

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño de un sistema de aspersión para la aplicación de pintura termocromática High Voltage®

Trabajo de graduación presentado por Álvaro Aníbal Molina Lemus para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala,

2021

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño de un sistema de aspersión para la aplicación de pintura termocromática High Voltage®

Trabajo de graduación presentado por Álvaro Aníbal Molina Lemus para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala,

2021

Vo.Bo



(Ingeniero Andrés Rodrigo Viau Najarro)

Tribunal examinador:



(Ingeniero Rony José Herrarte Estevez)



(Ingeniero Andrés Rodrigo Viau Najarro)



(Ingeniero Gustavo Adolfo Barrera Noriega)

Fecha de aprobación del examen de graduación:

(Guatemala, 8 de diciembre de 2021)

ÍNDICE

ÍNDICE	ii
LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE ILUSTRACIONES	vii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
A. Objetivo general:	2
B. Objetivos específicos:	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
A. Sistemas de transmisión	4
1. Líneas de transmisión	4
2. Subestaciones de transmisión y transformadores de potencia	9
B. Herrajes	11
C. Criterios de seguridad de líneas de transmisión	12
1. Normativas de diseño y operación de líneas de transmisión	12
D. Operación de líneas de transmisión	18
1. Inspección y mantenimiento al sistema de transmisión	18
2. Métodos y mecanismos de protección del personal	18
E. Características de materiales eléctricos	26
1. Materiales conductores	26
2. Materiales semiconductores	26
3. Materiales dieléctricos (aislantes)	26
4. Rigidez dieléctrica	26
F. VÁLVULAS NEUMÁTICAS	27
5. Válvulas de aislamiento	28
G. BOQUILLAS	29

1.	Tipos de boquillas	30
H.	PINTURA TERMOCROMÁTICA.....	31
I.	COPAS ZAHN	32
V.	METODOLOGÍA	34
A.	DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍA	34
1.	Determinación de los puntos “puntos calientes” en las líneas de transmisión de 230 kV en Guatemala.....	34
B.	DEFINIR REQUISITOS DEL DISEÑO.....	34
C.	FUNCIONAMIENTO GENERAL	35
1.	Introducción.....	35
2.	Esquema y descripción general del diseño.....	36
3.	Criterio de selección de componentes importantes.....	40
4.	Diseño final del prototipo y cálculos.....	42
D.	FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO DE PVC.....	49
1.	Fabricación sección 1	50
2.	Fabricación sección 2	50
3.	Fabricación sección 3	51
4.	Fabricación del depósito	52
E.	PRUEBAS AL PROTOTIPO.....	52
VI.	RESULTADOS.....	54
A.	CARRERAS NECESARIAS PARA ALCANZAR LAS PRESIONES DE 15, 20, 25 Y 30 PSI	54
B.	TIEMPO DE USO CONTINUO A DIFERENTES PRESIONES.....	55
C.	ÁREA MÁXIMA PINTADA POR DEPÓSITO. TIEMPO Y CANTIDAD DE PINTURA NECESARIA PARA UN ÁREA DE 50 X 65 CM.	55
D.	PESO DEL PROTOTIPO	56
E.	OBTENCIÓN DEL CAUDAL.....	56
F.	VISCOSIDAD DE LA PINTURA TERMOCROMÁTICA.....	56
VII.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	57
A.	CARRERAS NECESARIAS PARA ALCANZAR LAS PRESIONES DE 15, 20, 25 Y 30 PSI	57
B.	TIEMPO DE USO CONTINUO A DIFERENTES PRESIONES.....	57

C.	ÁREA MÁXIMA PINTADA POR DEPÓSITO. TIEMPO Y CANTIDAD DE PINTURA NECESARIA PARA UN ÁREA DE 50 X 65 CM.	57
D.	PESO DEL PROTOTIPO	58
E.	OBTENCIÓN DEL CAUDAL.....	58
F.	VISCOSIDAD DE LA PINTURA TERMOCROMÁTICA.....	58
VIII.	CONCLUSIONES	60
IX.	RECOMENDACIONES.....	61
X.	BIBLIOGRAFÍA	62
XI.	ANEXOS	65
A.	Imágenes reales del prototipo	65
B.	<i>Drain time</i> para la copa Zahn #5	67
C.	Formulario CNEE	68
D.	Documentos de descripción de las pruebas realizadas	69
1.	CARRERAS NECESARIAS PARA ALCANZAR LAS PRESIONES DE 15, 20, 25 Y 30 PSI	69
	CARRERAS NECESARIAS PARA ALCANZAR LAS PRESIONES DE 15, 20, 25 Y 30 PSI	71
2.	TIEMPO DE USO CONTINUO A PRESIONES DE 15, 20, 25 Y 30 PSI	72
3.	ÁREA MÁXIMA PINTADA POR DEPÓSITO. TIEMPO Y CANTIDAD DE PINTURA NECESARIA PARA UN ÁREA DE 50 X 65 CM	75
	ÁREA MÁXIMA PINTADA POR DEPÓSITO. TIEMPO Y CANTIDAD DE PINTURA NECESARIA PARA UN ÁREA DE 50 X 65 CM	76
4.	PESO DEL PROTOTIPO	78
	PESO DEL PROTOTIPO	79
5.	OBTENCIÓN DEL CAUDAL.....	80
6.	VISCOSIDAD DE LA PINTURA TERMOCROMÁTICA.....	83
	VISCOSIDAD DE LA PINTURA TERMOCROMÁTICA.....	84
E.	Planos de todas las secciones	86
1.	Sección 1	86
2.	Sección 2	87
3.	Sección 3	88
4.	Depósito.....	89

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Tipos de estructuras según su función.	6
Cuadro 2.	Detalle por transportista, longitud y voltaje de las líneas de transmisión.....	8
Cuadro 3.	Detalles de número de estructuras y grapas de remate.	9
Cuadro 4.	Tipos de grapa de amarre.....	12
Cuadro 5.	Tensiones de las líneas de transporte en Guatemala.....	13
Cuadro 6.	Distancia horizontal mínima de separación entre conductores del mismo o de diferente circuito en sus soportes fijos.	15
Cuadro 7.	La distancia vertical mínima entre conductores y cables.....	16
Cuadro 8.	Personal de cuadrilla de línea viva.....	25
Cuadro 9.	Propiedades eléctricas de algunos polímeros.....	27
Cuadro 10.	Tipo de válvulas.....	28
Cuadro 11.	Tipos de boquilla.....	30
Cuadro 12.	Número de copa, diámetro de compa y factores de conversión.	32
Cuadro 13.	Número de copa, rango de viscosidad y aplicación.....	33
Cuadro 14.	Requisitos de la bomba.....	34
Cuadro 15.	Presión máxima teórica.....	38
Cuadro 16.	Componentes principales para la sección 1.	38
Cuadro 17.	Componentes principales para en la sección 2.	39
Cuadro 18.	Materiales principales utilizados en la sección 3.....	40
Cuadro 19.	Descripción general de las diferentes pruebas a realizarse.....	53
Cuadro 20.	Carreras necesarias para alcanzar las presiones de 15, 20, 25, y 30 PSI. ...	55
Cuadro 21.	Tiempo de uso continuo a diferentes presiones.	55
Cuadro 22.	Área máxima pintada por depósito. Tiempo y cantidad de pintura necesaria para un área de 50 x 65 cm.	55
Cuadro 23.	Peso del prototipo.	56
Cuadro 24.	Obtención del caudal.....	56
Cuadro 25.	Viscosidad pintura termocromática High Voltage.....	56
Cuadro 26.	Propiedades físicas del polipropileno.	65

Cuadro 27. Espesor de pared del polipropileno..... 65

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Diagrama del sistema de transmisión.....	4
Ilustración 2.	Conductores en torres de transmisión (ACSR).....	5
Ilustración 3.	Aislador 15 kV – 245 kV.....	5
Ilustración 4.	Gráfica de la distribución de las redes por tensión.....	8
Ilustración 5.	Subestación de maniobras Ciruelos, Chile. Línea de 220 kV.....	10
Ilustración 6.	Transformador de poder.....	11
Ilustración 7.	Muestra distancias de seguridad entre conductores en líneas de alta tensión.....	17
Ilustración 8.	Distancias de seguridad de los conductores respecto a las distintas superficies.....	17
Ilustración 9.	Pértiga tipo escopeta.....	19
Ilustración 10.	Pértiga tipo amarre.....	19
Ilustración 11.	Pértiga para soporte de conductor.....	20
Ilustración 12.	Enlaces.....	20
Ilustración 13.	Juego de tierra estática.....	20
Ilustración 14.	Silleta para torre.....	21
Ilustración 15.	Abrazadera con anillo giratorio para pértiga de soporte.....	21
Ilustración 16.	Escalera de epoxiglas.....	21
Ilustración 17.	Cinturones portaherramientas.....	22
Ilustración 18.	Botas conductoras.....	22
Ilustración 19.	Traje conductor.....	23
Ilustración 20.	Casco de seguridad.....	23
Ilustración 21.	Gorro liniero.....	24
Ilustración 22.	Calidad del acabado en función al tamaño de las partículas de pintura.....	30
Ilustración 23.	Ejemplo de uso de pintura termocromática.....	31
Ilustración 24.	Copa Zahn.....	32
Ilustración 25.	Esquema general de la bomba.....	36
Ilustración 26.	Esquema de la sección 1.....	37

Ilustración 27.	Esquema de la sección 2.....	39
Ilustración 28.	Esquema de la sección 3.....	40
Ilustración 29.	Mecanismo para presurizar el prototipo	41
Ilustración 30.	Prototipo real de PVC.....	42
Ilustración 31.	Dimensiones generales de la sección 1.....	43
Ilustración 32.	Dimensiones generales de la sección 2.....	43
Ilustración 33.	Dimensiones generales de la sección 3.....	43
Ilustración 34.	Diagrama de los esfuerzos meridiano y circunferencial.....	45
Ilustración 35.	Espesor de pared del PVC de 4 pulgadas.	46
Ilustración 36.	Explosión y componentes de la sección 1.	50
Ilustración 37.	Explosión y componentes de la sección 2.	51
Ilustración 38.	Explosión y componentes de la sección 3.	51
Ilustración 39.	Explosión y componentes del depósito.	52
Ilustración 40.	Imagen real de la sección 1.....	65
Ilustración 41.	Imagen real de la sección 2.....	65
Ilustración 42.	Imagen real de la sección 3.....	66
Ilustración 43.	Imagen real del depósito.....	66
Ilustración 44.	<i>Drain time</i> para la copa Zahn #5	67
Ilustración 45.	Formulario CNEE.....	68

RESUMEN

Se diseñó un prototipo de un sistema de aspersión para la aplicación de pintura termocromática High Voltage® para la empresa Thermoalert. La bomba cuenta con una presión teórica máxima de 14.63 PSI, y tiene un peso de 3.716 kg.

El dispositivo pretende mejorar la eficiencia con la que los linieros aplican esta pintura en los herrajes de conexión entre cables de las torres de transmisión eléctrica. Actualmente este proceso se llevaba a cabo mediante brochas ubicadas en el extremo de una pértiga. La aplicación con brocha tiene ciertas desventajas, por ejemplo, una aplicación no uniforme e incapaz de cubrir por completo toda la superficie.

Para cumplir con el desarrollo de este prototipo se realizaron investigaciones previas acerca de los diferentes tipos de válvulas que existen en la rama de neumática. Se analizaron las propiedades de materiales que cumplan con los objetivos de baja densidad y conductividad eléctrica segura para voltajes mayores de 230 KV y se hizo un análisis preliminar sobre la viscosidad de la pintura a utilizar.

Así mismo, en el sistema de transmisión de alta tensión de la red nacional de 230 kV se cuenta con alrededor de 26,286 grapas de remate, las cuales se pueden ver favorecidas con la aplicación de pintura termocromática mediante la implementación del prototipo.

El prototipo es capaz de asperjar la pintura con presiones entre 15 y 30 PSI. Así mismo, su tiempo de uso continuo es superior a los 60 segundos con una presión de 15 PSI. Gracias a su boquilla de tipo “*extended range flat-fan*” tiene la capacidad de pintar un área de 65 x 50 cm en menos de 13 segundos a una presión de 15 PSI.

I. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es vital para el mundo en el que vivimos, cada vez que no contamos con suministro de energía, tenemos afectaciones, las cuales son mitigables cuando la misma es de corta duración y la demanda es del tipo residencial. La falta de energía puede llegar a tener altas consecuencias, cuando se afecta a un gran número de usuarios, o se afecta el suministro a procesos productivos que generan bienes y de los cuales depende la economía.

Un sistema imprescindible para llevar la energía a los Centros de Consumo son los Sistemas de Transmisión, los cuales deben ser eficientes y minimizar fallas para que el suministro no sea interrumpido. Incluso existen criterios de diseño que duplican las instalaciones de transmisión en ciertos puntos, a fin de asegurar una alta confiabilidad en el suministro.

En la búsqueda de contribuir a la identificación de puntos de falla en los sistemas de transmisión para aumentar su confiabilidad, agilizar el mantenimiento preventivo, y mantener los índices de calidad de servicio en valores apropiados; y con el apoyo de la empresa Thermoalert, se analizó la aplicación de una pintura diseñada especialmente con sensibilidad a los cambios de temperatura, que modifica su apariencia de color gris a amarillo fluorescente entre 26°C y 80°C. Esta característica de la pintura es utilizada para detectar fallas en los herrajes de conexión entre cables de las torres de transmisión de energía eléctrica de alta tensión, la cual continúa siendo la más importante. Debido a que si una línea de alta tensión falla dejaría de alimentarse a las líneas que dependen de ella (distribución y baja tensión) y por ende un gran sector del país carecería de energía eléctrica.

El hecho de aplicar la pintura con brocha presenta algunas desventajas, como acabado no uniforme que afecta la visibilidad de la pintura. La integridad física del liniero se compromete al tener que aplicar esta pintura con brocha a una distancia mayor a dos metros. Por otro lado, la aplicación de pintura termocromática con un sistema de aspersión permite dar un diagnóstico sin la necesidad de estar al pie de la torre gracias al uso de binoculares, con esto se evita adentrarse a lugares de difícil acceso.

Este trabajo tiene como objetivo principal diseñar un prototipo de bomba manual para la aplicación de pintura termocromática High Voltaje® con la finalidad de anular las desventajas que presenta la aplicación con brocha y ahorrar tiempo en la aplicación de la pintura termocromática en los 1935.69 km de red de alta tensión en 230 KV.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general:

Diseñar un prototipo de aspersión para aplicación de pintura termocromática High Voltage®, que permita la identificación de “puntos calientes” en las conexiones de las líneas de transmisión de energía eléctrica de 230 kV.

B. Objetivos específicos:

1. Investigar las condiciones de diseño y operación de líneas de transmisión en 230 kV e identificar los requisitos de seguridad aplicables al diseño del prototipo.
2. Investigar la aplicabilidad de la solución propuesta para determinar “puntos calientes” por medio de pintura termográfica en las líneas de transmisión en 230 kV en Guatemala.
3. Investigar y seleccionar materiales idóneos que posean características aislantes a 230 kV.
4. Determinar la presión mínima de operación del prototipo, que permita pulverizar la pintura termocromática.
5. Diseñar el sistema de tuberías y determinar las características de las válvulas para el correcto funcionamiento del prototipo.
6. Diseñar y realizar pruebas del prototipo para verificar la efectividad de aspersión de la pintura.

III. JUSTIFICACIÓN

En el transporte de energía eléctrica en Guatemala, se pueden tener pérdidas de energía en los herrajes de conexión entre cables que se tienen en las torres de transmisión. Estas pérdidas se manifiestan como un aumento en la temperatura en estos elementos, generando una falla mayor, por ejemplo, un corto circuito. Las pérdidas son producidas por conexiones flojas, afectadas por corrosión, suciedad y degradación de los materiales aislantes (Castellanos, 2012).

Para evitar este tipo de fallas provocadas por calentamiento en los puntos de conexión de las torres de transmisión de Guatemala, actualmente se realizan dos formas de mantenimiento predictivo. La más utilizada es la termografía infrarroja, y la segunda consiste en la aplicación de pintura termocromática con brocha.

La pintura termocromática cambia de color dependiendo de la temperatura de los herrajes de conexión entre cables y/o barras en subestaciones (grapas de remate, empalmes, uniones, etc). Su apariencia es gris entre temperaturas de 16°C y 26°C, pasando a un color amarillo fluorescente al detectar alguna falla por sobrecalentamiento. (Thermoalert, 2019).

La termografía infrarroja presenta algunas desventajas tales como el tiempo extenso para examinar los resultados en el laboratorio, lo cual puede agravar la falla en los herrajes de conexión; y el costo elevado, ya que el precio de una cámara de nivel industrial para el mes de julio de 2020 asciende a 4 mil dólares estadounidenses.

La aplicación de la pintura termocromática con brocha, impide tener un acabado de calidad y no es posible cubrir toda la superficie de los herrajes de conexión, perjudicando la efectividad de la pintura. Otra falla que presenta la aplicación con brocha es lo incómodo que resulta el trabajo para el liniero que debe aplicar la pintura a dos metros de distancia. Asimismo, es un riesgo para los operarios que se encuentran cerca de la torre de transmisión debido a que el liniero carga un bote de pintura cuya caída puede provocar un accidente.

Por otro lado, la aplicación de pintura termocromática con un sistema de aspersión como el diseñado y puesto a prueba en el presente documento. Permite dar un diagnóstico sin la necesidad de estar al pie de la torre gracias al uso de binoculares, con esto se evita adentrarse a lugares de difícil acceso. También la detección y respuesta ante cualquier falla es inmediata, de esta manera se aumenta la velocidad de inspección y diagnóstico logrando que los equipos tengan una mayor vida útil.

Otra ventaja que presenta un sistema de aspersión es el beneficio hacia los linieros, que no tendrán que estar pendientes de cargar un bote abierto lleno de pintura. De esta manera no se ponen en riesgo ni ellos ni el resto del equipo.

Asimismo, con el sistema de aspersión de pintura termocromática se logra detectar de forma inmediata cualquier falla y por ende se agiliza el mantenimiento correctivo, asimismo puede diagnosticarse a una distancia mayor que la que requiere el análisis por cámara termográfica. De tal manera se beneficia directamente a las empresas encargadas de la transmisión de energía eléctrica.

IV. MARCO TEÓRICO

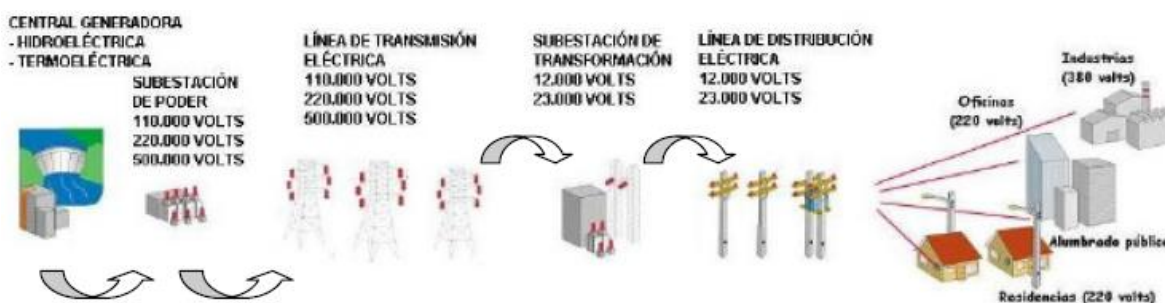
A. Sistemas de transmisión

Los sistemas de transmisión de energía eléctrica son aquellos que sirven para transportar grandes cantidades de energía eléctrica de forma eficiente a altos voltajes, interconectan los grandes centros de consumo (ciudades), con el lugar donde se produce la energía. Su ubicación y diseño se define en función del extremo donde se encuentra el recurso energético (hidroeléctricas, cercano a puertos que reciben combustibles, etc.), la ruta por la cual debe construirse la línea hasta llegar a los grandes centros de consumo.

