento del equipo.

Tabla 63*Eventos de funcionamiento*

Pruebas de funcionamiento		
N° de Evento	Personal Técnico	Observaciones
1	Asistente técnico 1	Ensayo modo manual, sin observaciones
2	Asistente técnico 1	Ensayo modo manual, sin observaciones
3	Asistente técnico 1	Ensayo modo manual, sin observaciones
4	Asistente técnico 1	Ensayo modo manual, sin observaciones
5	Asistente técnico 1	Ensayo modo manual, sin observaciones
6	Asistente técnico 1	Ensayo modo semi-automático, sin observaciones
7	Asistente técnico 1	Ensayo modo semi-automático, sin observaciones
8	Asistente técnico 1	Ensayo modo semi-automático, sin observaciones
9	Asistente técnico 1	Ensayo modo semi-automático, sin observaciones
10	Asistente técnico 1	Ensayo modo semi-automático, sin observaciones
11	Asistente técnico 2	Ensayo modo manual, sin observaciones
12	Asistente técnico 2	Ensayo modo manual, sin observaciones
13	Asistente técnico 2	Ensayo modo manual, sin observaciones
14	Asistente técnico 2	Ensayo modo manual, sin observaciones
15	Asistente técnico 2	Ensayo modo manual, sin observaciones
16	Asistente técnico 2	Ensayo modo semi-automático, sin observaciones
17	Asistente técnico 2	Ensayo modo semi-automático, sin observaciones
18	Asistente técnico 2	Ensayo modo semi-automático, sin observaciones
19	Asistente técnico 2	Ensayo modo semi-automático, sin observaciones
20	Asistente técnico 2	Ensayo modo semi-automático, sin observaciones

Con lo observado en la **Tabla 63**, se concluye que los controles y seguridades implementados en el equipo funcionan, y que el manual de funcionamiento es una guía útil para la operación de la máquina. La **Figura 117** muestra a uno de los Asistentes Técnicos de la empresa realizando pruebas en el equipo. Debido a otras ocupaciones de los Asistentes Técnicos, parte de las pruebas son realizadas por el tesista.

Figura 117

Prueba del equipo por parte de un Asistente Técnico de la empresa



5.1.3 Pruebas de temperatura

Se realiza múltiples ensayos para generar una condición de exceso de temperatura y observar si en las superficies del equipo, este parámetro se eleva de alguna forma en la que se pueda comprometer el funcionamiento del mismo; además para asegurar que la temperatura se esté tomando de forma correcta, según el lugar en el que se coloca la termocupla. Para tomar las mediciones se usa un pirómetro, como se observa en la **Figura 118**.

Figura 118*Prueba de temperaturas en el equipo*

a)



b)



c)



d)



e)

Nota: Se observa: a) Medición de temperatura usando la termocupla, b) Valor de temperatura en el porta-probetas, c) Valor de temperatura en el lateral izquierdo de la cámara de ensayos, d) Valor de temperatura en la tapa de la cámara de ensayos, e) Valor de temperatura en la cara del tablero de control más próxima a la cámara de ensayos.

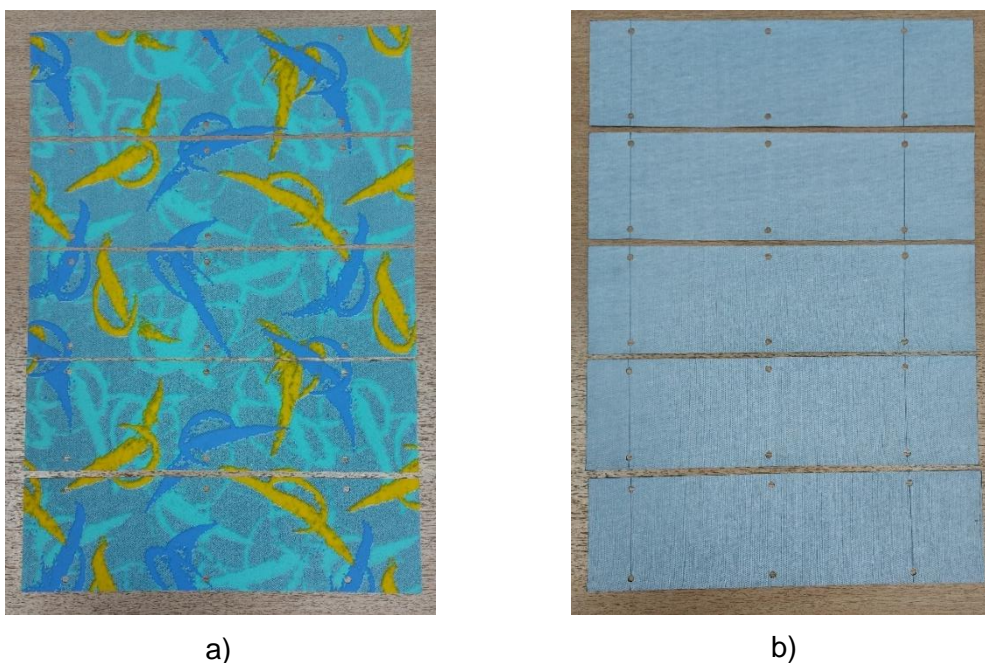
Con las medidas observadas se concluye que la termocupla es capaz de medir apropiadamente la temperatura considerando el lugar en el que se ubica y que la temperatura en los puntos críticos es menor al valor indicado por la termocupla.