Un sistema de transmisión consiste en elementos que permiten transportar la energía a través de largas distancias y altos niveles de voltaje para minimizar las pérdidas por resistencia eléctrica. A continuación, se identifican los elementos más importantes: (Castellanos Puga, 2012)

- Líneas de transmisión
- Transformadores de potencia
- Subestaciones

Ilustración 1. Diagrama del sistema de transmisión.



Fuente: Jorge Edgardo Quezada (*Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica*, 2005)

1. Líneas de transmisión

Los componentes principales de las Líneas de transmisión son los siguientes:

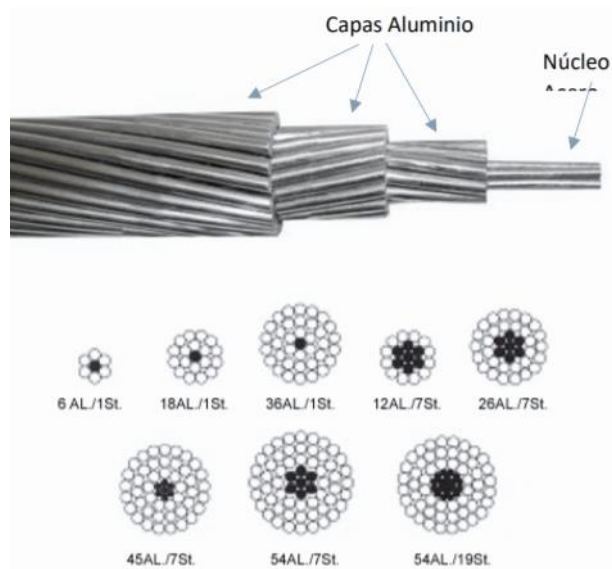
- **Conductores:** Un componente esencial para la transmisión de energía son los conductores eléctricos. En las líneas de transmisión de energía eléctrica, se utilizan casi en su totalidad conductores metálicos desnudos, que se obtienen mediante cableado de hilos metálicos alrededor de un hilo central. En su mayoría núcleo de acero y aluminio a su alrededor conocidos como *ACSR (Aluminum Conductor Steel Reinforced)*. Los metales deben cumplir con tres objetivos principales: (Wildi, 2006)
 - Presentar una baja resistencia eléctrica.
 - Una elevada resistencia mecánica.

- Costo limitado.

Algunos de los metales más utilizados son:

- Cobre
- Aluminio
- Aleación de aluminio
- Combinación de metales (Aluminio acero)

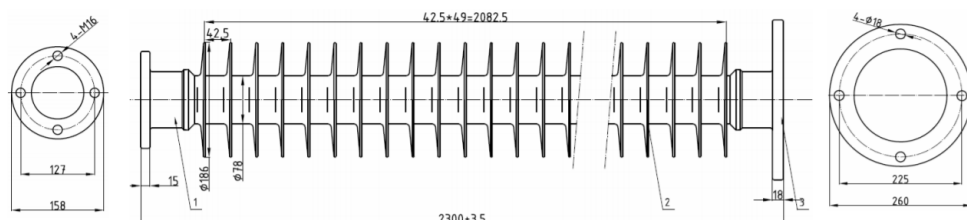
Ilustración 2. Conductores en torres de transmisión (ACSR).



Fuente: Vicente Torns, distribution S.L.

- **Aisladores:** Son elementos no conductores, los cuales sirven para soportar, anclar y aislar de tierra a los conductores. Los aisladores pueden ser de porcelana vidriada o vidrio templado. Los compuestos o polímeros cuentan con un núcleo dieléctrico, que son capaces de transmitir los esfuerzos mecánicos de los conductores proporcionando el aislamiento eléctrico necesario. En la Figura 4 se muestra un aislador compuesto con núcleo de fibra de vidrio y recubrimiento de silicona nivel hidrófugo. (Lemus Ayala, 2013)

Ilustración 3. Aislador 15 kV – 245 kV.






Fuente: ENVERTEC S.L.

- **Estructuras:** La función básica de las estructuras de líneas de transmisión es dar soporte a los cables conductores y a los diferentes elementos que están sujetos a ella. Estas deben cumplir con las distancias de seguridad determinadas por normativa emitida por el ente rector del Sector Eléctrico en Guatemala, es decir, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica - CNEE. Las estructuras están diseñadas de acuerdo con la orografía del terreno con el objetivo de transportar energía a largas distancias. El diseño de las estructuras depende de diversos factores: tipo de suelo, velocidad del viento, factores ambientales, etc. Pueden clasificarse según su función, la forma de resistir los esfuerzos, y los materiales constructivos utilizados. (Lemus Ayala, 2013)

Por su función las estructuras se clasifican en:

Cuadro 1. Tipos de estructuras según su función.

No.	Tipo	Imagen	Descripción
1	Suspensión		Se utilizan cuando no existe un cambio de dirección en la trayectoria de la línea de transmisión. Son aquellas estructuras que se instalan únicamente cuando se consideran cargas verticales.
2	Retención o de deflexión		Se instalan cuando existe un cambio de trayectoria en la línea de transmisión. Se utilizan para cargas longitudinales, transversales y longitudinales.

No.	Tipo	Imagen	Descripción
3	De remate o terminal		También llamadas de iniciación, estas estructuras se instalan en el inicio o final de una línea de transmisión.

Fuente: Jorge Edgardo Quezada (*Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica*, 2005)

En función de su longitud, las líneas de transmisión se pueden clasificar en:

- Líneas menores a 80 km se denominan cortas.
- Líneas comprendidas entre 80 y 240 km se denominan medianas.
- Líneas mayores a 240 km se denominan largas.

En el diseño de las líneas de transmisión, se considera la distancia (longitud) de las líneas, realizando transposiciones para “balancear” los parámetros eléctricos de las mismas, ya que se comportan diferente según su distancia al suelo. (Castellanos Puga, 2012)

En Guatemala, en función del nivel de voltaje para transmitir la energía, las líneas se clasifican en:

- Líneas de transmisión de 69 kV
- Líneas de transmisión de 138 kV
- Líneas de transmisión de 230 kV
- Líneas de transmisión 400 kV

Asimismo, en función de su uso, el sistema de transmisión está dividido en dos, sistema principal y sistema secundario de transmisión. El sistema principal, está constituido principalmente por las líneas de 230 kV y 400 kV, las cuáles son las más importantes para el sistema, asimismo, pueden formar parte otras líneas de menor voltaje en función del análisis y criterio de uso de cada instalación. (Castellanos Puga, 2012)

A continuación, se presenta un resumen de las líneas de transmisión, según las empresas transportistas de Guatemala.

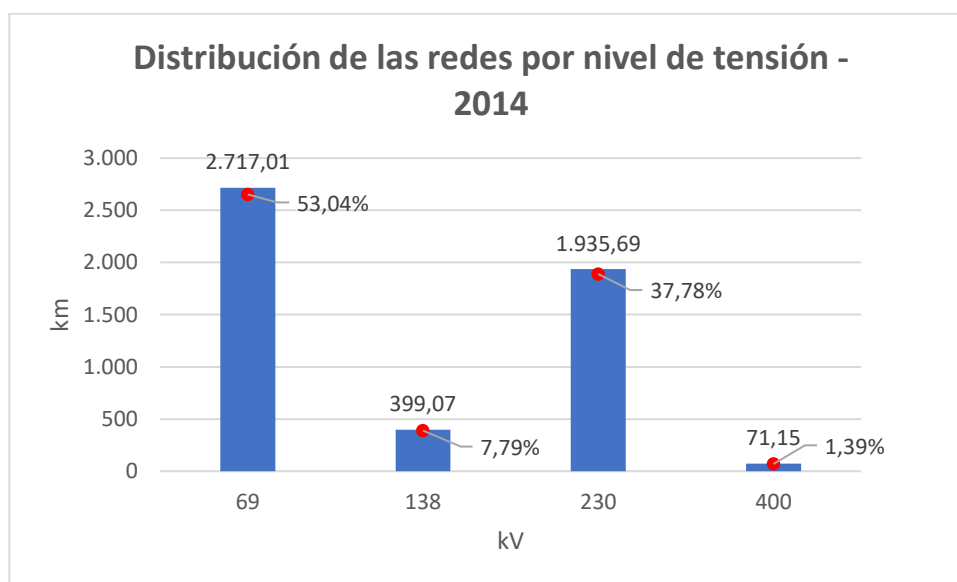
Cuadro 2. Detalle por transportista, longitud y voltaje de las líneas de transmisión

TRANSPORTISTA	TENSIÓN (kV)	LONGITUD DE LÍNEAS (km)
ETCEE	69	2,116.53
	138	399.07
	230	833.43
	400	71.15
TRELEC	69	564.28
	230	61.00
RECSA	69	31.48
DUKE	230	32.00
TREO	230	131.80
TRANSNOVA	230	32.00
EPR	230	361.47
TRECSA	69	4.72
	230	483.99
TOTAL		5,122.92

Fuente: CNEE (2014). *Compendio estadístico*, pág. 36

El análisis de la información detallada con anterioridad permite identificar la cantidad de redes por nivel de tensión disponibles.

Ilustración 4. Gráfica de la distribución de las redes por tensión.



Fuente: Elaboración propia, datos base de la CNEE.

Para el año 2014, aproximadamente un 38% de las líneas de transmisión de energía eléctrica (equivalente a 1,940 km), poseen un voltaje de 230 kV (Ilustración 4).

Mediante información obtenida directamente de la comisión nacional de energía eléctrica (CNEE) se detalla lo siguiente.

Cuadro 3. Detalles de número de estructuras y grapas de remate.

OPERADO POR	PROMEDIO DE ALTURA MÍNIMA DEL CONDUCTOR (metros)	ESTRUCTURAS TOTALES	GRAPAS DE REMATE
ETCEE	16.8	1,358	15,246
EEBIS	10.3	253	3,036
ORAZUL	13.4	188	1,128
TRANSNOVA	14.7	81	972
TRANSESUSA	15.1	166	996
TREO	NA	448	2,688
TRELEC	16.9	370	2,220
	TOTAL	2,864	26,286

Fuente: CNEE (2021)

2. Subestaciones de transmisión y transformadores de potencia.

a. Subestaciones

Las subestaciones eléctricas, son diseñadas y construidas para cumplir diferentes fines, dentro de un Sistema Eléctrico. Las mismas pueden ser de “Conmutación” o de “Transformación”, las primeras sirven para realizar maniobras y conectar diferentes líneas de transmisión en un mismo nivel de voltaje; las segundas para conectar diferentes redes de transmisión y/o distribución con diferentes voltajes en un mismo sistema, por medio de la integración con diferentes equipos, siendo los transformadores de potencia, los principales, ya que permiten que la energía fluya desde una red con nivel de voltaje hacia otra red con un voltaje superior o inferior. (Gálvez Vásquez, 2007)

Están compuestas por un conjunto de dispositivos eléctricos y electrónicos. Las funciones principales son: transformar tensiones y corrientes, así como derivar circuitos de potencia. Las subestaciones se encuentran ubicadas cerca de los generadores y de los centros donde se consume la energía. Elevan la energía producida por los generadores en media tensión, hacia alta tensión, requerido para transmitir la energía de manera económica y de manera contraria disminuye el voltaje de las líneas de transmisión al voltaje de consumo. (Wildi, 2006)

A continuación, se describen los elementos principales de una subestación eléctrica:

- Transformadores
- Cortacircuitos
- Interruptores
- Relevadores y dispositivos de protección
- Reactores limitadores de corriente
- Transformadores de instrumentos
- Campos de conexión de Líneas de transmisión entrantes / salientes.

Ilustración 5. Subestación de maniobras Ciruelos, Chile. Línea de 220 kV.



Fuente: Jorge Edgardo Quezada (*Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica*, 2005)

b. Transformadores de potencia

El transformador de potencia es un elemento electromagnético que sirve de enlace entre dos partes del sistema de transmisión de energía eléctrica, que generalmente operan a diferentes valores de tensión y corriente, pero conservando la misma frecuencia.

La función principal de un transformador de potencia es elevar el voltaje de la energía producida desde una central generadora hacia las Líneas de transmisión, y luego reducir el voltaje en la subestación cercana a los centros de consumo, para que sea transportada en el sistema de distribución y hasta cada usuario final (hogares, industrias, etc.). (Wildi, 2006).

Para transmitir esta potencia de manera eficiente y económica, los voltajes deben de estar en los niveles apropiados. El rango de voltaje en Guatemala, para el sistema de transmisión varía entre 69 kV a 400 kV, y depende de la cantidad de energía que se necesita transmitir, de la distancia que se tiene que recorrer y de la configuración en sí del propio sistema de transmisión.

Los transformadores pueden ser trifásicos, con tres embobinados primarios y tres secundarios ensamblados en el núcleo. Sin embargo, también pueden utilizarse tres

transformadores monofásicos conectados entre sí para formar un banco de transformadores trifásico (Wildi, 2006).

Ilustración 6. Transformador de poder.



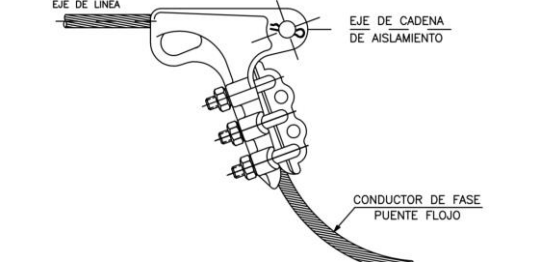
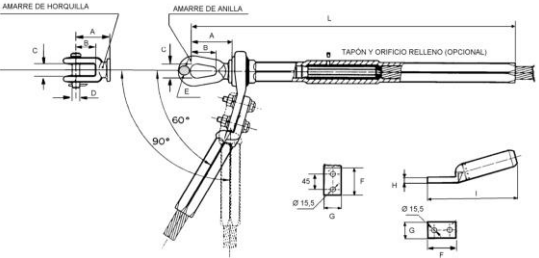
Fuente: Jorge Edgardo Quezada (*Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica*, 2005)

B. Herrajes

Se le conoce como herraje a todo elemento metálico que tiene como fin la fijación, empalme, protección eléctrica o mecánica, reparación, separación, amortiguamiento de vibraciones, etc. de los conductores. El término morsetería es usado para referirse a lo mismo (herrajes). (*Especificación técnica: herrajes para líneas aéreas de alta tensión*, 2001)

Dentro de los herrajes se encuentran las grapas de amarre. Se denomina grapa de amarre al herraje que fija el conductor a la cadena de aislamiento y que está proyectado para soportar la tensión mecánica total del conductor. Se distinguen dos tipos de grapas de amarre según sea su tipo de apriete, la normal (tornillos) y la de comprensión (por engastado). (*Herrajes para formación de cadenas en líneas aéreas AT*, 2005)

Cuadro 4. Tipos de grapa de amarre.

TIPO DE GRAPA	FIGURA
Amarre normal	
Amarre de compresión	

Fuente: Hidro Cantábrico Distribución Eléctrica, S.A.U (*Herrajes para formación de cadenas en líneas aéreas AT*, 2005)

C. Criterios de seguridad de líneas de transmisión

1. Normativas de diseño y operación de líneas de transmisión

El diseño y construcción de sistemas eléctricos, se realiza tomando como base la regulación y normatividad eléctrica, la cual aplica tanto la selección de materiales, como para cada elemento instalado, y los criterios de diseño que deben aplicar para un sistema en específico.

En Guatemala, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica – ente encargado de regular el sector eléctrico, ha definido los criterios de diseño y operación de líneas de distribución y líneas de transmisión, por medio de las normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución (NTDOID) y normas técnicas de diseño y operación del servicio de transporte (NTDOST), asimismo por medio de las normativas técnicas del servicio de distribución (NTSD) y de las normas técnicas de calidad del servicio de transporte y sanciones (NTCSTS) se controla el desempeño de las redes según los indicadores definidos para cada tipo de instalación.

Las NTDOID y NTDSOT definen los requisitos mínimos de diseño, construcción y operación en las líneas de Transporte de energía eléctrica, con la finalidad de obtener la máxima seguridad y protección para las personas. A continuación, los aspectos más relevantes.

a. Criterios de diseño de líneas de transmisión

Diseño eléctrico: El sistema de transmisión de energía eléctrica deberá considerar y cumplir con los siguientes requisitos.

- **Materiales y equipos:** El artículo 4 de la NTDOST establece que: en las líneas de transmisión de alta tensión, deberán utilizarse materiales y equipos que cumplan con las normas nacionales y/o internacionales vigentes y correspondientes, en concreto las normas IEC y ANSI. Estos materiales y equipos deberán resistir y soportar las condiciones mínimas operativas climáticas y ambientales, que garanticen la calidad de servicio conforme a las normas técnicas NTSD y NTCSTS.
- **Selección del nivel de tensión:** Las tensiones máximas de operación se deberán diseñar con apego a las Normas ANSI C84 (ANSI C84.1-2020: Electric Power Systems Voltage Ratings) y ANSI C92 (American National Standard for Power Systems - Alternating-Current Electrical Systems and Equipment Operating at Voltages Above 230 kV Nominal-Preferred Voltage Ratings). El Cuadro 3 muestra las tensiones de transporte actualmente utilizadas en Guatemala.

Cuadro 5. Tensiones de las líneas de transporte en Guatemala

TENSIÓN	
Nominal KV	Máxima de diseño KV
69	72.5
138	145
230	242

Fuente: NTDOST 06

- **Distancia mínima de seguridad:** Para evitar problemas de descargas no controladas se debe limitar el contacto de personas con las líneas de alta tensión y/o impedir que estas entren en contacto con la propiedad pública o privada. El diseño de las líneas de alta tensión debe cumplir con los requisitos mínimos establecidos en los artículos 18 y 22 de las NTDOID en lo que corresponda. En el apartado: b. Distancias de seguridad, se profundiza sobre este tema.
- **Ruta:** Con el objetivo de efficientizar recursos, agilizar temas de montura y de mantenimiento el seleccionar la ruta de la línea de transmisión adecuada es importante. La optimización de la construcción de las líneas aéreas de energía eléctrica se realiza diseñando con la trayectoria de menor longitud, sin dejar por un lado la seguridad, operación, mantenimiento y accesibilidad. Por lo que el diseño deberá dar preferencia al trazo rectilíneo y la instalación de las estructuras deberá ser en lugares donde el tránsito vehicular no sea una amenaza, evitando riesgos de colisión sobre las mismas.

También se debe minimizar el número de cruzamientos con otros derechos de vías tales como: vías férreas, carreteras, instalaciones telefónicas o de vídeo, etc. En caso de ser necesario realizar cruces de vías, estos deberán llevarse a cabo perpendicularmente al derecho de vía. Está prohibido construir líneas aéreas de cualquier nivel de tensión sobre viviendas.