5.1.4 **Línea base: resultados para ensayo en laboratorio designado**

Para determinar si los resultados que la cámara de ensayos brinda son correctos, se solicita a un laboratorio designado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE), que realice un ensayo de inflamabilidad según la norma ISO 3795 en un material tipo Vinil Textil, las dos consideraciones importantes a tomar en cuenta de estos resultados, son el sentido de corte de las probetas y la tasa de combustión del material. La **Figura 119** muestra las probetas que se usan para este ensayo.

Figura 119

Probetas de vinil textil



Nota. Se observa: a) lado derecho de la probeta, b) lado reverso de la probeta.

En la **Tabla 64** se observan los resultados para el ensayo y el sentido de corte indicado por el laboratorio que es Longitudinal.

Tabla 64

Resultados de ensayo, según laboratorio designado

Resultados según ISO 3795, laboratorio designado			
Probeta	Distancia corregida (mm)	Tiempo corregido (s)	Tasa de combustión corregida (mm/min)
1	18.76	23.471	47.96
2	17.84	24.401	43.87
3	15.91	21.591	44.21
4	11.98	17.361	41.40
5	20.53	30.061	40.98
		Promedio	43.68

Nota: Los valores denominados como corregidos se determinan con instrumentos calibrados y se calculan con su error de medición. La tasa de combustión también se denomina corregida, debido a que se usan datos corregidos y la expresión (3).

Con los resultados de la **Tabla 64**, se determina el promedio, la diferencia entre el valor de cada medida con el promedio, el porcentaje de error de esta medida y la desviación estándar. Se determina estos valores para compararlos posteriormente con los obtenidos con la cámara de ensayos en modo manual y semiautomático.

Tabla 65

Cálculo de valores para comparación, laboratorio designado

Valores para comparación			
Probeta	Tasa de combustión corregida (mm/min)	Variación con respecto al promedio (mm)	Porcentaje de variación con respecto al promedio (%)
1	47.96	4.27	9.78
2	43.87	0.18	0.42
3	44.21	0.53	1.21
4	41.40	2.28	5.22
5	40.98	2.71	6.20
		Promedio	4.57

Al calcular la desviación estándar se obtiene un valor de 2.79 y el promedio del porcentaje de variación de las medidas es 4.57 %, aunque existen variaciones tan altas como 9.78%. Se espera que en los ensayos se obtenga variaciones en las medidas alrededor de estos valores calculados.

5.1.5 Determinar sentido de ensayo: longitudinal o transversal

Para realizar los ensayos se usa los documentos presentados en el Anexo 6, los mismos incluyen formatos para: recepción e identificación de muestras, registro de resultados de ensayos, hoja de almacenamiento de probetas ensayadas, matrices para cálculo de valores y parte del informe final a presentarse con toda la información que la norma requiere.

En primer lugar, se ensaya el material en sentido longitudinal y transversal, dado que la norma indica que se debe ensayar en las dos direcciones que presenta el mismo y determinar el escenario más crítico, es decir cuando la tasa de combustión sea mayor. Para todos los ensayos con el equipo desarrollado en este proyecto, se espera una

variación debido a que el acondicionamiento no se realiza de la forma exacta que la norma indica, a falta de un equipo que permita llevar a cabo esta tarea. Se realiza un acondicionamiento controlando la temperatura, tal como se indica en la **Figura 120**, debido al funcionamiento propio de la máquina, este valor no se puede cotejar a lo largo de las 24 h de acondicionamiento que indica la norma.

Figura 120

Equipo para acondicionamiento de probetas



En la **Tabla 66** se observa los resultados del ensayo cuando el sentido de corte de las probetas es transversal.

Tabla 66*Resultados de ensayo, sentido de corte transversal*

Resultados según ISO 3795, sentido de corte transversal			
Probeta	Distancia (mm)	Tiempo (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	23,44	22,87	61,50
2	21,81	25,81	50,70
3	22,83	25,96	52,77
4	24,02	25,04	57,56
5	26,18	29,84	52,64
		Promedio	50,92

La desviación estándar para el ensayo con las probetas cortadas en sentido longitudinal es de 4,65. En la **Tabla 67** se observa los resultados del ensayo cuando el sentido de corte de las probetas es longitudinal.

Tabla 67*Resultados de ensayo, sentido de corte longitudinal*

Resultados según ISO 3795, sentido de corte longitudinal			
Probeta	Distancia (mm)	Tiempo (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	29,03	30,51	57,09
2	20,56	22,79	54,13
3	25,88	31,49	49,31
4	20,34	26,9	45,37
5	21,15	26,05	48,71
		Promedio	55,03

La desviación estándar para el ensayo con las probetas cortadas en sentido longitudinal es de 4,41. Los resultados descritos en la **Tabla 66** y **Tabla 67** se toman desde el inicio de la probeta y no desde el primer punto de medición. Con estos datos

se observa que para el material seleccionado el sentido de corte de las probetas debe ser Longitudinal, lo que coincide con el resultado obtenido por el laboratorio designado. Los resultados de la **Tabla 66**, permiten calcular la desviación estándar y la exactitud de los mismos, que aquí se denominó como porcentaje de variación con respecto al promedio. En la **Figura 121** se observa un grupo de probetas posterior al ensayo de inflamabilidad horizontal.