Es importante señalar las líneas cuando por razones de la topografía del terreno los vanos de las líneas sean muy largos, queden a alturas considerables de la superficie del suelo o cuando se construyan líneas aéreas en lugares de tránsito aéreo de baja altura (avionetas o helicópteros), los conductores deberán tener señalizaciones adecuadas para hacerlos visibles y evitar una colisión.

- **Estabilidad del sistema:** Deberá mantenerse un nivel de tensión, en todos los nodos del sistema de transporte, de conformidad con lo establecido en las Normas Técnicas de Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones –NTCSTS-

La potencia transportada por las Líneas de transmisión deberá permanecer por debajo de la potencia máxima de transporte que se determina aplicando los criterios de operación del AMM para garantizar la confiabilidad del sin o de los sistemas aislados.

En condiciones posteriores a fallas simples, entendiéndose por tales la falla de un elemento serie del SNI o de los sistemas aislados, la potencia transportada por las líneas de transmisión deberá permanecer por debajo del límite térmico del equipo correspondiente.

El Sistema de Transporte en Alta Tensión, en condiciones normales y frente a fallas simples deberá mantenerse transitoriamente estable para cualquier estado de carga;

El Sistema de Transporte en Alta Tensión en condiciones normales o con un equipo fuera de servicio deberá soportar una falla simple sin que se produzca el colapso del sistema eléctrico, entendiéndose por tal un desmembramiento no controlado que, en por lo menos uno de los subsistemas resultantes, provoca una interrupción total del servicio eléctrico

b. Distancias de seguridad

El artículo 18.5 de las Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución – NTDOID- contenidas en la resolución CNEE-47-99, emitida por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), establece las distancias mínimas que deben existir entre conductores de líneas aéreas, eléctricas y de comunicación. Asimismo, indica las distancias que estas deben mantener con sus soportes, retenidas, cables de guarda, etc.,

cuando están instalados en una misma estructura. La distancia horizontal mínima entre conductores y cables ya sea del mismo o diferente circuito, no debe ser menor a la especificada en la Tabla No. 1

Cuadro 6. Distancia horizontal mínima de separación entre conductores del mismo o de diferente circuito en sus soportes fijos.

CLASE DE CIRCUITO	DISTANCIA MINIMA DE SEGURIDAD EN cm	NOTAS
Línea de comunicación abierta	15 7.5	No aplica a transposiciones Permitido en casos donde el espacio entre pines es menor de 15 cm
Conductores eléctricos del mismo circuito: <ul style="list-style-type: none"> • De 0 a 8.7 kV. • De 8.7 a 50 kV. • Mayor de 50 kV. 	30 30 más 1.0 cm por cada kV en exceso de 8.7 kV. No hay valor especificado	
Conductores eléctricos de diferentes circuitos: <ul style="list-style-type: none"> • De 0 a 8.7 kV. • De 8.7 a 50 kV. • De 50 a 814 kV. 	30 30 más 1.0 cm por cada kV en exceso de 8.7 kV. 72.5 más 1.0 cm por cada kV de exceso de 50 kV.	Para todas las tensiones mayores de 50 kV, la distancia de separación deberá ser incrementada en 3 % por cada 300 m en exceso de 1,000 m sobre el nivel del mar. Todas las distancias para tensiones mayores de 50 kV Deberán ser basadas en la máxima tensión de operación.

Fuente: Artículo 18.5 de la NTDOID.

Cuadro 7. La distancia vertical mínima entre conductores y cables.

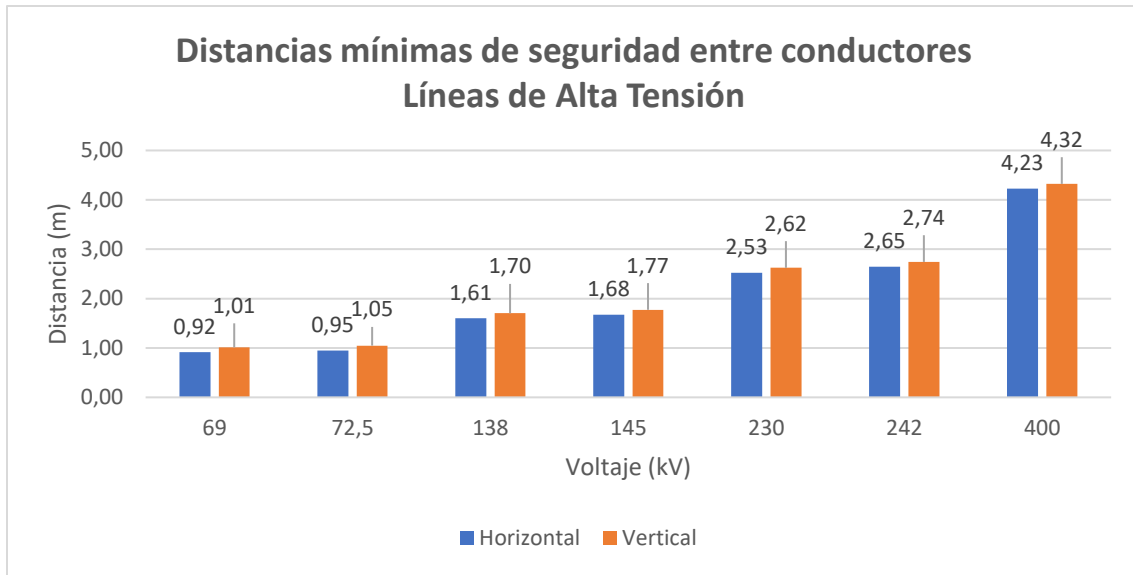
CONDUCTORES Y CABLES EN NIVELES INFERIORES	CONDUCTORES Y CABLES EN NIVELES SUPERIORES			
	CABLES DE SUMINISTRO QUE CUMPLEN CON 18.1C1,2 ó 3, CONDUCTORES NEUTRALES QUE CUMPLEN CON 18.1E1 (m)	CONDUCTORES DE SUMINISTRO ABIERTOS		
		De 0 A 8.7 kV (m)	MAS DE 8.7kV A 50 Kv (m)	
			MISMA EMPRESA (m)	DIFERENTE EMPRESA (m)
De Comunicación ▪ En general	1.00	1.00	1.00	1.00 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.
Eléctricos con tensión entre conductores de:				1.00 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.
• Hasta 750 V	0.41	0.41 ⁽¹⁾	0.41 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.	1.00 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.
• Más de 750 V Hasta 8.7 kV		0.41 ⁽¹⁾	0.41 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.	1.00 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.
• Más de 8.7 kV a 22 kV - si se trabaja con línea energizada - Si no se trabaja con línea energizada			0.41 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.	1.00 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV. 0.41 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.
• Más de 22 kV sin exceder 50 kV			0.41 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.	0.41 más 0.01 por kV de exceso de 8.7 kV.

Fuente: Artículo 18.5 de la NTDOID.

NOTA: Para tensiones entre 50 y 814 KV, la distancia entre conductores de diferentes circuitos debe ser incrementada 0.01 m por cada KV en exceso de 50 KV.

A continuación, se muestra la aplicación de los criterios definidos para las distancias de seguridad entre conductores de Líneas de transmisión en Alta Tensión, según los voltajes vigentes en Guatemala (elaboración propia).

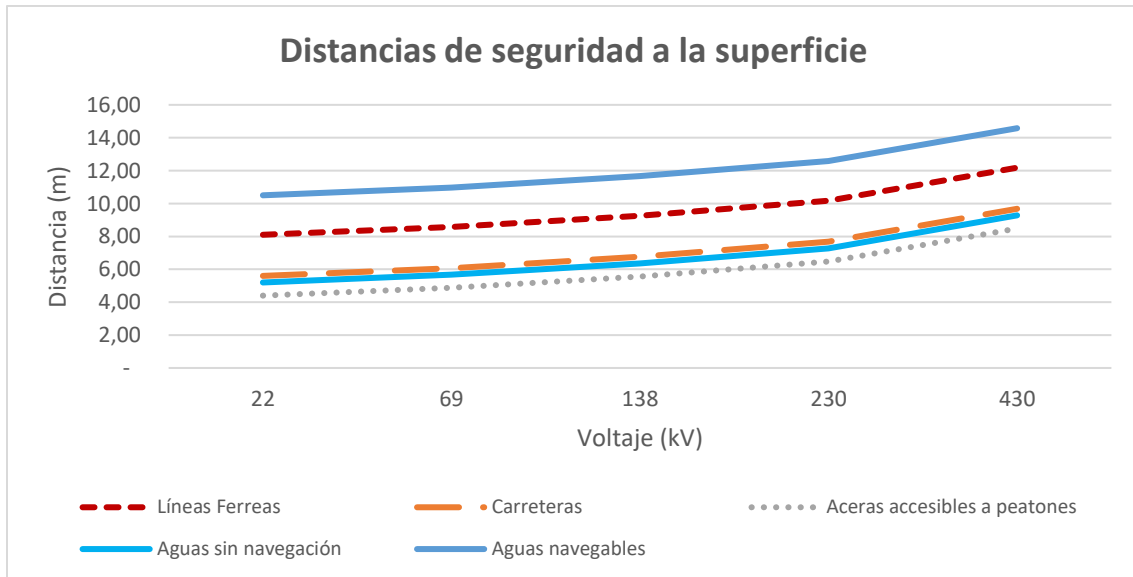
Ilustración 7. Muestra distancias de seguridad entre conductores en líneas de alta tensión.



Fuente: Elaboración propia, datos base de la NTDOID.

Asimismo, se muestra a continuación, las distancias de seguridad entre los conductores y superficie bajo los conductores.

Ilustración 8. Distancias de seguridad de los conductores respecto a las distintas superficies.



Fuente: Elaboración propia, datos base de la NTDOID.

D. Operación de líneas de transmisión

Con el fin de proteger de daños, al personal de las empresas transportistas, así como al público en general, durante el mantenimiento y operación de las Líneas de transmisión de energía eléctrica se debe cumplir como mínimo las siguientes reglas básicas establecidas en las NTDOID.

- Todos los trabajadores al momento de ser contratados deberán ser informados acerca de las normas de seguridad que gobiernan las líneas de energía eléctrica y subestaciones. En casos de emergencia los trabajadores tendrán que estar capacitados sobre procedimientos a seguir y las instrucciones relativas a los primeros auxilios que deban ser aplicadas a las víctimas de accidentes causados por corriente eléctrica.
- Únicamente personal autorizado tiene acceso a lugares energizados. Los diagramas eléctricos y planos de las Líneas de transmisión deberán de ser de fácil y rápido acceso. La vestimenta de los operarios deberá ser revisada constantemente para asegurarse de que siguen estando en condiciones seguras de operación.

1. Inspección y mantenimiento al sistema de transmisión

Quié se encarga de inspeccionar, garantizar la integridad, conveniente operación de las líneas y los equipos son las empresas transportistas de energía eléctrica. Las empresas de transporte deberán asegurar que sus líneas y equipos cumplan con los parámetros correctos. Así mismo, por su seguridad y el buen funcionamiento de las Líneas de transmisión deberá preocuparse en conservar en excelente estado su sistema. Es por ello por lo que como mínimo se debe de realizar una revisión de la totalidad de sus instalaciones en periodos no mayores a tres años.

a. Mantenimiento predictivo en las líneas de transmisión

Con este tipo de mantenimiento se trata de conseguir adelantarse a la falla o al momento en que el equipo o elemento a inspeccionar deja de operar en sus condiciones óptimas. Para lograr este objetivo existen diversas herramientas y equipos que dependen del sistema que se quiera examinar, este proceso se lleva a cabo en cualquier instante mientras el sistema se encuentre en pleno funcionamiento. En el caso de las Líneas de transmisión de energía eléctrica nos enfocaremos en las gramas de remate.

La implementación de este tipo de métodos requiere de inversión en equipo especial y en la capacitación de personal, sin embargo, logramos obtener ganancias ya que se disminuyen las paradas por mantenimientos preventivos y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción. Para más detalles sobre qué servicios se realizan en las líneas de transmisión consultar sección c. Cuadrillas de trabajo para Operación y Mantenimiento página 26.

2. Métodos y mecanismos de protección del personal

La necesidad de proteger a los operarios es de suma importancia ya que puede ser la vida de ellos la que puede correr riesgo al no cumplir con el equipo adecuado para el

mantenimiento de las Líneas de transmisión. El uso de herramientas para Líneas de transmisión ha ido aumentando constantemente debido a la natural expansión de estas. Los fabricantes de este tipo de herramientas deben cumplir tres requisitos estos son: excelentes cualidades aislantes, resistencia mecánica máxima y peso mínimo.

La calidad de una herramienta se pone a prueba examinando los siguientes requisitos:

- Resistencia mecánica
- Aislamiento
- Facilidad para manipularlas
- Adaptabilidad a los distintos tipos de construcción de líneas.

A continuación, se describen algunos tipos de herramientas y equipo de protección personal que existen para el mantenimiento.

a. Herramientas

Escopeta: Esta posee un mango deslizante que abre el gancho para agarrar el ojo de la grapa, retrayéndolo en la cabeza de la herramienta. Al operar esta pértiga se debe respetar las distancias de seguridad recomendada, pues el gancho y su mecanismo son metálicos.

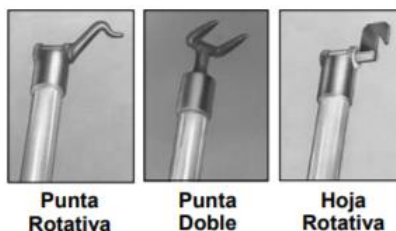
Ilustración 9. Pértiga tipo escopeta.



Fuente: Chance. *Catálogo de herramientas* p.2103

Amarre: Estas pértigas en su mayoría de epoxiglas tienen la particularidad de contar con diferentes tipos de cabeza para satisfacer las preferencias o necesidades del liniero. Son utilizadas para realizar amarres de lazo.

Ilustración 10. Pértiga tipo amarre.



Fuente: Chance. *Catálogo de herramientas* p.2115

Soporte de conductor: Se utiliza en donde es necesario correr y mantener los conductores energizados fuera del área de trabajo para mover las líneas a nuevas posiciones.

Ilustración 11. Pértiga para soporte de conductor.



Fuente: Chance. *Catálogo de herramientas* p.2106

Enlace: Existen de tensión, rodillo y de suspensión. Las de tensión básicamente se usan para soportar el peso de líneas pesadas cuando se cambian aisladores en extremos de líneas. Con enlace de rodillo se usa para separar líneas cuando se instalan o retiran postes en mitad de un claro. Por último, las de suspensión se utilizan para soportar el peso de las líneas y tomar la carga de los aisladores de suspensión en líneas de alto voltaje.

Ilustración 12. Enlaces.



Fuente: Chance. *Catálogo de herramientas* p.2252

Juego de tierra estática: Se encarga de descargar la carga de la cadena de aisladores a la torre por medio de un cable.

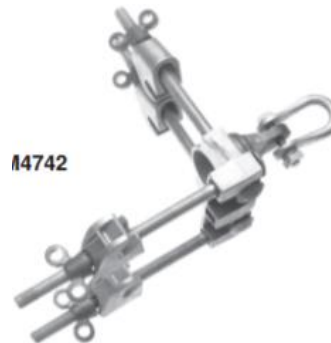
Ilustración 13. Juego de tierra estática.



Fuente: Chance. *Catálogo de herramientas* p.2259

Silleta para torre: Este elemento sirve para mantener las pértigas de soporte de conductor en las estructuras metálicas.

Ilustración 14. Silleta para torre.



Fuente: Chance. *Catálogo de herramientas* p.2207

Abrazadera con anillo giratorio para pértiga de soporte: Este tipo de accesorio se utiliza para maniobrar una pértiga por medio de otra.

Ilustración 15. Abrazadera con anillo giratorio para pértiga de soporte.



Fuente: Chance. *Catálogo de herramientas* p.2103

Escaleras de epoxiglas: Se utilizan para posicionar al liniero en la mejor ubicación para la realización de su trabajo, permitiendo la reparación de líneas en lugares con un difícil acceso.

Ilustración 16. Escalera de epoxiglas.



Fuente: Chance. *Catálogo de herramientas* p.2352

Cinturones portaherramientas: La función principal de este elemento es portar las herramientas que el liniero necesita para cumplir con el trabajo designado. Algunos cinturones cuentan con apoyo lumbar para aquellas personas que necesiten un soporte en la espalda.

Ilustración 17. Cinturones portaherramientas.



Fuente: Chance. *Catálogo de herramientas* p.2556

b. Equipo de protección personal

Botas conductoras: El liniero deberá hacer uso de este equipo cuando se trabaja desde una plataforma aérea, una escalera aislada, una escalera de acero y cuando se trabaja altas tensiones. Las botas son fabricadas de cuero.

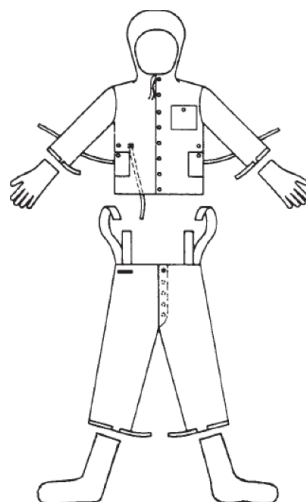
Ilustración 18. Botas conductoras.



Fuente: Chance. *Catálogo de herramientas* p.2554

Traje conductor: Este debe de usarse en cualquier momento durante el trabajo en línea viva. El traje se conecta directamente al conductor energizado colocando al liniero al mismo potencial sin que el liniero mismo actúe como un elemento conductor, facilitando trabajar directamente en los herrajes. Este traje cuenta con calcetas y guantes para manipulación de alta tensión.

Ilustración 19. Traje conductivo.



Fuente: Chance. *Catálogo de herramientas* p.2553

Casco: Los cascos de seguridad ofrecen protección para la cabeza y la cara para aplicaciones eléctricas. Los beneficios para el usuario son: protección contra arco eléctrico, protección de impacto directo sobre la cabeza, y en el caso de contar con escudo facial protege los ojos y boca de cualquier daño físico.

Ilustración 20. Casco de seguridad.



Fuente: MSA. *Catálogo de protección de la cabeza y facial para trabajadores eléctricos* p. 3

Gorro liniero: Protegiendo la integridad física de los linieros este elemento cumple con el objetivo de brindar protección ante exposiciones de arcos eléctricos, retardante de llamas y repelente de agua para trabajo de condiciones extremas.

Ilustración 21. Gorro liniero.



Fuente: MSA. *Catálogo de protección de la cabeza y facial para trabajadores eléctricos* p. 3

c. Cuadrillas de trabajo para operación y mantenimiento

Es un grupo de personas que cuenta con vehículos y herramientas necesarias para cumplir con las actividades de mantenimiento predictivo, correctivo y de atención de emergencias en líneas de transmisión de energía eléctrica.