Figura 121

Probetas de vinil textil, posterior al ensayo



En la **Tabla 68** se observa el cálculo de los valores para comparación, con los valores obtenidos de las probetas cortadas en sentido longitudinal.

Tabla 68

Cálculo de valores para comparación, equipo

Valores para comparación			
Probeta	Tasa de combustión (mm/min)	Variación con respecto al promedio (mm)	Porcentaje de variación con respecto al promedio (%)
1	61,50	6,46	11,75
2	50,70	4,33	7,87
3	52,77	2,27	4,12
4	57,56	2,52	4,59
5	52,64	2,39	4,34
		Promedio	6,53

La desviación estándar y el porcentaje de variación con respecto al promedio se comparan con los de la **Tabla 65**. Se observa que la desviación estándar es levemente mayor, entonces el equipo cuenta con buena precisión. Como ya se mencionó este valor se ve afectado por características como el acondicionamiento modificado o la naturaleza propia de los ensayos destructivos, en los cuales suele existir la tendencia de que los resultados presenten desviaciones estándar altas. (Pérez, C., comunicación personal, 15 de diciembre de 2021)

El porcentaje de variación o exactitud de la medida es diferente, pero también de un valor cercano, se da por válido este resultado considerando que el acondicionamiento modificado realizado no regula la humedad relativa (%HR), solamente sube o baja la temperatura, entonces la %HR es menor a la indicada, por ello se espera una tasa de combustión mayor, y efectivamente eso se obtiene.

Para los valores encontrados en el ensayo realizado por el laboratorio designado y con el equipo desarrollado en este proyecto, se observa una distribución normal considerando el criterio que, si en una muestra de valores tomados de forma empírica el

68% de los valores se encuentra a no más de una desviación estándar de la media, entonces esos datos corresponden a una distribución normal. (Minitab, 2019)

5.1.6 *Ensayo modo manual*

Debido a que en los ensayos anteriores se usa un material que no se consume al interior de la zona de interés para la visión artificial, se usa otro material para determinar el buen funcionamiento de los sistemas de visión artificial, en la **Figura 122** se observa dicho material.

Figura 122

Probetas de tela de punto



Este ensayo considera todos los parámetros que la norma ISO 3795 indica, incluido el acondicionamiento modificado que se puede hacer con el equipo disponible

en la empresa, la **Tabla 69** indica los resultados. El uso del equipo es en modo manual, lo que significa que la medición de distancia y tiempo la realiza el operario una vez finalizado cada ensayo.

Tabla 69

Resultados de ensayo, equipo en modo manual

Resultados según ISO 3795, equipo en modo manual					
Probeta	Distancia (mm)	Tiempo (s)	Tasa de combustión (mm/min)	Variación con respecto al promedio (mm)	Porcentaje de variación con respecto al promedio (%)
1	254	159,45	95,58	8,95	8,56
2	254	148,85	102,38	2,14	2,05
3	254	137,26	111,03	6,50	6,22
4	254	144,12	105,75	1,22	1,16
5	254	141,24	107,90	3,37	3,23
		Promedio	104,53	Promedio	4,24

La desviación estándar de este ensayo es de 5.91 y el promedio de exactitud es 4,24. La **Figura 123** muestra un grupo de cinco probetas posterior a realizarse el ensayo.

Figura 123

Probetas de tela de punto, posterior al ensayo



5.1.7 Ensayo modo semiautomático cámara térmica

Este ensayo considera todos los parámetros que la norma ISO 3795 indica, incluido el acondicionamiento modificado que se puede hacer con el equipo disponible en la empresa, la **Tabla 70** indica los resultados. El uso del equipo es en modo semiautomático usando la cámara térmica, la medición de distancia y tiempo la realiza el programa, el operario solo debe registrar los valores obtenidos.

Tabla 70

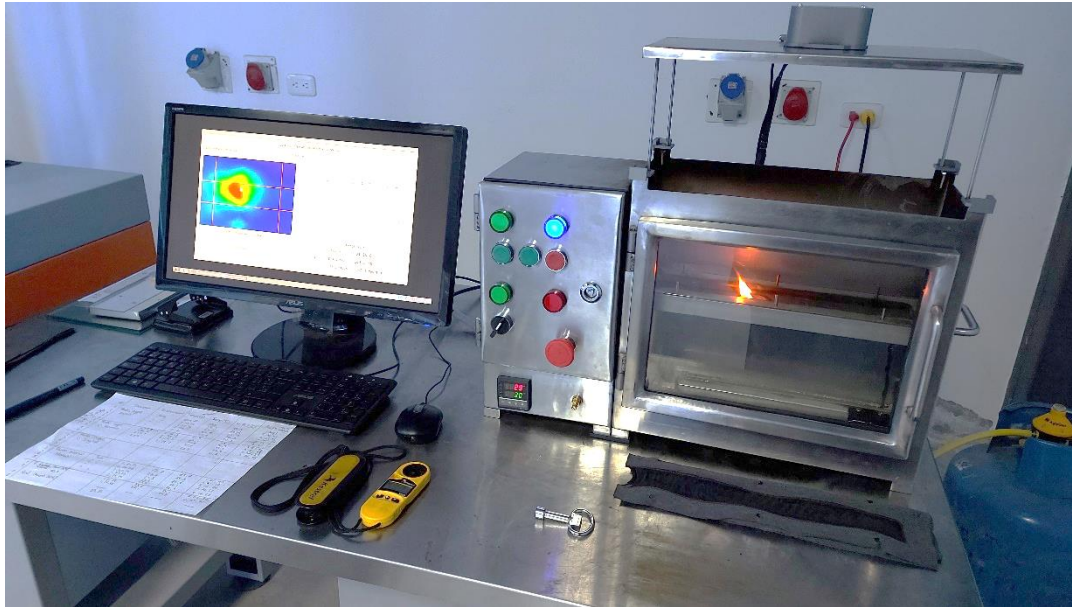
Resultados de ensayo, equipo en modo semiautomático, cámara térmica

Resultados según ISO 3795, equipo en modo semiautomático con cámara térmica					
Probeta	Distancia (mm)	Tiempo (s)	Tasa de combustión (mm/min)	Variación con respecto al promedio (mm)	Porcentaje de variación con respecto al promedio (%)
1	255	146,7	104,29	0,92	0,89
2	256,5	152,5	100,92	2,46	2,38
3	257,5	137,3	112,53	9,15	8,85
4	255	149,2	102,55	0,83	0,81
5	256,5	159,3	96,61	6,77	6,55
		Promedio	103,38	Promedio	3,89

La desviación estándar de este ensayo es de 5.85 y el promedio de exactitud es 3,89. Al comparar estos valores con los obtenidos en el ensayo manual para las probetas de tela de punto se observa que usar el equipo con la cámara térmica ofrece una mejor repetibilidad en comparación al modo manual. La **Figura 124** muestra el ensayo de una probeta usando el sistema de visión artificial con la cámara térmica.

Figura 124

Ensayo con cámara térmica



5.1.8 Ensayo modo semiautomático cámara digital

Este ensayo considera todos los parámetros que la norma ISO 3795 indica, incluido el acondicionamiento modificado que se puede hacer con el equipo disponible en la empresa, la **Tabla 71** indica los resultados. El uso del equipo es en modo semiautomático usando la cámara digital, la medición de distancia y tiempo la realiza el programa, el operario solo debe registrar los valores obtenidos.

Tabla 71

Resultados de ensayo, equipo en modo semiautomático, cámara digital

Resultados según ISO 3795, equipo en modo semiautomático con cámara digital					
Probeta	Distancia (mm)	Tiempo (s)	Tasa de combustión (mm/min)	Variación con respecto al promedio (mm)	Porcentaje de variación con respecto al promedio (%)
1	255,2	159,5	96,00	10,76	10,08
2	254,1	151	100,97	5,79	5,43
3	254,6	137,1	111,42	4,66	4,37
4	255,7	131,4	116,76	10,00	9,37
5	254,6	140,6	108,65	1,89	1,77
		Promedio	106,76	Promedio	6,20

La desviación estándar de este ensayo es de 8.29 y el promedio de exactitud es 6,20; al comparar con el modo manual se observa que usar la cámara digital aporta resultados menos precisos y exactos. La **Figura 125** muestra el ensayo de una probeta usando el sistema de visión artificial con la cámara digital.

Figura 125

Ensayo con cámara digital



5.2 Validación de la hipótesis mediante el método de T Student

5.2.1 Ensayos para determinar tiempos de operación

Para determinar si se cumple o no con la hipótesis planteada se toma el tiempo utilizado para realizar los ensayos en modo manual y en modo semiautomático, para ello se realizan 20 ensayos con cada configuración del equipo. En la **Figura 126** se observa a personal de la empresa y al tesista desarrollando ensayos en las distintas configuraciones del equipo, para determinar el tiempo empleado.

Figura 126*Toma de tiempo para ensayos*

La primera configuración es en modo manual, la **Tabla 72** indica los resultados

Tabla 72*Tiempo de ensayo, modo manual*

Ensayo	Tiempo (s)
1	320,36
2	303,08
3	287,36
4	278,47
5	282,27
6	314,65
7	293,10
8	320,65
9	301,13
10	289,27
11	279,97
12	284,93
13	290,19
14	303,51
15	300,04

Ensayo	Tiempo (s)
16	315,99
17	280,63
18	302,30
19	285,66
20	301,63
Promedio	296,76
Desviación estándar	13,65

La **Tabla 73** indica los resultados para la configuración en modo semiautomático, usando la cámara térmica.