Existen varios tipos de cuadrillas y cada una con diferentes integrantes y funciones, a continuación, se muestra la conformación típica de cuadrillas de mantenimiento para una empresa de transmisión de energía eléctrica en Guatemala:

- Cuadrilla de mantenimiento básico
- Cuadrilla de mantenimiento en línea viva
- Cuadrilla ayudantes

La cuadrilla de mantenimiento en línea viva, ejecuta las ordenes de trabajo asignadas por la empresa transportista de acuerdo con el programa de mantenimiento. Dentro de los trabajos de mantenimiento se encuentran los siguientes:

- Verificación de torque en conectores de líneas
- Cambio de conector o pase en línea viva en líneas de alta tensión
- Apertura, cierre y/o cambio de puentes de una línea
- Cambio de aisladores en cadena de suspensión
- Plomado de cadenas de aisladores de suspensión
- Traslado de líneas a estructuras auxiliares para variantes
- Cambio de aisladores soporte en seccionadores
- Pinado de herrajes y accesorios en estructuras
- Reparación de conductor con blindaje
- Reparación de conductor con camisa de reparación
- Instalación o cambio de contrapesos mecánicos

- Instalación y/o cambio de amortiguadores stockbridge
- Instalación y/o cambio de separadores rígidos o separadores amortiguadores
- Retiro de objetos extraños sobre la infraestructura
- Cambio de aisladores en cadena de suspensión

Para cumplir con los trabajos de mantenimiento antes mencionados una cuadrilla de línea viva típica está compuesta por el siguiente personal:

Cuadro 8. Personal de cuadrilla de línea viva.

ITEM	PERSONAL	CANTIDAD	OBSERVACIONES
1	Ingeniero Electricista	1	Es recomendable que cuente con al menos 2 años de experiencia en supervisión y coordinación de trabajos en línea viva en alta tensión.
2	Tecnólogo Especialista SSO	1	Es recomendable que cuente con al menos 1 año de experiencia en supervisión y coordinación de trabajos en línea viva en alta tensión.
3	Liniero de Línea viva	4	Calificación para ejecutar trabajos a Potencial y a distancia
4	Liniero Auxiliar de Línea viva	4	Calificación para ejecutar trabajos como auxiliares en actividades de mantenimiento en línea viva
5	Cuadrillero para línea viva	1	Calificación para supervisar trabajos en línea viva en niveles de tensión superior o igual a 230 kV

Fuente: TRECASA. *Transportadora de Energía de Centro América*, solicitud pública de ofertas de mantenimiento.

E. Características de materiales eléctricos

1. Materiales conductores

Son materiales cuya estructura electrónica les permite conducir la corriente eléctrica a temperatura ambiente. Su capacidad de conducción es inversamente proporcional a la temperatura, cabe resaltar que los conductores en su mayoría son metales. De acuerdo con su composición atómica, son materiales cuyas bandas de valencia y de conducción, se encuentran muy próximas entre sí, al grado de que, en algunos casos estas bandas se encuentran sobrepuestas. Los electrones de valencia en un átomo son los que se encuentran en el nivel energético más externo y ellos permiten los enlaces entre los átomos del mismo tipo en una molécula. Por otro lado, los electrones de conducción son los que se han promovido a niveles energéticos vacíos, lo que da lugar a su movilidad dando origen a las corrientes eléctricas.

2. Materiales semiconductores

Estos materiales tienen la capacidad de comportarse ya sea como un conductor o como un aislante, ya que a temperaturas muy bajas difícilmente conducen la corriente eléctrica convirtiéndose en un aislante. Efecto contrario se produce cuando su temperatura es elevada o al ser sometidos a un campo eléctrico externo, su comportamiento cambia al de los conductores.

3. Materiales dieléctricos (aislantes)

Son elementos no conductores cuyo objetivo principal es funcionar como aislante eléctrico, gracias a su baja conductividad eléctrica. Ante la aplicación de un campo eléctrico estos materiales al igual que en los metales, el campo origina un flujo de corriente. Sin embargo, este flujo es extremadamente pequeño comparado con el de los metales, dando lugar a que puedan usarse como aislantes eléctricos para cualquier elemento conductor. Una segunda reacción de estos materiales ante la presencia de un campo eléctrico es un desplazamiento de los centros de las cargas positivas y negativas, de manera que, si estas tienen un valor de carga, se creará un dipolo eléctrico. La suma de estos dipolos atómicos, en el volumen total del material, se emplea en la definición de la polarización eléctrica macroscópica, que es una cantidad fija para cada material.

Así, nos referimos a un material dieléctrico como a un material no conductor cuya polarización se debe únicamente a la presencia de un campo eléctrico. (Martin Jose, 1976)

4. Rigidez dieléctrica

Es el valor límite de la intensidad del campo eléctrico en el cual un material pierde su propiedad aislante. Por lo tanto, al sobrepasar este valor se forma un arco creando una

trayectoria conductora cuyo resultado es que el material dieléctrico se comporte como un material conductor.

A continuación, se muestra la rigidez dieléctrica de algunos polímeros a 20°C y con un contenido de agua de 0.2%.

Cuadro 9. Propiedades eléctricas de algunos polímeros

Polímero	Rigidez dieléctrica (kV/cm)
P.T.F.E	180
Poliétileno (LD)	180
Poliestireno	240
Polipropileno	320
P.M.M.A.	140
P.V.C.	240
P.V.C. (plastificado)	280
Nylon 66 *	145
Policarbonato	160
Fenólicas	100
Urea-formaldehído	120

Fuente: M. González (propiedades físicas y químicas de polímeros)

d. Voltaje de ruptura de un material dieléctrico

Matemáticamente el voltaje de ruptura de un material dieléctrico es igual a la rigidez dieléctrica del material multiplicada por el espesor de este material. (Cesar Izquierdo, 2014)

$$V = E(D) \quad (1)$$

En donde:

- V = voltaje de ruptura (Voltios)
- E = Rigidez dieléctrica (Voltios/metros)
- D = Espesor del material (metros)

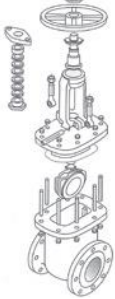
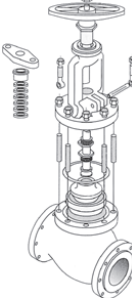
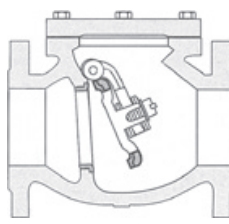
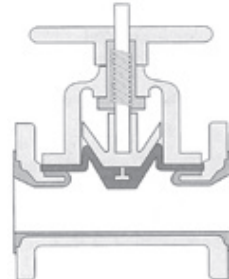
F. VÁLVULAS NEUMÁTICAS

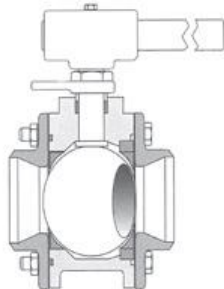
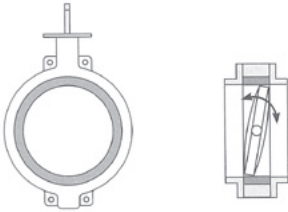
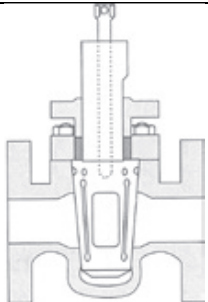
Las válvulas son elementos importantes para manejar cualquier tipo de fluido, estas permiten o impiden el paso de este. Las válvulas encargadas de hacerlo se le conocen como válvulas de cierre o de aislamiento. También existen otro tipo de válvulas que actúan sobre la presión o el caudal del fluido.

5. Válvulas de aislamiento

Este tipo de válvula cuenta con dos funciones principales la primera, permitir o detener el paso del flujo y la segunda regularlo. En la segunda función se incluye: el estrangulamiento, evitar la inversión del flujo y aliviar o regular la presión interna de un sistema. A continuación, se describen las más comunes. (Fisher, 2019)

Cuadro 10. Tipo de válvulas

No.	Nombre	Descripción	Imagen
1	Compuerta	Se utiliza para apertura/cierre de un sistema. Funcionan totalmente abiertas o cerradas dado que no resiste el desgaste por utilizarlas parcialmente abiertas.	
2	Globo	Válvula utilizada para la apertura/cierre del sistema, así como también para la regulación y estrangulamiento del flujo.	
3	Retención	También se conocen como unidireccionales, tienen la función principal de evitar la inversión del flujo en el sistema. Además, pueden cumplir con la función de abrir/cerrar el paso del flujo en función de cierta presión requerida.	
4	Diafragma	Abren/cierran y regulan el paso del fluido. La característica de este tipo de válvulas radica en que pueden manejar fluidos corrosivos y gracias a que todas sus partes móviles están aisladas del fluido son utilizadas en sectores farmacéuticos y alimenticios.	

No.	Nombre	Descripción	Imagen
5	Bola	Como lo indica su nombre, dentro del cuerpo de la válvula se encuentra una bola que se encarga de regular, abrir y cerrar el flujo. La bola presenta un orificio circular por su centro que cuando se gira $\frac{1}{4}$ de vuelta, el flujo se detiene.	
6	Mariposa	Presenta la ventaja de ser una válvula ligera y económica. Físicamente incorpora un disco plano y articulado en su centro que se cierra/abre en su totalidad con $\frac{1}{4}$ de vuelta. A diferencia de una válvula de compuerta esta si es capaz de regular el flujo.	
7	Obturador	También llamadas válvulas de llave cuentan con un obturador lateral cónico o en paralelo que gira $\frac{1}{4}$ de vuelta. Produciendo la apertura o cierre total del sistema.	

Fuente: Emerson Fisher (*Guías de válvulas de control*, 2019).

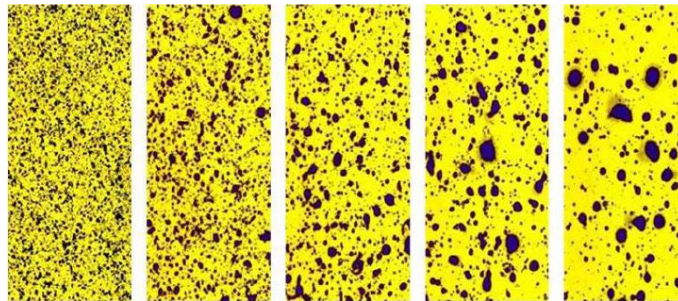
G. BOQUILLAS

Es el componente más delicado del prototipo, porque, si se tiene la geometría adecuada se logra una correcta aspersion de la pintura. Debido a que la boquilla se encarga de dividir la pintura líquida en pequeñas gotas que forman un patrón que es controlado con la forma que tenga la punta externa de la boquilla. Así mismo, en función a su geometría éstas pueden trabajar en un rango determinado de presiones. (Grisso, Hipkins, Askew, Hipkins & McCall, 2013)

Para el diseño de una boquilla es importante tomar en cuenta dos puntos importantes:

- El flujo volumétrico de pintura es proporcional a la viscosidad del fluido, tamaño del orificio y presión de operación en la boquilla.
- La calidad del acabado está directamente relacionada con el tamaño de las gotas producidas (Figura 22). Definidas por el diseño, presión de operación, el ángulo del abanico, y la cantidad de aire que pase a través de la boquilla. (Grisso, Hipkins, Askew, Hipkins & McCall, 2013)

Ilustración 22. Calidad del acabado en función al tamaño de las partículas de pintura.



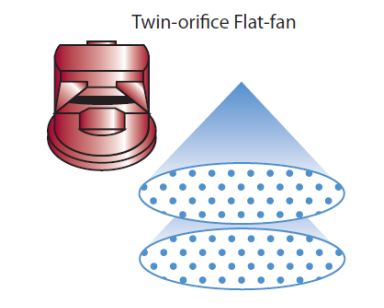
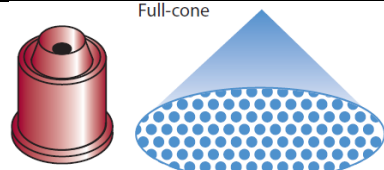
Fuente: Gordon (*Nozzle design and function*)

1. Tipos de boquillas

Las boquillas se definen de forma general por el patrón que éstas forman al dividir en pequeñas gotas el fluido. Las boquillas más comunes se mencionan a continuación.

Cuadro 11. Tipos de boquilla.

No.	Nombre	Descripción	Imagen
1	<i>Flat-fan</i>	Normalmente su presión de operación se encuentra entre 30 y 60 PSI con una presión óptima entre 35 y 45 PSI. El patrón es el de un ovalo alargado.	<p>Flat-fan</p>
2	<i>Extended range flat-fan</i>	Su presión de operación oscila entre 15 y 60 PSI. Ideal para aplicaciones que requieran ser uniformes a presiones bajas.	<p>Extended Range Flat-fan High Pressure Low Pressure</p>
3	<i>Even flat-fan</i>	Para aplicaciones muy uniformes con un ancho de abanico controlado con precisión, el cual cambian en proporción a la altura de separación de la boquilla. Presión de operación entre 20 y 60 PSI.	<p>Even Flat-fan</p>

No.	Nombre	Descripción	Imagen
4	<i>Twin-orifice flat-fan</i>	Con la característica de tener dos orificios, uno se encuentra 30 grados detrás del otro. Gotas muy pequeñas para mejorar penetración y cobertura del fluido. Presión de operación entre 30 y 60 PSI.	 <p>Twin-orifice Flat-fan</p>
5	<i>Full-cone</i>	Produce gotas grandes y su presión de operación se encuentra entre 15 y 40 PSI.	 <p>Full-cone</p>

Fuente: Grisso, Hipkins, Askew, Hipkins & McCall (*Nozzles: Selection and Sizing*, 2013)

H. PINTURA TERMOCROMÁTICA

Este tipo de pintura contiene pigmentos termocromáticos que su color y propiedades ópticas cambian reversiblemente en función a la temperatura de la superficie a la cual se aplicó. Las propiedades que se pueden alterar en la pintura son: cambios en el pH, conversión de tipo cristalino y cambios en la estructura molecular. La temperatura a la cual la pintura empieza a cambiar de color se le llama temperatura de transición. (Granadeiro *et al.*, 2020)

Un ejemplo bastante conocido de este tipo de pinturas se puede encontrar en la pintura de algunos carros. El artista alemán Rene Turrek ha hecho uso de pintura termocromática en carros para lograr este efecto. (Solera, 2015)

Ilustración 23. Ejemplo de uso de pintura termocromática.



Fuente: Solera (*Una pintura especial que esconde tu lado oculto*, 2015)

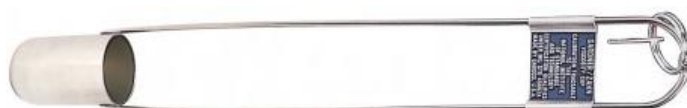
En el caso específico de la pintura termocromática High Voltage® esta tiene un color de apariencia verde cuando la temperatura es alrededor de 26°C y tiende a cambiar a un color amarillo de forma progresiva conforme va aumentando la temperatura.

Actualmente el uso de este tipo de pintura se usa en empresas que quieran o necesiten una forma de asegurar el funcionamiento y seguridad de sus equipos eléctricos.

I. COPAS ZAHN

El único propósito de este tipo de copas es determinar el valor de la viscosidad de líquidos. Están construidas de acero con alta resistencia a la corrosión, su forma se asimila al de una bala con un agujero en la punta (ilustración 24). Tienen la capacidad de retener un volumen de 48 ml. (*Dip Viscosity Cups, Zahn Type, n.d.*)

Ilustración 24. Copa Zahn.



El rango de viscosidad es determinado por el orificio que se encuentra ubicado en el extremo de la copa. Un asa de 12 pulgadas de largo permite sumergir la copa en contenedores de pintura. En la parte superior del asa se encuentra una placa que muestra el tamaño del orificio y/o el número de copa Zahn. El diámetro nominal de los orificios de las diferentes copas Zahn se muestran en la siguiente tabla. (*Dip Viscosity Cups, Zahn Type, n.d.*)

Cuadro 12. Número de copa, diámetro de compa y factores de conversión.

No. Copa	Diámetro (pulgadas)	Factores de conversión	
		K	C
1	.08	1.1	29
2	.11	3.5	14
3	.15	11.7	7.5
4	.17	14.8	5
5	.21	23	0

Fuente: *Brookfield Engineering Laboratories Inc. (Dip Viscosity Cups, Zahn Type)*

Estas copas son robustas y fáciles de operar. Se pueden utilizar con una amplia variedad de líquidos, Los rangos de viscosidad que son capaces de determinar van desde los 20 a 1800 centistokes (cSt). El rango de viscosidad de cada copa y su aplicación se muestran en la siguiente tabla. (*Dip Viscosity Cups, Zahn Type, n.d.*)

Cuadro 13. Número de copa, rango de viscosidad y aplicación.

No. Copa	Rango de viscosidad (cSt)	Aplicación (material)
1	60 máximo	Líquidos muy delgados
2	20-230	Aceites delgados, pinturas, lacas
3	150-850	Aceites, mezcla de pinturas, esmaltes
4	220-1100	Líquidos viscosos
5	460-1840	Líquidos extremadamente viscosos

Fuente: *Brookfield Engineering Laboratories Inc. (Dip Viscosity Cups, Zahn Type)*

V. METODOLOGÍA

A. DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍA

1. Determinación de los puntos “puntos calientes” en las líneas de transmisión de 230 kV en Guatemala.

Se realizó una investigación bibliográfica a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) de Guatemala en la cual se procedió a descargar el formulario de solicitud de información pública que se encuentra en la página <https://www.cnee.gob.gt/wp/informacion-publica/> por consiguiente se procedió a llenar todos los campos de este formulario con la información requerida. Dicha información se describe en la Ilustración 45 en la sección “C” de anexos.

Como respuesta a esta solicitud se recibieron nueve documentos de los cuales ocho contenían información detallada de las empresas transportistas. De estos documentos se obtuvo la información detallada en el Cuadro 3.

B. DEFINIR REQUISITOS DEL DISEÑO

Para orientar el proceso de diseño se definieron los requisitos que debe alcanzar la bomba. Para esto se estableció el usuario, uso final del producto, lugar de aplicación, y circunstancias de aplicación. Específicamente para este proyecto, se diseñó una bomba con la capacidad de pintar. Este será utilizado por los linieros en las torres de transmisión de alta tensión. A continuación, se presenta un cuadro que establece los requisitos que debe cumplir la bomba.

Cuadro 14. Requisitos de la bomba

CÓDIGO	VARIABLE	REQUERIMIENTO	COMENTARIO
R-U	Usuario	Debe poder ser utilizado y manipulado por linieros.	Se debe considerar la vestimenta de los linieros, para que sea un mecanismo de fácil accionamiento
R-M	Material de construcción	Debe ser capaz de comportarse como un material aislante al voltaje de diseño de 242 KV	Teniendo en cuenta la seguridad de los linieros se debe asegurar que la bomba en su conjunto sea capaz de comportarse como un aislante al voltaje requerido

CÓDIGO	VARIABLE	REQUERIMIENTO	COMENTARIO
R-S	Seguridad	Su uso debe cumplir con la distancia de seguridad vertical y horizontal dictada por la comisión nacional de energía eléctrica (CNNE) en el artículo 18.5 del NTDROID. Tomando la máxima que es de 2.62 metros	Esta distancia es de extremo a extremo de la bomba
R-B	Boquilla	Debe de tener la capacidad de trabajar a presiones menores a 45 PSI.	Considerando que será una bomba manual no se cuenta con la capacidad de lograr presiones muy elevadas (100 PSI o más).
R-P	Presión de trabajo	La presión mínima de pulverización es de 15 PSI	La presión mínima la dicta el tipo de boquilla a utilizar y la viscosidad del fluido de trabajo.
R-V	Volumen de trabajo	El volumen de trabajo de la bomba debe de ser mayor a 250 in ³ .	El mecanismo de apertura debe de instalarse lo más cercano a la boquilla

Fuente: Elaboración propia.