Tabla 73

Tiempo de ensayo, modo semiautomático con cámara térmica

Ensayo	Tiempo (s)
1	207,45
2	221,93
3	204,39
4	228,95
5	221,1
6	205,59
7	211,41
8	213,89
9	216,87
10	217,98
11	216,41
12	205,10
13	219,97
14	221,20
15	208,41
16	208,40

Ensayo	Tiempo (s)
17	221,80
18	216,52
19	214,82
20	222,29
Promedio	215,22
Desviación estándar	6,94

Para determinar si el tiempo de ensayo con la cámara térmica es menor al tiempo de ensayo manual se desarrolla la prueba t de Student, para ello se usa la expresión (22)

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_o}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad (22)$$

Donde:

t , t de Student

\bar{x} , media aritmética

μ_o , valor de análisis planteado

S , desviación estándar

n , número de eventos

Al usar los datos de la **Tabla 73** en la expresión (22) se obtiene:

$$t = \frac{215.22 - 296.76}{\frac{6,94}{\sqrt{20}}}$$

$$t = -52.54 \quad (23)$$

Se considera una confiabilidad del 90% y se plantea las siguientes hipótesis:

H_o = el tiempo de ensayo con la cámara térmica es menor al tiempo en modo manual.

H_1 = el tiempo de ensayo con la cámara térmica es mayor al tiempo en modo manual.

Los grados de libertad son 19 y con la tabla del Anexo 8, se determina el valor crítico $t_\alpha = 1.3277$

Por lo tanto, usando (23) se tiene que:

$$t < t_\alpha \quad (24)$$

$$-52.54 < 1.3277$$

De acuerdo a (24), se acepta la hipótesis nula, donde se indica que el tiempo de ensayo con la cámara térmica es menor al tiempo de ensayo en modo manual.

La **Tabla 74** indica los resultados para la configuración en modo semiautomático, usando la cámara digital.

Tabla 74

Tiempo de ensayo, modo semiautomático con cámara digital

Ensayo	Tiempo (s)
1	233,36
2	228,53
3	208,54
4	224,59
5	208,16
6	223,53
7	233,76
8	215,97
9	225,18
10	233,80
11	218,96
12	224,35

Ensayo	Tiempo (s)
13	225,22
14	217,09
15	225,95
16	209,38
17	209,68
18	215,19
19	226,06
20	231,20
Promedio	221,93
Desviación estándar	8,59

Para determinar si el tiempo de ensayo con la cámara digital es menor al tiempo de ensayo manual se desarrolla la prueba t de Student, para ello se usa la expresión (22)

Al usar los datos de la **Tabla 74** en la expresión (22) se obtiene:

$$t = \frac{221.93 - 296.76}{\frac{6,94}{\sqrt{20}}}$$

$$t = -48.22 \quad (25)$$

Se considera una confiabilidad del 90% y se plantea las siguientes hipótesis:

H_0 = el tiempo de ensayo con la cámara digital es menor al tiempo en modo manual

H_1 = el tiempo de ensayo con la cámara digital es mayor al tiempo en modo manual

Los grados de libertad son 19 y con la tabla del Anexo 8, se determina el valor crítico $t_\alpha = 1.3277$

Por lo tanto, usando (25) se tiene que:

$$t < t_{\alpha} \quad (26)$$

$$-48.22 < 1.3277$$

De acuerdo a (26), se acepta la hipótesis nula, donde se indica que el tiempo de ensayo con la cámara digital es menor al tiempo de ensayo en modo manual.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Un sistema de visión artificial reduce el tiempo de ensayo en promedio alrededor de 81.54 segundos al tomar datos de 20 eventos realizados bajo las mismas condiciones, en comparación a desarrollar el ensayo de forma manual; se debe usar los equipos adecuados, como un sensor AMG8833 y una Raspberry Pi 4.
- La cámara de ensayos se diseñó en base a los requerimientos de la norma ISO 3795, considerando las características dimensionales del equipo, especificaciones del proceso, método de ensayo y datos para el informe de resultados; existen otras normas como la FMVSS 302 que también se toman de referencia para el desarrollo de la cámara de ensayos.
- Se verifica a través de simulaciones en software, que la cámara de ensayos resiste los esfuerzos mecánicos y térmicos que se producen durante los ensayos, el factor de seguridad del equipo es mayor a 2 y los ciclos de vida útil se estiman en más de 1×10^6 ciclos.
- El equipo se fabricó usando materiales y técnicas de construcción disponibles localmente, los materiales son acero inoxidable y latón, entre las técnicas de construcción se incluye el uso de cortadora hidráulica de hoja, cortadora de plasma, amoladora, grupo de soldadura TIG, fresadora CNC, torno, equipo para satinar y decapar.
- El costo del equipo se reduce considerablemente en comparación a adquirirlo de un proveedor en el extranjero, el costo final se sitúa en alrededor de \$1200; el tiempo de fabricación es relativamente extenso, superior a 200 horas de

trabajo debido a las modificaciones y ajustes que se debían realizar conforme se desarrollaba el proyecto.

- El sistema de control del equipo utiliza tres relés para mando, un relé temporizador, una electroválvula, un módulo de chispa con su electrodo, un regulador de flujo, dos finales de carrera, pulsadores e interruptores; la sencillez del mismo permite que el sistema sea robusto a la vez que económico, no se evidencia la necesidad de colocar algún sistema más complejo para realizar los ensayos de forma manual.
- Los algoritmos de visión artificial implementados sirven para determinar el tiempo y la distancia consumida por la llama, el que usa la cámara térmica da mejores resultados, en los ensayos desarrollados se observa que para probetas de tela de punto, los valores obtenidos en el ensayo manual tienen una desviación estándar de 5,91 mm en comparación a los 5,85 mm del ensayo con la cámara térmica, indicando la elevada repetibilidad del proceso; el algoritmo con la cámara digital entrega resultados menos precisos y exactos, la desviación estándar para este caso fue de 8,29 mm.
- Las pruebas desarrolladas permiten determinar que el equipo es confiable, robusto y seguro para operar, que permite ensayar probetas con una precisión y exactitud aceptables, y que se podría usar para caracterización de materiales siguiendo el mismo método de ensayo.
- Se observó la importancia del acondicionamiento de las probetas, cuando se mantienen todas las condiciones de ensayo y se eleva la temperatura de acondicionado las probetas ensayadas aumentan su tasa de combustión, esto podría deberse a una menor humedad relativa en las mismas. Para definir un valor de este incremento, se deberían ensayar varios grupos de probetas de distintos materiales, pero

con un grupo de probetas de tela de punto se observa que, variando la temperatura de 25 °C a 50 °C, el tiempo promedio de ensayo se reduce hasta en 1 minuto.

6.2 Recomendaciones

- Para mejorar la exactitud de los resultados se podría usar una cámara térmica con mejor resolución o con un ángulo de visión mayor, de esa forma se coloca más cerca a la probeta y los resultados serían más aproximados.
- En caso de requerir acreditación de la máquina, se sugiere considerar otros métodos de fabricación para que las tolerancias dimensionales del equipo se encuentren en rangos más precisos según la norma ISO 2768, por ejemplo, el uso de una cortadora de plasma CNC, lo cual incrementaría el costo, pero también la exactitud de las medidas.
- Seguir atentamente los intervalos de mantenimiento del equipo descritos en el manual de usuario, para asegurar el buen funcionamiento de elementos como el electrodo, mismo que debido a los ensayos se acumula de hollín; observar con el tiempo si existe una ubicación para el electrodo en la cuál se pueda alargar el intervalo de mantenimiento para el mismo.
- Al fabricar el porta-probetas considerar que, debido a la geometría con forma de U, el mismo tiende a cerrarse, provocando que las dimensiones que originalmente cumplía, sean defectuosas una vez retirado de la fresadora CNC, para ello se debe mecanizar en etapas; esta pieza se debe mecanizar para obtener las tolerancias requeridas, ya que otros procesos manuales no servirían.
- El equipo cuenta con un sinnúmero de seguridades para evitar lesiones al operario, sin embargo, se podría añadir un sensor detector de gases al interior del tablero de control, y colocar una condición que, si se evidencia una concentración muy

alta de GLP por un tiempo muy prolongado, dar un aviso en la pantalla de la GUI. Esto no se realizó debido a la necesidad de que el equipo pueda trabajar de forma modular, es decir independientemente del sistema de visión artificial.

- No cambiar la ubicación y disposición del equipo ya que la calibración para el sistema de visión artificial se encuentra desarrollada para las condiciones de luz actuales, colocarlo en otro lugar podría dar a lugar a tener que repetir la calibración.
- Desarrollar una plantilla de calibración para el sistema de visión artificial, para facilitar el uso en caso de reubicar el equipo; esto no se desarrolla en el presente proyecto debido a que el requerimiento principal de la empresa era un equipo que permita desarrollar ensayos en forma manual.
- El lenguaje de programación Python ofrece las herramientas necesarias para desarrollar un algoritmo capaz de reconocer la llama, se podría desarrollar otra interfaz usando PyQt5 que dispone de más herramientas y presentarla como una HMI, no solamente como una GUI.
- Otra forma de validar el funcionamiento del equipo y por consiguiente de los resultados obtenidos en los ensayos, es conseguir un material de referencia que declare un valor certificado de inflamabilidad para este ensayo, se usó algunos materiales no certificados para probar el equipo y calibrar el sistema de visión artificial.

Bibliografía

- AEADE. (2017). *Listado de Empresas Fabricantes de Carrocerías Autorizados por la ANT*. Recuperado 11 de noviembre de 2020, de Agencia Nacional de Tránsito: <https://ant.gob.ec/index.php/descargable/file/4274-listado-de-empresas-fabricantes-de-carrocerias-autorizadas-por-ant>
- AEADE. (2020, 13 de enero). *Sector Automotriz en cifras. Edición (40)*. Recuperado 11 de noviembre de 2020 de: <https://www.aeade.net/boletin-sector-automotor-en-cifras/>
- Aimplas. (2019). *Tipos de materiales compuestos*. Recuperado 19 de noviembre de 2021, de: <https://www.aimplas.es/blog/tipos-de-materiales-compuestos/>
- Alsimet. (2017). *¿Cuáles son las principales aplicaciones y los distintos tipos de latón?* Recuperado 17 de noviembre de 2021, de: <http://alsimet.es/es/noticias/cuales-son-las-principales-aplicaciones-y-los-distintos-tipos-de-laton>
- ANT. (2019). *Reporte Nacional de Siniestros de Tránsito Diciembre 2019*. Recuperado 11 de noviembre de 2020, de Agencia Nacional de Tránsito: <https://www.ant.gob.ec/index.php/ley-de-transparencia/ley-de-transparencia-2020/file/7011-siniestralidad-ene-dic-2019>
- Arco. (2020). *Electroválvulas: Qué es y para qué sirve*. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de: <https://www.aristegui.info/que-son-los-termoplasticos/>
- Arístegui. (2020). *¿Qué son los termoplásticos?* Recuperado 19 de noviembre de 2021, de: http://www.metrogas.cl/gnl_movil/asesoria_tecnica_1

ÁreaTecnología. (s.f.). *Relé Temporizador*. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de:
<https://areatecnologia.com/electricidad/rele-temporizador.html>

BCNVision. (2017). *Sistemas de iluminación para aplicaciones de visión artificial*.
Recuperado 17 de diciembre de 2021, de: <https://www.bcnvision.es/blog-vision-artificial/iluminacion-vision-artificial2/#:~:text=La%20fuente%20de%20luz%20puede,fluorescente%2C%20ultravioleta%2C%20entre%20otros>.