C. FUNCIONAMIENTO GENERAL

1. Introducción

Para cumplir el objetivo del presente trabajo, se pretende diseñar y construir un prototipo que permita la aplicación de pintura High Voltaje® a una distancia segura de las instalaciones de transmisión de energía eléctrica. Para este efecto es necesario realizar un proceso que permita transformar la pintura de su estado líquido natural hacia pequeñas partículas que faciliten la adherencia idónea de la pintura en la superficie del área objetivo por medio del diseño de una cámara presurizada y de una boquilla idónea para tal fin.

Este prototipo debe tener la capacidad de pulverizar la pintura termocromática High Voltage® y ser capaz de alcanzar los herrajes en las torres de 230 kV a una distancia de 2.62 metros, cumpliendo con las normas de diseño y operación para instalaciones de transmisión de energía eléctrica. Para esto se pensó implementar un sistema muy parecido al de una bomba manual para fumigar, la cual tiene la capacidad de atomizar agua. Esta idea inicial

cuenta con bomba neumática manual para generar presión; tanque, para almacenar la mezcla y aire; manguera, para conducir el fluido; boquilla, para atomizar; por último, una válvula para abrir y cerrar el paso de presión.

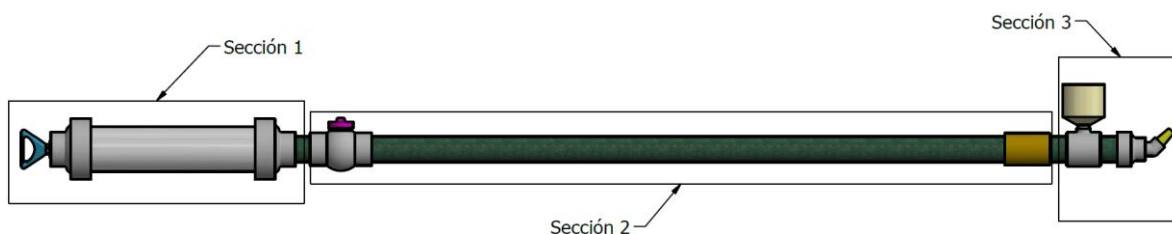
La principal diferencia entre el prototipo para aplicar pintura termocromática y la bomba para fumigar radica en la ubicación del fluido a ser atomizado. En una bomba para fumigar, el mismo tanque es el encargado de almacenar este fluido, en este prototipo el recipiente encargado de almacenar el fluido se encuentra a pocos centímetros de la boquilla, reduciendo significativamente las pérdidas por fricción en las paredes de la tubería, teniendo en cuenta que la tubería del prototipo tendrá una longitud mínima de dos metros.

Algo importante a mencionar es el accionamiento de la válvula de paso. Esta una válvula de bola, la cual se encuentra ubicada al alcance del liniero y siempre estará abierta permitiendo el paso del aire en todo momento. El elemento encargado de permitir el paso del aire presurizado es una válvula unidireccional ubicada detrás del recipiente de pintura. La válvula unidireccional se encuentra conectada con la válvula de bola mediante un cable. Al girar 1/8 de vuelta la válvula de bola, la válvula unidireccional abrirá el paso del aire presurizado. El propósito de esto es: tener más volumen de almacenamiento y reducir pérdidas por fricción de la pintura.

2. Esquema y descripción general del diseño

Con anterioridad se mencionaron algunos componentes principales de la bomba, los cuales están divididos en las tres secciones que se mencionan a continuación (Ilustración 25). Es importante mencionar que este diseño está pensado para que funcione con pintura termocromática High Voltage® sin embargo por no contar con el volumen de pintura suficiente las pruebas se realizaron con pintura para interiores a base de agua de la marca corona. Este prototipo se piensa llevarlo a cabo con material polipropileno por lo tanto los códigos y dimensiones están extraídos directamente del catálogo “VASEN PPR *pipng system*”. (VASEN PPR *PIPING SYSTEM*, n.d.)

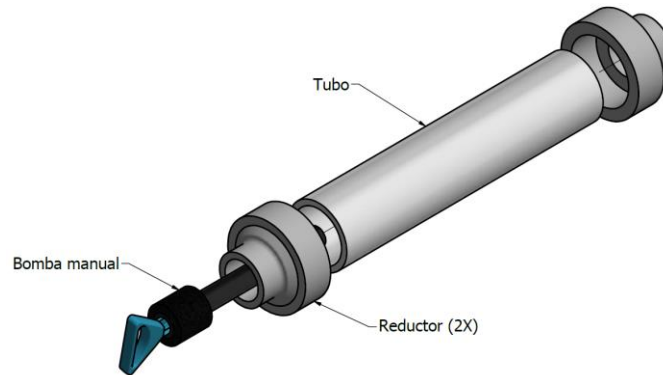
Ilustración 25. Esquema general de la bomba.



Fuente: Elaboración propia.

- Sección 1: Está compuesta por 4 elementos: una bomba manual, dos reductores y un tubo (Ilustración 26). La función principal de esta sección es la de generar presión en el sistema, al mismo tiempo se desempeña como almacenamiento principal de aire presurizado.

Ilustración 26. Esquema de la sección 1.



Fuente: Elaboración propia.

Se seleccionó un tubo con un diámetro de 110 mm gracias a que es una medida que otorga un agarre óptimo para la mano de una persona y cuenta con una longitud de 520 mm para no comprometer el peso ni la comodidad de operación. Su designación S5 (SDR11) es la que cumple con el requisito de espesor de pared mínimo (sección a. Cálculos de espesor mínimo, pág. 48).

Una bomba interna manual (3. Criterio de selección de componentes importantes, páginas 46-47) se utiliza gracias a que es un elemento común que se puede encontrar en la mayoría de las ferreterías. Los reductores de 110 mm a 63 mm son los indicados para lograr hacer la conexión del tubo principal de 110 mm con la bomba manual y con la sección 2 (Ilustración 27).

Lo que se espera con esta sección es lograr generar una presión por fuerza de empuje. Gracias a la ecuación 2 se puede determinar la presión máxima teórica que se puede alcanzar con el prototipo. Conociendo el diámetro de la bomba y la fuerza promedio de empuje que un humano puede generar. La fuerza máxima de empuje promedio es de 11.779 kgf (15 Newton). (Barbosa Quintero, 2004)

$$P = \frac{F}{A} \quad (2)$$

En donde:

- P = Presión (Pa)
- F = Fuerza de empuje (Newtons)
- A = Área (metros cuadrados)

Por lo tanto, la presión máxima teórica del prototipo se define en el Cuadro 15. Las dimensiones de la bomba manual se detallan en la sección: C. Fabricación del prototipo de PVC.

Cuadro 15. Presión máxima teórica.

VARIABLE	VALOR	DIMENSIONALES
Fuerza	15	Newtons
Área del pistón de la bomba	0.001140	Metros cuadrados
Presión máxima	100,869.07	Pascales
Presión máxima	14.63	PSI

Fuente: Elaboración propia.

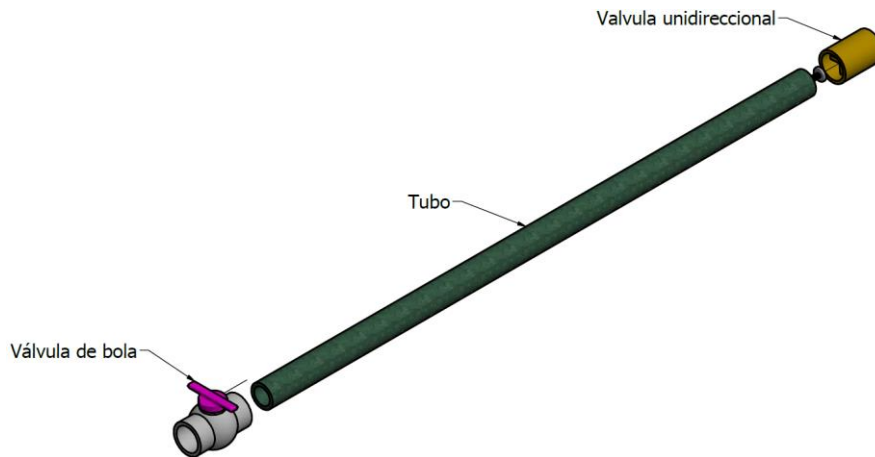
Cuadro 16. Componentes principales para la sección 1.

No.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Bomba interna manual de repuesto
2	2	Reductores WXR110 D110/63 mm
3	1	Tubo de Ø110 mm x 520 mm longitud S5 (SDR11)

Fuente: Elaboración propia.

- Sección 2: De igual forma esta sección está compuesta por 4 elementos: una válvula de bola, un tubo, una válvula unidireccional y un cable interno de longitud constante. El cable se encuentra fijado de un extremo a la válvula unidireccional y por el otro extremo está fijo en la parte posterior de la válvula de bola. El objetivo de esta sección es el de cumplir con la longitud de seguridad para torres de transmisión de alta tensión, almacenamiento de aire presurizado y se encarga de accionar el funcionamiento de la bomba. Debido a que la válvula de bola se encuentra abierta esto permite que el aire se presurice de igual forma en las secciones 1 y 2. Por lo tanto el sistema es accionado al girar la válvula de bola y esta obliga al cable interno a desplazar la válvula unidireccional.

Ilustración 27. Esquema de la sección 2.



Fuente: Elaboración propia.

Se optó por utilizar la válvula de bola (3. Criterio de selección de componentes importantes, páginas 46-47) por su fácil acceso de compra, su bajo costo, fácil instalación y accionamiento sencillo. El tubo de 63 mm de diámetro es el que se acopla a los reductores descritos en la sección 1 y cuenta con la longitud de 175 cm para cumplir con el requisito de distancia de seguridad, su designación S3,2 (SDR7,4) es la designación que cumple con el espesor de pared mínimo (sección a. Cálculos de espesor mínimo, pág. 49).

En cuanto a la válvula unidireccional, es la que cumple con las necesidades del sistema debido a que permanece cerrada hasta que el operario decida abrirla. Gracias a esta válvula es que se puede hacer uso de un cable interno. Este al ser de longitud constante, se ve obligado a accionar la válvula unidireccional cuando se gira la válvula de bola.

Cuadro 17. Componentes principales para en la sección 2.

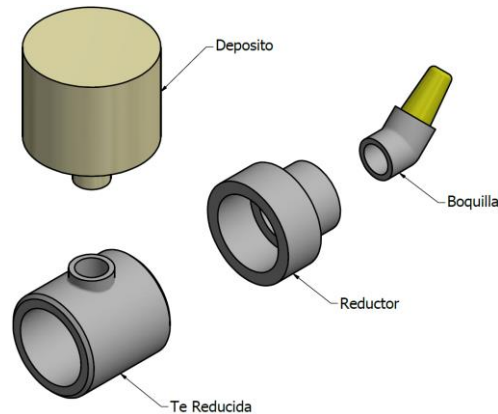
No.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Válvula de bola de 2 ½"
2	1	Tubo de Ø63 mm x 175 cm longitud S3,2 (SDR7,4)
3	1	Válvula unidireccional de 2½"
4	1	Cable interno

Fuente: Elaboración propia.

- Sección 3: Esta sección tiene el objetivo de almacenar la pintura y de lograr atomizarla para lograr pintar la superficie. En esta sección se encuentran los

siguientes elementos: una Te reducida, un reductor, un depósito y una boquilla para pulverizar la pintura.

Ilustración 28. Esquema de la sección 3.



Fuente: Elaboración propia.

El siguiente componente es la Te reducida, su función es conectar el depósito del sistema el cual cuenta con un diámetro de unión 25 mm. Un reductor de 63 mm a 25 mm que sirve de unión entre la boquilla y la Te reducida (Ilustración 28).

La boquilla es del tipo *extended range flat-fan* (3. Criterio de selección de componentes importantes, páginas 46-47) gracias a su baja presión de trabajo siendo de 15 PSI, esta cuenta con un codo de 45° para facilitar la aplicación de la pintura.

Cuadro 18. Materiales principales utilizados en la sección 3.

No.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Te reducida WXR310 D63/25/63
2	1	Depósito
3	1	Reductor WXR120 D63/25
4	1	Boquilla <i>Extended range flat-fan</i> orificio de 1.8 mm con conexión a 45°

Fuente: Elaboración propia.

3. Criterio de selección de componentes importantes.

- Bomba interna manual

A pesar de las diferentes formas de generar presión de forma manual, uno de los requisitos es que el prototipo debe de ser capaz de funcionar como un aislador de energía eléctrica a 242 kV por lo que el material era una limitante.

Por otro lado, se buscaba que su accionamiento fuera de forma sencilla y fácil de realizar, por lo que se pensó en un mecanismo de corredera (pistón-cilindro) cómo los

infladores de neumático. Sin embargo, esto implicaba la necesidad de una válvula neumática unidireccional para permitir el ingreso de aire en un solo sentido.

Buscando un mejor mecanismo se encontró que los repuestos para bombas de fumigar en el área de agropecuaria funcionan con un mecanismo de pistón-cilindro. Pero estos cilindros cuentan con un sello de elastómero en uno de sus extremos (Ilustración 29), el cual se separa de la pared del cilindro para permitir el ingreso de aire presurizado (empujar el pistón) y forma un sello hermético cuando se procede a jalar el pistón.

Ilustración 29. Mecanismo para presurizar el prototipo



Fuente: Elaboración propia.

- Válvula de bola

Tomando en cuenta todas las válvulas descritas en el Cuadro 10, se descartaron las válvulas tipo compuerta, de globo y de diafragma por su accionamiento poco amigable con los linieros. Debido a que para su apertura o cierre es necesario girar más de una vuelta la llave.

Por otro lado, para la apertura o cierre de la válvula de tipo mariposa al igual que la válvula de bola solo es necesario girar la llave $\frac{1}{4}$ de vuelta y ambas son capaces de regular el flujo. Pero existen 2 desventajas por parte de la válvula de tipo mariposa, una es su instalación, ya que necesita de bridas para poder acoplarse de forma correcta a la tubería, eso significa un mayor trabajo. La otra desventaja es su tamaño y el material en el que se encuentran en el mercado de Guatemala ya que en su gran mayoría son de metal.

Es por eso por lo que se seleccionó la válvula de bola para el prototipo.

- Boquilla

Tomando como referencia las boquillas descritas en el Cuadro 11, se descartaron las boquillas *flat-fan*, *even flat-fan* y *twin-orifice flat-fan* debido a que la presión de operación

(entre 20/30 y 60 PSI) era mayor a la presión de operación de las boquillas tipo *full-cone* y *extended range flat-fan* (entre 15 y 60 PSI). Sin embargo, el patrón de aspersión es muy importante por lo que se terminó por descartar la boquilla tipo *full-cone*. Es por ello que se seleccionó la boquilla *extended range flat-fan*.

4. Diseño final del prototipo y cálculos

El diseño final del prototipo es el que se muestra en la Ilustración 30 el cual se fabricó de PVC por su accesibilidad económica y no de polipropileno. Es por ello que algunos componentes pueden variar físicamente, sin embargo, se mantiene el mismo diseño y la misma funcionalidad.

Una característica importante de este prototipo es que sus tres secciones se pueden montar y desmontar, esto es porque las uniones entre cada sección son roscadas.

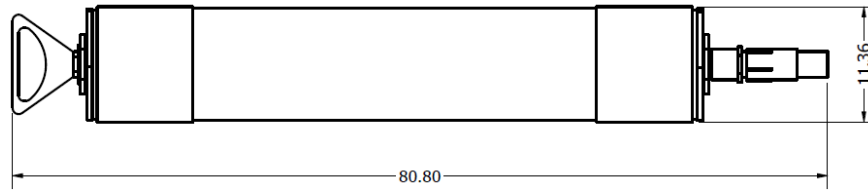
Ilustración 30. Prototipo real de PVC.



Fuente: Elaboración propia

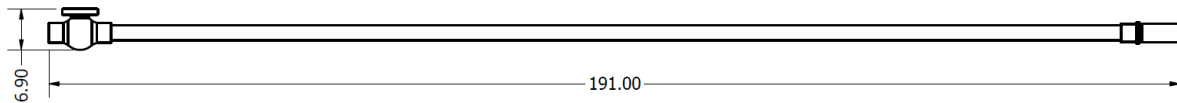
A continuación, se presentan cada una de las secciones con sus dimensiones generales. Todas las dimensiones presentadas son en centímetros. Para información detallada de componentes de cada sección revisar la sección: C. Fabricación del prototipo de PVC.

Ilustración 31. Dimensiones generales de la sección 1.



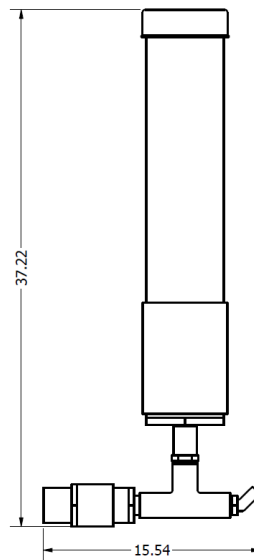
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 32. Dimensiones generales de la sección 2.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 33. Dimensiones generales de la sección 3.



Fuente: Elaboración propia.

a. Cálculos de espesor mínimo

Para el diseño del prototipo se contempla el material con la mayor rigidez dieléctrica el cual es el polipropileno (Cuadro 9). Esto con el objetivo de tener menor material para cumplir con los requisitos de aislamiento. Por otro lado, las características del polipropileno lo hacen un material idóneo, por ejemplo, su baja densidad tan solo de 0.90 g/cm^3 lo que se

traduce a un peso ligero, también su larga vida útil cuando la temperatura de trabajo es de 70°C y 140 PSI puede llegar alrededor de 50 años.

El cálculo para determinar el espesor de pared está definido mediante la ecuación (1). Por lo tanto, el espesor de pared mínimo es el siguiente:

$$D = \frac{V}{E}$$
$$D = \frac{242 [KV]}{320 \left[\frac{KV}{cm}\right]}$$
$$D = 0.75625 [cm]$$

Esto quiere decir que todos los elementos de polipropileno a ser utilizados deben de cumplir con un espesor de pared mínimo de 7.6 milímetros.