Brico. (s.f.). *Ventilador AC/DC*. Recuperado 18 de noviembre de 2021, de:
<https://bricoprofesional.com/blog/69013-2/>

Budynas, R. G., y Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGrawHill.

Chasi Toapanta, L. R. (2018) *Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de inflamabilidad de materiales usados en la construcción de interiores de carrocerías*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27672>

Chen, X., y Liu, Y. (2018). *Finite element modeling and simulation with ANSYS Workbench*. CRC press.

CPI Prodysol. (2015). *Fibra de Vidrio*. Recuperado 15 de diciembre de 2021, de:
<https://www.cpisefa.com/portfolio-item/fibra-vidrio/>

El Universo (2019) *Carros de siete marcas se ensamblan en Ecuador; los autos son los que más demanda tienen*. Recuperado 11 de noviembre de 2020, de Diario El

Universo: <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/11/06/Nota/7591049/autos-producen-ensamblan-ecuador>

EMB. (s.f.). *Control Industrial, desde la lógica cableada a los microautomatismos*. Recuperado 19 de noviembre de 2021, de: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=32>

Estrada, R. (2018). *OpenCV inRange C++ - Visión Artificial*. Recuperado 11 de noviembre de 2020 de: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/opencv-inrange-cpp/>

Escuela Select. (2020). *Siete tipos de riesgos laborales*. Recuperado 22 de noviembre de 2021, de: <https://escuelaselect.com/siete-tipos-riesgos-laborales/>

Expower. (s.f.). *La combustión y tipos de combustión*. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de: <https://www.expower.es/tipos-combustion-combustible.htm>

Famiq. (s.f.). *¿Qué es el acero inoxidable?* Recuperado 17 de noviembre de 2021, de: <https://www.famiq.com.ar/informacion-tecnica/que-es-acero-inoxidable>

Flowtrend. (2020). *¿Qué son los elastómeros? Características y tipos* Recuperado 19 de noviembre de 2021, de: <https://www.flowtrend.com/es-es/news/que-son-los-elastomeros>

Fernandez, J. (s.f.). *Poder Calorífico* [Diapositiva Power Point] http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas_termicas/01-poder_calorifico.pdf

FerrosPlanes. (2019). *El mecanizado CNC en la industria del metal y el tubo*. Recuperado 19 de noviembre de 2021, de: <https://ferrosplanes.com/mecanizado-cnc/>

FTT. (2020). *FMVSS 302*. Recuperado 11 de noviembre de 2020, de Fire Testing Technology: <https://www.fire-testing.com/fmvss-302/>

- Hennessey, B. (2017). *Test Procedures for Evaluating Flammability of Interior Materials*. NHTSA. [Archivo PDF].
<https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/documents/2017saebhennessey.pdf>
- Iftikhar, K. (2018). *Erosion and Dilation of images using OpenCV in python*. Recuperado 11 de noviembre de 2020, de: <https://www.geeksforgeeks.org/erosion-dilation-images-using-opencv-python/>
- INEN. (2009) *Norma NTE INEN 1323, Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos.*, Primera ed, Ecuador: INEN.
- INEN. (2015). *Norma NTE INEN 1668, Vehículos de transporte público de pasajeros Intrarregional, interprovincial e intraprovincial. Requisitos*, Primera ed, Ecuador: INEN.
- Ingemecánica. (2017). *Fundamentos de los Procesos de Mecanizado*. Recuperado 18 de noviembre de 2021, <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn38.html>
- Ingemecánica. (s.f.). *Técnicas y Fundamentos de la Soldadura TIG*. Recuperado 18 de noviembre de 2021, de: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn52.html>
- ISO. (2019). *Norma ISO-3795, Road vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry - Determination of burning behaviour of interior materials*, Segunda ed. Switzerland: International Organization for Standardization.
- Izanda. (s.f.). *Mecanizado por electroerosión*. Recuperado 19 de noviembre de 2021, de: <https://www.izanda.com/mecanizado-por-electroerosion/>

- JNAceros (2017) *¿Cuál Es El Proceso De Reciclaje Del Acero Inoxidable?* Recuperado 22 de noviembre de 2021, de: <https://jnaceros.com.pe/blog/proceso-reciclaje-acero-inoxidable/>
- La Hora. (2019) *Carroceros de Tungurahua preocupados por la llegada de buses eléctricos.* Recuperado 11 de noviembre de 2020, de Diario La Hora: <https://www.lahora.com.ec/tungurahua/noticia/1102229074/carroceros-de-tungurahua-preocupados-por-la-llegada-de-buses-electricos->
- Lira, A. y Guevara, A. (s.f.) *Medición de la capacidad calorífica de los cuerpos y su relación con la inercia térmica.* [Archivo PDF] http://leias.fa.unam.mx/wp-content/uploads/2018/07/180515_Practica12_LES.pdf
- Llorente, J. (s.f.). *Despliegue de la función de calidad QFD* [Archivo PDF] <http://gestioncalidad.com/wp-content/uploads/2016/09/QFD.pdf>
- Marín, R. (2020) *¿Qué es OpenCV? Instalación y ejemplos básicos.* Recuperado 11 de noviembre de 2021 de: <https://revistadigital.inesem.es/informatica-y-tics/opencv/>
- Marker, G. (s.f.). *Qué es una webcam: Cámara de Computadora.* Recuperado 17 de noviembre de 2021, de: <https://www.tecnologia-informatica.com/camara-web-comprar-webcam/>
- Maxwell Controls (s.f.) *Rex Series Instruction Manual.* [Archivo PDF]. <https://www.maxwell-fa.com/upload/files/base/d/t/498.pdf>
- Metrogas. (2020). *Combustión.* Recuperado 17 de noviembre de 2021, de: http://www.metrogas.cl/gnl_movil/asesoria_tecnica_1

- Minitab. (2019). *Interpretar los estadísticos para almacenar estadísticos descriptivos*. Recuperado 22 de diciembre de 2021, de: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/store-descriptive-statistics/interpret-the-statistics/interpret-the-statistics/>
- Mott, R. L. (2009). *Resistencia de materiales*. Pearson Educación.
- OpenCV. (2020). *Contours: Getting Started*. Recuperado 11 de noviembre de 2020, de: https://docs.opencv.org/trunk/d4/d73/tutorial_py_contours_begin.html
- Presman. (2021). *Combustible, Comburente y Energía de Activación*. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de: <https://www.extintorespresman.es/combustible-comburente-y-energia-de-activacion/>
- Puente, D. (8 de junio de 2020) *500 000 usuarios viajan cada día en buses en Quito*. El Comercio. Recuperado 19 de febrero de 2021, de: <https://www.elcomercio.com/actualidad/usuarios-viajan-buses-quito-pandemia.html>
- Python. (2021). *Interfaces gráficas de usuario con Tk*. Recuperado 19 de noviembre de 2021, de: <https://docs.python.org/es/3.8/library/tk.html>
- Raspberry Pi (s.f.). *Raspberry Pi 4* Recuperado 17 de noviembre de 2021, de: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- Repsol (2016) *Ficha de datos de seguridad. Gas Licuado de Petróleo*. [Archivo PDF]. https://www.repsol.pe/imagenes/repsolporpe/es/2GLP_tcm76-84132.pdf

- Rodríguez, D. (2020). *Colorimetría III: espacio de color RGB, HSV y HSL*. Recuperado 17 de diciembre de 2021, de: <https://lledoenergia.es/colorimetria-iii-espacios-de-color-hsl-hsv-y-rgb/>
- Riba Romeva, C. (2002). *Diseño concurrente*. Edicions UPC
- SAE (2020). *Organismos Acreditados, Designados y Reconocidos*. Recuperado 11 de noviembre de 2020, de Servicio de Acreditación Ecuatoriano: <http://servicios.acreditacion.gob.ec:50239/organismos-evaluadores-conformidad>
- SAE. (2019). *Norma SAE J369, Flammability of Polymeric Interior Materials - Horizontal Test Method*, Cuarta edición.
- Seas. (2020). *El Relé: qué es, para que sirve y qué tipos existen*. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de: <https://www.seas.es/blog/automatizacion/el-rele-para-que-es-para-que-sirve-y-que-tipos-existen/>
- Solano, G. (s.f.) *Simple Thresholding (Umbralización)*. Recuperado 11 de noviembre de 2020, de: <https://omes-va.com/simple-thresholding/>
- Testex. (2020). *Horizontal Flammability Tester TF311*. Recuperado 11 de noviembre de 2020, de Testex Equipment: <http://www.testing-equipments.net/sale-9909126-horizontal-flammability-tester.html>
- Torres, A. (2021). *Adafruit AMG8833 8x8 Thermal Camera Sensor*. Recuperado 11 de noviembre de 2021, de: <https://learn.adafruit.com/adafruit-amg8833-8x8-thermal-camera-sensor>

- TP Laboratorio Químico. (s.f.). *Mechero Bunsen*. Recuperado 11 de noviembre de 2020 de: <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/mechero-bunsen.html>
- Trinks, W., Mawhinney, M. H., Shannon, R. A., Reed, R. J. y Garvey, J. R. (2003). *Industrial Furnaces*. Sexta Edición. US: John Wiley & Sons.
- Udale, J. (2014). *Diseño textil: tejidos y técnicas*. Editorial Gustavo Gili.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. C. (2009). *Diseño y desarrollo de productos*. McGraw-Hill.
- Univer (s.f.) *Flow Regulators*. [Archivo PDF]. https://www.univer-group.com/en/doc/am50_en_c91.pdf
- Zapata, C. (2002). *Procedimientos en accidentes de tránsito*. Primera edición. Ecuador, Editorial EDIMEC.

Anexos