Por otro lado, el prototipo real se llevará a cabo con policloruro de vinilo (PVC) el cual cuenta con una rigidez dieléctrica de 240 kV/cm (cuadro 9) por lo tanto el espesor de pared mínimo en este caso es el siguiente:

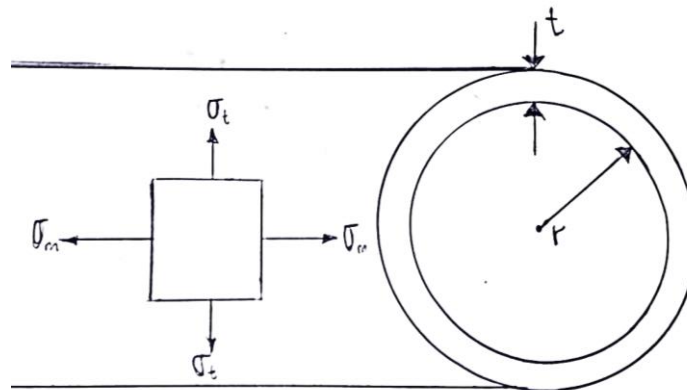
$$D = \frac{242 [KV]}{240 \left[\frac{KV}{cm}\right]}$$
$$D = 1.00833 [cm]$$

b. Cálculos de esfuerzos sobre las paredes

Así mismo, es importante asegurarnos de que el prototipo sea seguro, puesto que la presión dentro de los elementos presurizados tiende a generar esfuerzos de tensión en las paredes de estos. Por ende, a continuación, se presentan los cálculos pertinentes.

Un cilindro presurizado de forma uniforme como lo es el presente caso está sometido a dos tensiones, tensión meridiana “ σ_m ” y tensión circunferencial “ σ_t ” (Ilustración 34). (Otegui & Rubertis, 2012)

Ilustración 34. Diagrama de los esfuerzos meridiano y circunferencial.



Fuente: Elaboración propia.

Para la tensión circunferencial en la superficie lateral del depósito tenemos la siguiente ecuación:

$$\sigma_t = \frac{p r}{t} \quad (3)$$

Donde:

- p = presión dentro del recipiente (PSI).
- r = radio del cilindro (pulgadas).
- t = espesor de pared del cilindro (pulgadas).

Para calcular el esfuerzo meridiano “ σ_m ” se hará uso de la fórmula de Barlow:

$$\sigma_t = \frac{p r}{2 t} \quad (4)$$

Donde:

- p = presión dentro del recipiente (PSI).
- r = radio del cilindro (pulgadas).
- t = espesor de pared del cilindro (pulgadas).

Al comparar las ecuaciones 3 y 4 se concluye que el mayor esfuerzo se produce en las paredes circulares de los tubos “ σ_t ”. Claramente se puede deducir que el esfuerzo es inversamente proporcional al espesor de pared de la tubería, directamente proporcional a la presión interna y al radio del tubo.

Se procede a calcular el esfuerzo máximo teórico al cual el material polipropileno estaría sometido. Se tomarán los datos del tubo de mayor diámetro en este caso es el tubo de la sección 1 (Cuadro 16) el cual cuenta con un diámetro de 110 milímetros y un espesor de pared de 10 milímetros (Cuadro 26 pág. 62). Teniendo en cuenta que la presión máxima teórica es de 14.63 PSI (Cuadro 15) el esfuerzo circunferencial teórico es el siguiente.

$$\sigma_t = \frac{206,843[Pa] 110[mm]}{10 [mm]}$$

$$\sigma_t = 2.2753 [MPa]$$

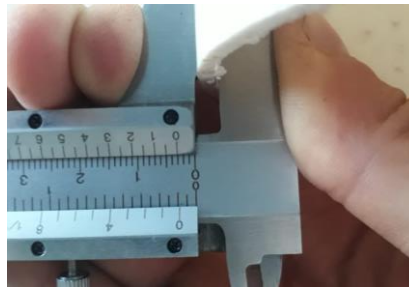
Con esta información se puede obtener el factor de seguridad, ya que el valor de la tensión a tracción en fluencia (esfuerzo máximo del material) está dado por el Cuadro 25 pág. 62. Por consiguiente, el factor de seguridad es:

$$F_s = \frac{24 [MPa]}{2.2753 [MPa]}$$

$$F_s = 10$$

Por otro lado, teniendo en cuenta que el material de fabricación real del prototipo es de PVC se procede a calcular los esfuerzos de este material. Se seleccionó el mismo componente que se analizó para el polipropileno, el tubo principal de la sección 1. El diámetro nominal es de 4 pulgadas y el espesor de pared es de 3 milímetros (Ilustración 34).

Ilustración 35. Espesor de pared del PVC de 4 pulgadas.



Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, el esfuerzo máximo teórico para el prototipo de PVC es el siguiente:

$$\sigma_t = \frac{206,843[Pa] 101.60[mm]}{3 [mm]}$$

$$\sigma_t = 7.01[MPa]$$

Con esta información también es posible obtener un factor de seguridad ya que el valor de la tensión a tracción en fluencia (esfuerzo máximo del material) para el PVC es de 54 MPa por lo tanto, el factor de seguridad en este caso es el siguiente: (Policloruro de Vinilo (PVC), n.d.)

$$F_s = \frac{54 [MPa]}{7.01 [MPa]}$$

$$F_s = 7$$

c. Cálculos sobre pérdida de presión

Con el fin de asegurarnos de que la pérdida de presión por la viscosidad de la pintura no sea significativa (menor al 10%). Se procede a calcular la pérdida en la sección tres ya que es la única sección que trabaja con pintura.

Como punto de partida tenemos la Ecuación 5 la cual establece la pérdida de presión en una tubería. (Çengel & Cimbala, 2012)

$$\Delta P = f \frac{L \rho V_{prom}^2}{D} \quad (5)$$

Donde:

- f = Factor de Darcy
- L = Longitud de la tubería
- D = Diámetro de la tubería
- ρ = Densidad del fluido
- V = Velocidad promedio del fluido

Condiciones iniciales:

- Fluido de trabajo se considera incompresible.
- El fluido de trabajo se encuentra completamente desarrollado.

En cuanto a las variables descritas en la ecuación 5, la longitud de la sección (L) es de 15.5 centímetros (Ilustración 32) y el diámetro (D) es de ½ pulgada (sección: C. Fabricación del prototipo de PVC).

La variable de la densidad de la pintura se determinó con la ecuación 6, los datos utilizados para la masa y volumen se obtienen directamente de la página de corona. (2021)

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (6)$$

Donde:

- m = masa de la pintura
- v = volumen

Por lo tanto, la densidad de la pintura utilizada es la siguiente:

$$\rho = \frac{4.776 [kg]}{0.003785 [m^3]}$$

$$\rho = 1261.686 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

La información para la variable velocidad promedio (V_{prom}) se obtuvo de la prueba denominada “Obtención del caudal” (Cuadro 24) ya que:

$$Q = V_{prom} * A \quad (7)$$

$$V_{prom} = \frac{Q}{A}$$

Donde:

- Q = caudal
- A = área

Por lo tanto, la velocidad promedio es la siguiente:

$$V_{prom} = \frac{0.00000764 \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\pi * 0.00635^2 [m^2]}$$

$$V_{prom} = 0.0603 \left[\frac{m}{s} \right] = 6.03 \left[\frac{cm}{s} \right]$$

Para la última variable que es factor de Darcy (f) primero es necesario obtener el número de Reynolds. El cual está definido por la Ecuación (8). (Çengel & Cimbala, 2012)

$$Re = \frac{v_s D}{\nu} \quad (8)$$

Donde:

- v_s = Velocidad del fluido
- D = Diámetro de la tubería
- ν = viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática también se encuentra en la página de pinturas corona por lo que el número de Reynolds tendría el siguiente valor:

$$Re = \frac{0.0603 \left[\frac{m}{s} \right] 0.0127 [m]}{0.0010303 \left[\frac{m^2}{s} \right]}$$

$$Re = 0.7433$$

Para aquellos valores de Reynolds menores a 2,300 son considerados como fluido laminar, es por eso por lo que para determinar el factor de Darcy se puede utilizar la Ecuación (9). (Çengel & Cimbala, 2012)

$$f = \frac{64}{Re} \quad (9)$$

$$f = 86.1$$

Ahora con todas las variables resueltas se procede a calcular la pérdida de presión con la ecuación (5).

$$\Delta P = (86.1) \frac{15.5(cm)}{1.27(cm)} \frac{1,261.686 \left(\frac{kg}{m^3}\right) 0.0603 \left(\frac{m}{s}\right)}{2}$$

$$\Delta P = 2,410.388 \text{ (Pa)} = 0.35 \text{ (PSI)}$$

d. Cálculos del volumen máximo a del prototipo a presión atmosférica

Como se mencionó con anterioridad las secciones que se harán cargo del almacenamiento de la presión son las secciones 1 y 2. Debido a que ambas secciones son circulares se puede hacer uso de la ecuación 10 se puede encontrar el volumen máximo de ambas secciones. El volumen que se detalla a continuación es para el prototipo real de PVC.

$$\text{Volumen} = \Pi * r^2 * L \quad (10)$$

Donde:

- Π = Número Pi
- r = radio
- L = largo de la tubería

Para la sección 1 el volumen es el siguiente

$$\text{Volumen} = \Pi * 2^2(in^2) * 20.5(in)$$

$$\text{Volumen} = 267.61(in^3)$$

Para la sección 2 el volumen es el siguiente

$$\text{Volumen} = \Pi * 0.5^2(in^2) * 68.9(in)$$

$$\text{Volumen} = 54.114(in^3)$$

Por consiguiente, el volumen máximo a presión atmosférica es el siguiente

$$\text{Volumen} = 321.724 (in^3)$$

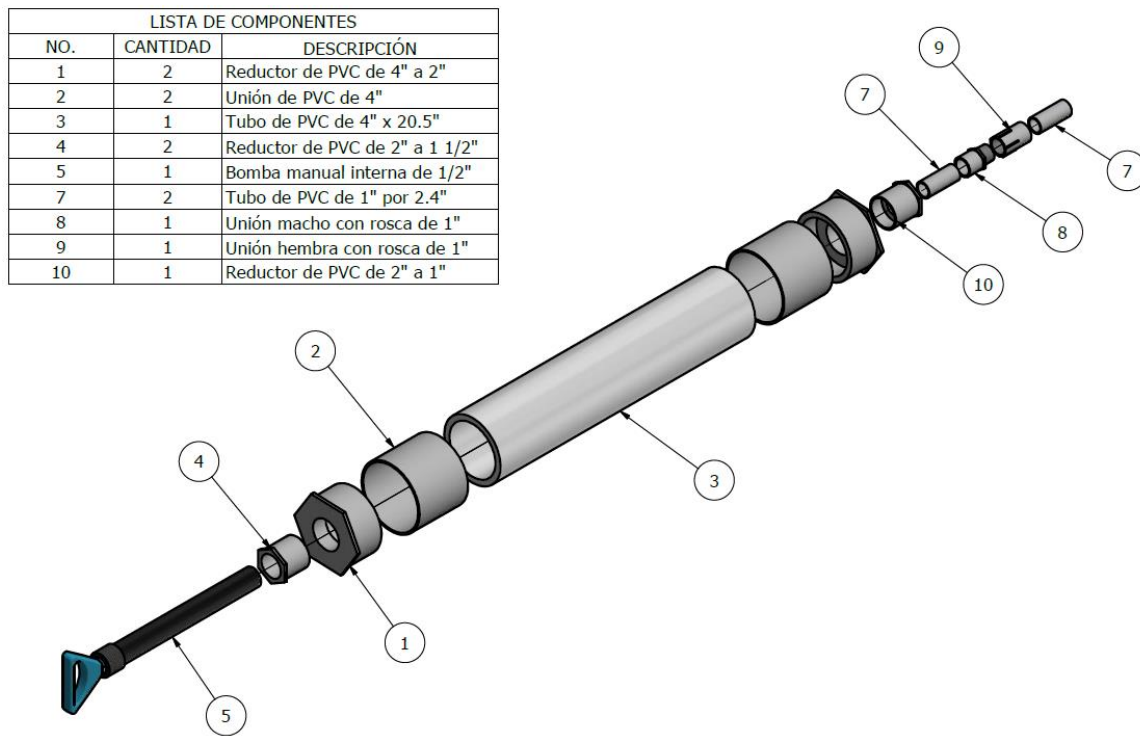
D. FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO DE PVC

Para la fabricación del prototipo de PVC se tendrá en cuenta que existen dos tipos de uniones; uniones lisas y uniones roscadas. Para las uniones lisas se hizo uso de pegamento para tubería PVC y para las uniones roscadas se hizo uso de teflón. El teflón para garantizar un sello hermético.

1. Fabricación sección 1

Todas las uniones de la sección 1 son lisas a excepción de la unión entre el componente 8 y el componente 9 (Ilustración 35). Para las uniones lisas se procede a lijar las áreas de contacto con lija #220, continuando con la aplicación de pegamento para tubería PVC e inmediatamente después de aplicar el pegamento se procede a unir las piezas. En el caso de la sección roscada antes mencionada se procede a aplicar teflón de ½" aplicando unas 5 revoluciones en la rosca macho. En anexos sección "C" se encuentran las fotos reales del prototipo como referencia.

Ilustración 36. Explosión y componentes de la sección 1.



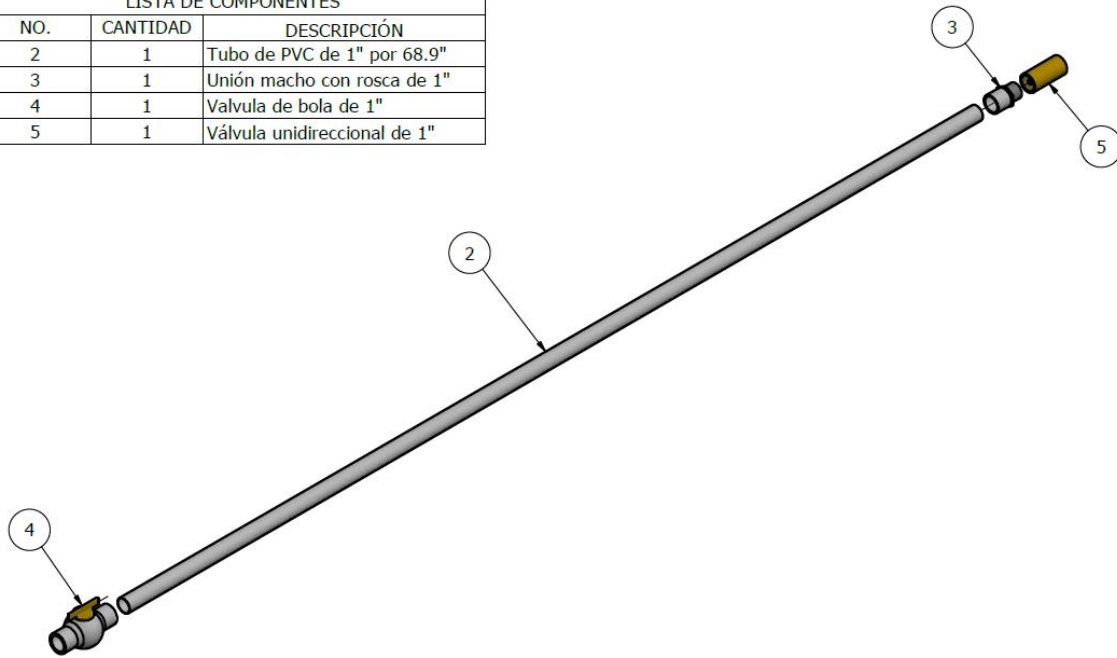
Fuente: Elaboración propia.

2. Fabricación sección 2

En esta sección todas sus uniones son lisas por lo que se procede con las mismas instrucciones de la sección 1. La única unión que es de tipo rosca es entre el componente 3 y el componente 5 (Ilustración 36) por lo que en esta unión se hace uso del teflón de ½".

Ilustración 37. Explosión y componentes de la sección 2.

LISTA DE COMPONENTES		
NO.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
2	1	Tubo de PVC de 1" por 68.9"
3	1	Unión macho con rosca de 1"
4	1	Valvula de bola de 1"
5	1	Válvula unidireccional de 1"



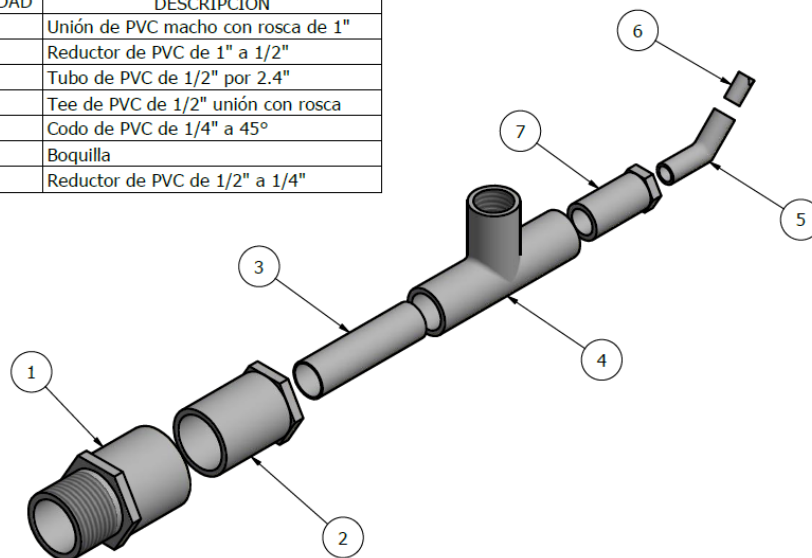
Fuente: Elaboración propia.

3. Fabricación sección 3

Todas las uniones de esta sección son de tipo lisa, lo que quiere decir que se procede a unirlos con pegamento para tubería PVC. La única unión que es de tipo roscada es la unión entre la Te roscada y el depósito en este caso el teflón se coloca siempre en el macho.

Ilustración 38. Explosión y componentes de la sección 3.

LISTA DE COMPONENTES		
NO.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Unión de PVC macho con rosca de 1"
2	1	Reductor de PVC de 1" a 1/2"
3	1	Tubo de PVC de 1/2" por 2.4"
4	1	Tee de PVC de 1/2" unión con rosca
5	1	Codo de PVC de 1/4" a 45°
6	1	Boquilla
7	1	Reductor de PVC de 1/2" a 1/4"



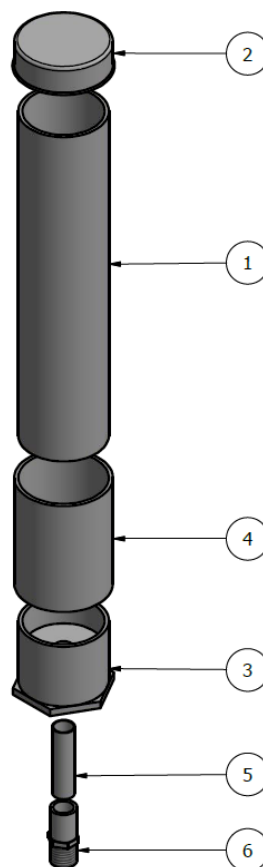
Fuente: Elaboración propia.

4. Fabricación del depósito

Todas las uniones entre los componentes del depósito son lisas. Exceptuando la unión entre el componente 6 de la Ilustración 38 y el componente 4 de la Ilustración 37 acá se hará uso del teflón de 1/2".

Ilustración 39. Explosión y componentes del depósito.

LISTA DE COMPONENTES		
NO.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Tubo de PVC de 2" por 9.6"
2	1	Tapón liso de 2"
3	1	Reductor de PVC de 2" a 1/2"
4	1	Unión de 2"
5	1	Tubo de PVC de 1/2" por 2.4"
6	1	Union de PVC macho con rosca de 1/2"



Fuente: Elaboración propia.

E. PRUEBAS AL PROTOTIPO

Con la finalidad de poder conocer el funcionamiento real del prototipo bajo circunstancias de laboratorio, se llevarán a cabo tres pruebas fundamentales. Es importante mencionar que estas pruebas se realizaron a un prototipo fabricado con PVC. Estas pruebas darán a conocer el tiempo de trabajo continuo del prototipo, si tiene la capacidad de pintar y lograr un acabado satisfactorio, por último, como se ve afectado su funcionamiento al ser utilizado con diferentes presiones de trabajo. A continuación, se presentarán las diferentes pruebas que se realizarán al prototipo.

Cuadro 19. Descripción general de las diferentes pruebas a realizarse

NOMBRE DE LA PRUEBA	OBJETIVO	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA DE PROCEDIMIENTO
Carreras necesarias para alcanzar las presiones de 15, 20, 25 y 30 PSI	Determinar la cantidad de carreras que el pistón de la bomba debe de realizar para lograr generar presiones de 15, 20, 25 y 30 PSI.	Esta prueba consiste en jalar y empujar la bomba de la sección 1 repetidas veces. Luego con un manómetro medir la presión actual. Anotar las carreras ¹ de la bomba hasta llegar a las presiones requeridas.	Anexos: Sección: C.1
Tiempo de uso continuo a diferentes presiones	Medir el tiempo de uso continuo a las presiones de 15, 20, 25 y 30 PSI.	Conociendo el número de carreras necesarias para las diferentes presiones, se procede a medir con un cronómetro el tiempo de uso continuo a las presiones mencionadas. Esta prueba se llevará a cabo con agua residencial.	Anexos: Sección: C.2
Área máxima pintada por depósito. Tiempo y cantidad de pintura necesaria para un área de 50 x 65 cm.	Establecer el área de pintado máximo por capacidad del depósito. Determinar el tiempo de pintado y cantidad de pintura utilizada en un área determinada a las presiones de 15, 20, 25 y 30 PSI.	El depósito cuenta con una capacidad volumétrica de 775 mililitros, el cual se llenará para determinar el área que este es capaz de cubrir. Por otro lado, se hará uso de cartulinas de 50 x 65 cm para determinar el tiempo que se necesita para cubrirlas y la cantidad de pintura que se utiliza.	Anexos: Sección: C.3
Peso del prototipo	Determinar el peso de todo el prototipo	El prototipo está compuesto por tres secciones las cuales se pesarán en una báscula para determinar el peso del conjunto.	Anexos: Sección: C.4
Obtención del caudal	Calcular cual es la velocidad promedio para la presión de 25 PSI	Con la medición del caudal se puede calcular la velocidad promedio en las secciones de interés.	Anexos: Sección: C.5
Viscosidad de la pintura termocromática	Calcular la viscosidad de la pintura termocromática	Con ayuda de las copas Zahn se procede a determinar la viscosidad de la pintura termocromática.	Anexos: Sección: C.6

¹Una carrera está compuesta por los dos movimientos jalar y empujar.

Fuente: Elaboración propia.

VI. RESULTADOS

La siguiente tabla hace referencia al Cuadro 14. Requisitos de bomba. Es para indicar si se cumplió o no el requerimiento planteado. El único requerimiento que no se cumplió es el código R-U, en la discusión se habla más al respecto.

CÓDIGO	VARIABLE	REQUERIMIENTO	SE CUMPLIO SÍ/NO
R-U	Usuario	Debe poder ser utilizado y manipulado por linieros.	NO
R-M	Material de construcción	Debe ser capaz de comportarse como un material aislante al voltaje de diseño de 242 KV	SÍ
R-S	Seguridad	Su uso debe cumplir con la distancia de seguridad vertical y horizontal dictada por la comisión nacional de energía eléctrica (CNNE) en el artículo 18.5 del NTDROID. Tomando la máxima que es de 2.62 metros	SÍ
R-B	Boquilla	Debe de tener la capacidad de trabajar a presiones menores a 45 PSI.	SÍ
R-P	Presión de trabajo	La presión mínima de pulverización es de 15 PSI	SÍ
R-V	Volumen de trabajo	El volumen de trabajo de la bomba debe de ser mayor a 250 in ³ .	SÍ

Fuente: Elaboración propia.

A. CARRERAS NECESARIAS PARA ALCANZAR LAS PRESIONES DE 15, 20, 25 Y 30 PSI

El Cuadro 20 presenta los resultados de la primera prueba realizada, la cual denota la cantidad de carreras necesarias que el pistón de la bomba alcance las diferentes presiones ya mencionadas.

Cuadro 20. Carreras necesarias para alcanzar las presiones de 15, 20, 25, y 30 PSI.

PRESIÓN (PSI)	CARRERAS
15	75
20	90
25	105
30	135

Fuente: Elaboración propia.

B. TIEMPO DE USO CONTINUO A DIFERENTES PRESIONES

El Cuadro 21 presenta los resultados de esta segunda prueba. Es una prueba importante ya que gracias a ella se conoce el tiempo máximo de trabajo a las diferentes presiones indicadas. Siendo el tiempo máximo de 136 segundos y el mínimo de 67 segundos.

Cuadro 21. Tiempo de uso continuo a diferentes presiones.

PRESIÓN (PSI)	TIEMPO (s)	DIFERENCIA (s)
15	67	0
20	95	28
25	122	27
30	136	14

Fuente: Elaboración propia.

C. ÁREA MÁXIMA PINTADA POR DEPÓSITO. TIEMPO Y CANTIDAD DE PINTURA NECESARIA PARA UN ÁREA DE 50 X 65 CM.

En el Cuadro 22 se detallan los resultados de esta prueba. Sin embargo, no se menciona el área máxima pintada por depósito lleno. El área máxima es de 0.975 metros cuadrados.

Cuadro 22. Área máxima pintada por depósito. Tiempo y cantidad de pintura necesaria para un área de 50 x 65 cm.

CARTULINA No.	PRESIÓN DE TRABAJO	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	TIEMPO (s)
1	15	62	84	12.58
2	20	62	81	10.2
3	25	62	80	9.5
4	30	62	77	9.4

Fuente: Elaboración propia.

D. PESO DEL PROTOTIPO

Los resultados de esta prueba se encuentran en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Peso del prototipo.

PESO DEL CONJUNTO PVC (Kg)	3.716
PESO DEL CONJUNTO POLIPROPILENO (Kg)	2.355

Fuente: Elaboración propia.

E. OBTENCIÓN DEL CAUDAL

La realización de esta prueba fue de suma importancia para lograr determinar la velocidad del fluido y con ella, la viscosidad. En el Cuadro 24 se encuentran los caudales obtenidos.

Cuadro 24. Obtención del caudal

ITERACIÓN NO.	VOLUMEN (mililitro)	TIEMPO (segundos)	CAUDAL (ml/s)
1	300	39.58	7.58
2	300	41.26	7.27
3	300	37.1	8.08
CAUDAL PROMEDIO			7.64

Fuente: Elaboración propia.

F. VISCOSIDAD DE LA PINTURA TERMOCROMÁTICA

A pesar de que no se hizo uso de este valor en los diferentes cálculos realizados, es importante ya que para futuras investigaciones puede ser de gran ayuda. El Cuadro 25 denota los resultados de esta prueba. Para la obtención de la viscosidad se hizo uso de la tabla para la copa Zahn número 5. En esta tabla se encuentran los valores de viscosidad para los diferentes tiempos obtenidos, la tabla se encuentra en anexos sección “B”

Cuadro 25. Viscosidad pintura termocromática High Voltage

Iteración No.	Resultado (segundos)
1	21.15
2	21.22
3	21.10
Promedio	21.157
Viscosidad (cst)	463

Fuente: Elaboración propia.

VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En cuanto a los requisitos de la bomba (Cuadro 14) el requisito con código R-U no se cumplió debido a que el prototipo no fue puesto a prueba por un liniero. Por lo tanto, no se puede garantizar que el prototipo pueda ser utilizado y manipulado por un liniero.

A. CARRERAS NECESARIAS PARA ALCANZAR LAS PRESIONES DE 15, 20, 25 Y 30 PSI

Se logró determinar cuántas carreras son necesarias para lograr las presiones descritas en el cuadro 20. Con base en esta prueba se puede tener un mejor control de la presión que se está manejando en el prototipo. En comparación con la presión máxima teórica descrita en la sección: 3 diseño del prototipo (14.6 PSI). En las pruebas se obtuvo una presión máxima de 30 PSI. Esto indica, que la presión teórica esperada duplicó su valor.

Esta discrepancia se puede deber a que la fuerza utilizada para la presión máxima teórica fue la media (11.779 kgf) y no la máxima registrada en dicho trabajo (18.789 kgf). Si se toma en cuenta la fuerza máxima el valor de la presión máxima teórica sería de 23.5 PSI.

Por otro lado, cabe mencionar que para lograr llegar a una presión de 30 PSI son necesarias 135 carreras, lo que se traduce a mayor tiempo y esfuerzo. En efecto una mayor presión interna resulta en una mejor aspersion de la pintura, pero no es imperativo trabajar siempre con 30 PSI.

B. TIEMPO DE USO CONTINUO A DIFERENTES PRESIONES

Haciendo uso de un cronómetro se pudo determinar el tiempo de uso continuo en función de la presión de trabajo. El tiempo mínimo obtenido fue 67 segundos con una presión de trabajo de 15 PSI. El tiempo máximo fue de 136 segundos, lo cual se llevó a cabo bajo una presión de trabajo de 30 PSI. Tomando en cuenta estos valores, se puede determinar que el tiempo de trabajo requerido va aumentando conforme aumenta la presión de trabajo. Esto se puede afirmar con las diferentes pruebas las cuales están descritas en el Cuadro 21.

Esto quiere decir, que, a mayor presión, mayor será el tiempo de trabajo. Esto es debido a que la densidad del aire es afectada por el factor masa. Puesto que el volumen que se tiene es constante al ingresar el aire, el cual ingresa de una forma “forzada” en cada carrera. Esto indica que la misma masa que entra por medio de cada carrera, tiene que salir al activar el prototipo, por ende, mientras más masa ingrese mayor será el tiempo requerido.

C. ÁREA MÁXIMA PINTADA POR DEPÓSITO. TIEMPO Y CANTIDAD DE PINTURA NECESARIA PARA UN ÁREA DE 50 X 65 CM.

Esta prueba trata de establecer el área de pintado máximo por capacidad del depósito. El depósito tiene una capacidad volumétrica de 775 mililitros, la cual tuvo la capacidad de cubrir por completo un área de 0.975 metros cuadrados.

La primera prueba realizada fue a una presión de 15 PSI, esta prueba tuvo el mayor tiempo de trabajo, puesto que las partículas eran de mayor tamaño, lo que quiere decir, que para lograr pintar una mayor área se necesitó una mayor masa de pintura.

Se realizaron 3 pruebas más; 20 PSI, 25 PSI y 30 PSI. Se pudo notar que a mayor presión de trabajo el tiempo de trabajo requerido era menor, y que el área a pintar necesitó de una menor masa de pintura. Esto se puede afirmar en el cuadro No. 22. Esto indica que, al aumentar la presión de trabajo, el flujo volumétrico también aumentó, por consiguiente, al aumentar el flujo volumétrico el tiempo de pintado se reduce.

D. PESO DEL PROTOTIPO

Para esta prueba se utilizó una báscula eléctrica, en la cual se obtuvieron los datos del peso real del prototipo. El prototipo está diseñado con material PVC. Un sólido tiene la peculiar característica de que su densidad se mantiene constante. El comportamiento es de forma lineal, por ende, se pudo determinar el peso si se hubiese realizado el mismo prototipo con el material de polipropileno.

La densidad del PVC es de 1.42 g/cm^3 y la densidad del polipropileno es de 0.90 g/cm^3 . El peso del prototipo con el material PVC pesó 3.716 Kg (cuadro 23). Teniendo en cuenta estos datos, se hizo uso de un cálculo de proporcionalidad, para poder determinar el peso de un prototipo con el material de polipropileno, dando un resultado de 2.355 Kg.

E. OBTENCIÓN DEL CAUDAL

En la prueba número 05, se realizaron 3 iteraciones con la intención de determinar un caudal promedio. Las iteraciones se realizaron en las mismas condiciones, con una presión de 25 PSI y un volumen de 300 ml en cada iteración. Por medio de los datos del tiempo obtenido y el volumen se determinó el caudal de cada iteración. Para la primera, se tuvo un tiempo de 39.58 segundos, y un caudal de 7.58 ml/s. Para la segunda, el tiempo fue de 41.26 segundos y su caudal de 7.27 ml/s. Para la tercera, se tuvo un tiempo de 37.1 segundos, y su caudal de 8.08. Teniendo los valores del caudal de cada iteración, se procedió a determinar el caudal promedio, el cual fue de 7.64 ml/s.

Se puede observar una variación en el tiempo, esto se puede atribuir a la presión interna del prototipo, ya que, para poder generar una presión de 25 PSI, se deben realizar 105 carreras en la bomba interna que utiliza el prototipo, por lo cual, al ser un número elevado, tiende a aumentar el sesgo o la diferencia de presión.

F. VISCOSIDAD DE LA PINTURA TERMOCROMÁTICA

Lamentablemente no se obtuvo más pintura por parte de la empresa thermoalert, entonces no se pudieron realizar más pruebas con esta pintura. El fluido de trabajo que sustituyó a la pintura termocromática High Voltage fue la pintura para interiores a base de

agua de la marca corona. La diferencia en cuanto a viscosidad cinemática es de 567.3 (cSt) ya que la viscosidad de la pintura corona se utiliza en la ecuación (8) siendo esta de 0.0010303 $\left(\frac{m^2}{s}\right)$ o lo que es 1,030.3 (cSt) y la viscosidad de la pintura termocromática es de 463 (cSt).

VIII. CONCLUSIONES

1. Los criterios de diseño, operación y seguridad que influyeron grandemente en el prototipo fue la distancia de seguridad de 2.74 metros y voltaje de diseño de 242 kV.
2. La solución propuesta para determinar “puntos calientes” por medio de pintura termográfica es aplicable a un mínimo de 26,286 grapas de remate.
3. El material idóneo para ser utilizado a 230 kV en este prototipo es el polipropileno con un espesor de pared de 7.56 milímetros.
4. La presión mínima de operación para poder atomizar la pintura termocromática esta dictada por el tipo de boquilla a utilizar. La más idónea para este trabajo es el tipo de boquilla “*extended range flat-fan*”. Porque la presión mínima para que esta funcione de forma correcta es de 15 PSI.
5. Las válvulas seleccionadas para el accionamiento del prototipo fueron de bola y válvula unidireccional ambas de dos pulgadas.
6. El prototipo es capaz de cubrir un área de 0.325 metros cuadrados en un tiempo máximo de 12.58 segundos.
7. El área máxima cubierta por depósito lleno es de 0.975 metros cuadrados.
8. Tiempo de uso continuo mínimo es de 67 y máximo es de 136 segundos.
9. El peso del prototipo en PVC es de 3.716 kg y el peso proyectado para el diseño de polipropileno es de 2.355 kg.

IX. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer uso de válvulas reguladoras de presión y/o caudal. Ya que se pudo confirmar que el prototipo tiene capacidad de presión y de tiempo de uso continuo.
2. Realizar pruebas con diferentes diámetros de boquilla para compararlos con los resultados obtenidos con la boquilla de 1.8 milímetros.
3. A la hora de realizar un segundo prototipo que este tenga los espesores de pared descritos en el trabajo para que la deflexión del tubo más largo no sea un problema a la hora de llevar a cabo las pruebas. Y que puedan ser realizadas por una sola persona.
4. Es un prototipo de más de 2.5 metros de largo. Para futuras versiones tomar en cuenta la posibilidad de hacerlo desarmable en 2 o más secciones, para su fácil manejo.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Wildy, T. (2006). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia* (6th ed.). Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Castellanos Puga, M. (2012). *Desarrollo de procedimientos para maniobras de mantenimiento en vivo en líneas de transmisión en 230 KV en ETCEE-INDE* (Ingeniero Electricista). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Lemus Ayala, H. (2013). *Elaboración de manual de procedimientos para mantenimiento de líneas de transmisión de ETCEE-INDE* (Ingeniero Electricista). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Gálvez Vásquez, B. (2007). *Elaboración de normas técnicas de diseño de subestaciones eléctricas y líneas de transmisión para la red de ETCEE-INDE* (Ingeniero Electricista). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Cerdá Filiu, L. (2018). *Automatismos neumáticos e hidráulicos*. 1st ed. [ebook] Available at: https://books.google.com.gt/books?id=4_p6DwAAQBAJ&pg=PA24&dq=v%C3%A1lvula+antirretorno&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiHqu7O_8blAhXwx1kKHTXpD8EQ6AEIRDAE#v=onepage&q&f=false [Accessed 26 Aug. 2019].
- Fisher, E. (2019). *Guía de válvulas de control* [Ebook] (5th ed.). Marshalltown, Iowa. Retrieved from <https://www.emerson.com/documents/automation/gu%EDa-de-v%El1vulas-de%A0control-control-valve-handbook-es-5459932.pdf>
- Grisso, R., Hipkins, P., Askew, S., Hipkins, L., & Mccall, D. (2013). *Nozzles: Selection and Sizing* [Ebook]. Virginia: Virginia State University. Retrieved from <https://www.mssoy.org/uploads/files/nozzle-selection-vt.pdf>
- Gordon, B. *Nozzle design and function* [Ebook]. Grains research & development corporation. Retrieved from https://grdc.com.au/_data/assets/pdf_file/0025/234664/3.GRDC_SM3_Nozzle-design-and-Function.pdf
- Granadeiro, V., Almeida, M., Souto, T., Leal, V., Machao, J., & Mendez, A. (2020). *Thermochromic Paints on External Surfaces: Impact Assessment for a Residential Building through Thermal and Energy Simulation* [Ebook]. Porto, Portugal. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/8/1912/pdf>

- Solera, I. (2015). *Una pintura especial que esconde tu lado oculto*. Retrieved 8 August 2021, from <https://www.motorpasion.com/tuning-preparaciones/pintura-cambia-color-temperatura>
- Hidro Cantábrico Distribución Eléctrica, S.A.U. (2005). *Herrajes para formación de cadenas en líneas aéreas AT* [Ebook] (pp. 47-49). España. Retrieved from https://www.hcenergia.com/recursos/doc/Colaboradores/Proveedores/Electricidad/Ingenieria/1355104380_11112011145716.pdf
- División Ingeniería y obras. Gerencia de distribución CODENSA. (2001). *Especificación técnica: herrajes para líneas aéreas de alta tensión* [Ebook]. Colombia. Retrieved from https://www.eneldistribuido.com.br/rj/documentos/E-LT-005_R-02.pdf
- Quezada, J. (2005). *METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA* [Ebook]. Chile: Universidad Austral de Chile. Retrieved from <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfciq.5m/doc/bmfciq.5m.pdf>
- EGB GROUP. *VASEN PPR PIPING SYSTEM* [Ebook]. España. Retrieved from https://www.egbgroup.com/wp-content/uploads/2020/07/EGB-CATALOGO-TECNICO_PPR_VASEN-polipropileno_compressed.pdf
- Barbosa Quintero, L. (2004). *DETERMINACION DE LA FUERZA MAXIMA ACEPTABLE PARA EMPUJAR Y HALAR CARGAS POR PARTE DE TRABAJADORES CON EXPERIENCIA PREVIA EN LA MANIPULACION DE CARGAS, EN UNA MUESTRA DEL PERSONAL DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA* [Ebook]. Bogota: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. Retrieved from <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7133/tesis158.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Otegui, J., & Rubertis, E. (2012). *Cañerías y recipientes de presión* [Ebook]. Argentina: Universidad nacional de Mar de Plata. Retrieved from <https://books.google.com.gt/books?id=EDPkymW0oHcC&pg=PA10&dq=libros+de+calculo+de+recipientes+a+presion&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiPqpH50unzAhUztTEKHaDRAekQ6AF6BAgKEAI#v=onepage&q=libros%20de%20calculo%20de%20recipientes%20a%20presion&f=false>
- COPLASTIC, S.L. *Policloruro de Vinilo (PVC)* [Ebook]. Bilbao. Retrieved from <http://www.coplastic.es/resources/uploads/Documentos/5514678.pdf>

- Çengel, Y., & Cimbala, J. (2012). *Mecánica de fluidos* (2nd ed., pp. 338-358). México: McGraw Hill.
- (2021). Retrieved 29 October 2021, from <https://www.pinturascorona.com/images/hojas-tecnicas/latex/ht-22xx-clasica-acrilica-latex-eid-337--v02.pdf>

XI. ANEXOS

Cuadro 26. Propiedades físicas del polipropileno.

Propiedades típicas	Método	Valor	Unidad
Densidad	ISO 1183	0.9	g/cm ³
Tensión a tracción en fluencia (23 °C, v = 50 mm/min)	ISO 527 – 1, -2	24	MPa

Fuente: VASEN PPR *PIPING SYSTEM*, n.d.

Cuadro 27. Espesor de pared del polipropileno.

Diámetro (mm)	Espesor de pared			
	S (SDR)			
	S5 (SDR11)	S4 (SDR9)	S3,2 (SDR7,4)	S2,5 (SDR6)
63	5,8	7,1	8,6	8,6
110	10,0	12,3	15,1	15,1

Fuente: VASEN PPR *PIPING SYSTEM*, n.d.

A. Imágenes reales del prototipo

- Sección 1

Ilustración 40. Imagen real de la sección 1.



Fuente: Elaboración propia.

- Sección 2

Ilustración 41. Imagen real de la sección 2.



Fuente: Elaboración propia.

- Sección 3

Ilustración 42. Imagen real de la sección 3



Fuente: Elaboración propia.

- Depósito

Ilustración 43. Imagen real del depósito.



Fuente: Elaboración propia.

B. Drain time para la copa Zahn #5

Ilustración 44. Drain time para la copa Zahn #5

EZ[®] VISCOSITY CUP #5 DRAIN TIME - CENTISTOKES CONVERSION TABLE[®]

(Accurate for True Liquids Only)

SECONDS	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	←----- VISCOSITY IN CENTISTOKES ----->									
10	161	164	167	170	173	177	180	183	186	189
11	192	194	197	200	203	206	209	212	215	218
12	221	223	226	229	232	235	238	241	243	246
13	249	252	255	257	260	263	266	268	271	274
14	277	279	282	285	288	290	293	296	298	301
15	304	306	309	312	315	317	320	323	325	328
16	334	337	339	342	345	348	351	354	357	360
17	357	359	362	365	367	370	372	375	378	380
18	381	385	388	390	393	396	398	401	403	406
19	401	411	414	416	419	421	424	426	429	431
20	434	437	439	442	444	447	449	452	454	457
21	459	462	464	467	469	472	474	477	479	482
22	485	487	490	492	495	497	500	502	505	507
23	511	512	515	517	520	522	524	527	529	532
24	534	535	539	542	544	547	549	552	554	557
25	557	562	564	567	569	572	574	577	579	581
26	584	586	589	591	594	596	599	601	604	606
27	609	611	613	616	618	621	623	626	628	631
28	634	635	638	641	643	645	648	650	653	655
29	659	660	662	665	667	670	672	675	677	680
30	684	684	687	689	692	694	697	699	701	704
31	705	709	711	714	716	719	721	723	726	728
32	731	733	736	738	740	743	745	748	750	753
33	755	757	760	762	765	767	769	772	774	777
34	781	782	784	786	789	791	794	796	799	801
35	807	807	808	811	813	815	818	820	823	825
36	829	831	832	835	837	840	842	844	847	849
37	854	854	856	859	861	864	866	868	871	873
38	878	878	881	883	885	888	890	893	895	897
39	901	902	905	907	909	912	914	917	919	921
40	924	925	929	931	933	936	938	941	943	945
41	949	950	953	955	957	960	962	965	967	969
42	974	974	977	979	981	984	986	989	991	993
43	998	998	1001	1003	1005	1008	1010	1013	1015	1017
44	1020	1022	1025	1027	1029	1032	1034	1036	1039	1041
45	1044	1046	1048	1051	1053	1056	1058	1060	1063	1065
46	1069	1070	1072	1075	1077	1080	1082	1084	1087	1089
47	1094	1094	1095	1099	1101	1103	1106	1108	1111	1113
48	1118	1118	1120	1123	1125	1127	1130	1132	1134	1137
49	1141	1142	1144	1146	1149	1151	1154	1156	1158	1161
50	1165	1166	1168	1170	1173	1175	1177	1180	1182	1185
51	1189	1190	1192	1194	1197	1199	1201	1204	1206	1208
52	1211	1213	1216	1218	1220	1223	1225	1227	1230	1232
53	1235	1237	1239	1242	1244	1247	1249	1251	1254	1256
54	1258	1261	1263	1266	1268	1270	1273	1275	1278	1280
55	1282	1285	1287	1289	1292	1294	1297	1299	1301	1303
56	1305	1308	1311	1313	1316	1318	1320	1323	1325	1327
57	1331	1332	1335	1337	1339	1342	1344	1347	1349	1351
58	1354	1354	1358	1361	1363	1366	1368	1370	1373	1375
59	1378	1378	1382	1385	1387	1389	1392	1394	1396	1399
60	1401	1401	1406	1409	1411	1413	1415	1418	1420	1423

Example: 45.3 seconds = 351 Centistokes.

©Copyright 1987 Paul N. Gardner Co.

Reprinted By Permission

Fuente: Elaboración propia.

C. Formulario CNEE

Ilustración 45. Formulario CNEE

Comisión Nacional de Energía Eléctrica									
FORMULARIO DE SOLICITUD DE INFORMACIÓN PÚBLICA									
<i>La recepción de solicitudes por medios electrónicos se tiene habilitada las 24 horas, no obstante, si la solicitud es ingresada después de las 15:00 horas o en días inhábiles, la fecha de recepción se considera el día hábil siguiente.</i>									
Información requerida									
*Nombre completo del solicitante:	Alvaro Anibal Molina Lemus								
*Dirección física para recibir notificaciones:	Moto Repuestos Molina, Bo. San Sebastián. Asunción Mita, Jutiapa.								
*e-mail:	mol16069@uvg.edu.gt								
Medio para recibir notificaciones:	Electrónico	<input checked="" type="checkbox"/>	Oficina	<input type="checkbox"/>	Residencia	<input type="checkbox"/>			
Teléfono:	53115874								
Solicitud									
Me dirijo a ustedes para solicitar la siguiente información:									
a. Se solicita a la comisión la información de los armados de las unidades reconocidas en los últimos estudios de transmisión realizados por la comisión. Para las líneas de transmisión, diferentes tipos de líneas reconocidas y los armados de las mismas.									
b. Se solicita información sobre las líneas de transmisión consideradas por la comisión en el último estudio del costo anual de transmisión autorizado para el peaje de transporte, peaje principal y secundario. En los voltajes de 69 KV, 138 KV, 230 KV, y 400 KV. La información requerida es la siguiente:									
i) Detalles de líneas de transmisión clasificadas por transportista y voltaje incluyendo sus kilómetros de red de las líneas, cantidad de estructuras, tipo de estructuras y tipo de terreno. Calibre de conductor y nivel de voltaje.									
Información para fines estadísticos									
Género:	Masculino	<input checked="" type="checkbox"/>				Femenino	<input type="checkbox"/>		
Edad:	0-18	<input type="checkbox"/>	19-35	<input checked="" type="checkbox"/>	36-65	<input type="checkbox"/>	66-más	<input type="checkbox"/>	No especifica
Etnia:	Maya	<input type="checkbox"/>	Xinca	<input type="checkbox"/>	Garífuna	<input type="checkbox"/>	Otro	<input checked="" type="checkbox"/>	No especifica
Idioma Materno:	Español								
Departamento:	Jutiapa								

*Campos Obligatorios

Fuente: Elaboración propia.

D. Documentos de descripción de las pruebas realizadas

1. CARRERAS NECESARIAS PARA ALCANZAR LAS PRESIONES DE 15, 20, 25 Y 30 PSI

Alcance

Este documento describe el proceso de los pasos para la determinación de las carreras necesarias para alcanzar las presiones de 15, 20, 25 y 30 PSI. Esta prueba sirve para que el operario de la bomba tenga la capacidad de conocer a que presión está trabajando y de prevenir presiones por debajo de 15 PSI y mayores a 30 PSI. Se procederá a incrementar la presión interna del prototipo y mediante un manómetro manual se hará lectura de la presión interna.

Para medir la presión interna se hará uso de un manómetro manual y se registrarán los datos obtenidos para cada prueba.

Advertencias de seguridad

Antes de manipular el prototipo asegurarse de que todas sus secciones y conexiones se encuentren ajustadas por completo. Cuando la presión interna aumente comprobar de forma visual y auditiva que no existan fugas.

Nunca quitar componentes sin antes asegurarse que la presión manométrica del prototipo es cero.

Cuando se trabaja con elementos presurizados siempre hacer uso de lentes de protección

Equipo de seguridad

- Lentes para protección visual contra fugas de flujo o algún elemento del prototipo.
- Pantalón de lona para proteger la parte baja del cuerpo.
- Bata manga larga para proteger las extremidades superiores.

Consideraciones

Esta prueba se realizó en un ambiente cerrado a presión atmosférica con una temperatura ambiente de 31°C.

El prototipo estará sobre una mesa para asegurar que su posición horizontal se mantiene durante toda la prueba, para evitar sesgos en los datos.

El fluido utilizado en esta prueba fue aire atmosférico

Una carrera está compuesta por la acción de jalar y empujar por completo el pistón de la bomba.

La medición de la presión interna se hará en un intervalo de 5 carreras.

Materiales, herramientas y equipo

Lista de materiales para la prueba.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Computadora para registrar datos y resultados
1	Lentes de seguridad
1	Bata manga larga
1	Mesa de 80 centímetros (Superficie plana)
1	Manómetro ± 1.0 PSI
1	Tapón de PVC con válvula
1	Destornillador de centros

Fuente: Elaboración propia.

Descripción de equipo

Tapón de PVC con válvula y destornillador de centros

En la imagen ubicada a la izquierda se observa el tapón de PVC que se utilizara en el extremo de la sección dos y se muestra el tipo de válvula que se utilizó para la medida de la presión interna. La válvula cuenta con sellos de elastómero para asegurar que la fuga de aire es de un 0% y su cuerpo es de metal. En la imagen del centro se encuentra el destornillador de centros este componente servirá para depurar el aire presurizado en el prototipo. Fabricado principalmente de elastómero y su extremo es de metal.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla de verificación del procedimiento

Descripción de pasos para la realización de la prueba.

CARRERAS NECESARIAS PARA ALCANZAR LAS PRESIONES DE 15, 20, 25 Y 30 PSI			
PASO	DESCRIPCIÓN	USUARIO/FECHA (DD/MM/AA)	MARCAR CUANDO ESTÉ HECHO
1	Verificar que los materiales, herramientas y equipo descritos en la tabla estén disponibles.	13/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
2	Antes de proceder a manipular cualquier elemento, asegurarse del uso del equipo de protección.	13/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
3	Colocar el prototipo sobre la mesa	13/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
4	Desenroscar la sección 3 del prototipo.	13/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
5	Enroscar el tapón de PVC en el prototipo.	13/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
6	Verificar que todos los componentes del prototipo se encuentren sujetos de forma correcta.	13/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
7	Asegurarse de que la válvula de bola se encuentre abierta.	13/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
8	Proceder a jalar y empujar la bomba manual hasta completar 5 carreras.	13/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
9	Mediante el manómetro asegurarse de estar en la presión correcta ya sea de 15, 20, 25 o 30 PSI. De no estar en la presión deseada repetir paso 8.	13/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
10	Mediante inspección visual y auditiva asegurarse de que no existe ninguna fuga en el prototipo.	13/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
11	Con ayuda del destornillador de centros proceder a depurar la presión en la válvula ubicada en el tapón.	13/09/2021	X

CARRERAS NECESARIAS PARA ALCANZAR LAS PRESIONES DE 15, 20, 25 Y 30 PSI			
PASO	DESCRIPCIÓN	USUARIO/FECHA (DD/MM/AA)	MARCAR CUANDO ESTÉ HECHO
Cambios al procedimiento			
14	Anotar la información obtenida.	13/09/2021	X
Cambios al procedimiento			

Fuente: Elaboración propia.

La información obtenida se detalla en el Cuadro 20.

2. TIEMPO DE USO CONTINUO A PRESIONES DE 15, 20, 25 Y 30 PSI

Alcance

Este documento describe el proceso de los pasos para la medición de tiempo de uso continuo a diferentes presiones. Esta prueba sirve para conocer la capacidad de trabajo continuo que tiene el prototipo, es decir, el prototipo será sometido a trabajo continuo hasta que la presión manométrica sea cero, de esta forma se espera tener un tiempo establecido para presiones de trabajo de 15, 20, 25 y 30 PSI.

Para medir el tiempo de trabajo se hará uso de un cronómetro y se registrarán los datos obtenidos para cada prueba.

Advertencias de seguridad

Antes de manipular el prototipo asegurarse de que todas sus secciones y conexiones se encuentren ajustadas por completo. Cuando la presión interna aumente comprobar de forma auditiva y visual que no existan fugas.

Nunca quitar componentes sin antes asegurarse que la presión manométrica del prototipo es cero.

Cuando se trabaja con elementos presurizados siempre hacer uso de lentes de protección

Equipo de seguridad

- Lentes para protección visual contra fugas de flujo o algún elemento del prototipo.

- Pantalón de lona para proteger la parte baja del cuerpo.
- Bata manga larga para proteger las extremidades superiores.

Consideraciones

Esta prueba se realizó en un ambiente cerrado a presión atmosférica con una temperatura ambiente de 31°C.

El prototipo estará sobre una mesa para asegurar que su posición horizontal se mantiene durante toda la prueba, para evitar sesgos en los datos.

El líquido utilizado en esta prueba fue agua del grifo.

La medición del tiempo de trabajo del prototipo empieza al accionar la válvula de bola y finaliza cuando la presión manométrica del prototipo es cero.

Materiales, herramientas y equipo

Lista de materiales para la prueba.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Cronómetro
1	Computadora para registrar datos y resultados
1	Lentes de seguridad
1	Bata manga larga
1	Mesa de 80 centímetros (Superficie plana)
1	Manómetro ± 1.0 PSI

Fuente: Elaboración propia.

Tabla de verificación del procedimiento

Descripción de pasos para la realización de la prueba.

TIEMPO DE USO CONTINUO A PRESIONES DE 15, 20, 25 Y 30 PSI			
PASO	DESCRIPCIÓN	USUARIO/FECHA (DD/MM/AA)	MARCAR CUANDO ESTÉ HECHO
1	Verificar que los materiales, herramientas y equipo descritos en la tabla estén disponibles.	14/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
2	Antes de proceder a manipular cualquier elemento, asegurarse del uso de los lentes de protección.	14/09/2021	X

TIEMPO DE USO CONTINUO A PRESIONES DE 15, 20, 25 Y 30 PSI			
PASO	DESCRIPCIÓN	USUARIO/FECHA (DD/MM/AA)	MARCAR CUANDO ESTÉ HECHO
Cambios al procedimiento			
3	Colocar el prototipo sobre la mesa	14/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
4	Llenar el depósito con agua del grifo.	14/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
5	Enroscar el depósito en el prototipo.	14/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
6	Verificar que todos los componentes del prototipo se encuentren sujetos de forma correcta.	14/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
7	Proceder a jalar y empujar la bomba manual las veces que sean necesarias, hasta lograr la presión de trabajo que se necesita (15, 20, 25 o 30 PSI).	14/09/2021	X
Cambios al procedimiento			Se realizó una iteración por presión
8	Mediante el manómetro asegurarse de estar en la presión correcta ya sea de 15, 20, 25 o 30 PSI.	14/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
9	Mediante inspección visual y auditiva asegurarse de que no existe ninguna fuga en el prototipo.	14/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
10	Proceder a accionar la válvula de bola.	14/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
11	Iniciar el cronómetro al mismo tiempo que se acciona la válvula de bola.	14/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
12	Finalizar el cronómetro cuando la presión manométrica del prototipo sea cero.	14/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
13	Anotar la información obtenida.	14/09/2021	X
Cambios al procedimiento			

Fuente: Elaboración propia.

La información obtenida se detalla en el Cuadro 21.

3. ÁREA MÁXIMA PINTADA POR DEPÓSITO. TIEMPO Y CANTIDAD DE PINTURA NECESARIA PARA UN ÁREA DE 50 X 65 CM

Alcance

Este documento describe el proceso de los pasos para conocer el área máxima que se puede cubrir con la capacidad actual del depósito (775 mililitros), para determinar la cantidad de pintura necesaria y el tiempo requerido para cubrir un área de 50 x 65 cm.

Esta prueba sirve para conocer la capacidad de cobertura en pintura que tiene el aspersor y el tiempo empleado en ello. Se hará uso de cartulinas de color blanco previamente pesadas en una báscula. Estas serán pintadas con el prototipo, así mismo, se medirá el tiempo para cubrir las en su totalidad y posteriormente se volverán a pesar para determinar los gramos de pintura adheridos a la cartulina. Este proceso se realizará con presiones de 15, 20, 25 y 30 PSI.

Para medir el tiempo de trabajo se hará uso de un cronómetro y se registrarán los datos obtenidos para cada prueba.

Advertencias de seguridad

Antes de manipular el prototipo asegurarse de que todas sus secciones y conexiones se encuentren ajustadas por completo. Cuando la presión interna aumente comprobar de forma visual y auditivas que no existan fugas.

Nunca quitar componentes sin antes asegurarse que la presión manométrica del prototipo es cero.

Cuando se trabaja con elementos presurizados siempre hacer uso de lentes de protección

Equipo de seguridad

- Lentes para protección visual contra fugas de flujo o algún elemento del prototipo.
- Pantalón de lona para proteger la parte baja del cuerpo.
- Bata manga larga para proteger las extremidades superiores.

Consideraciones

Esta prueba se realizó en un ambiente cerrado a presión atmosférica con una temperatura ambiente de 31°C.

El fluido de trabajo en esta prueba fue pintura para interiores a base de agua.

El espacio entre la boquilla del prototipo y las cartulinas se mantuvo en un rango entre 25 y 35 cm.

El prototipo se mantuvo de forma horizontal y las cartulinas de forma vertical durante toda la prueba.

La medición del tiempo de trabajo del prototipo empieza al accionar la válvula de bola y finaliza cuando la cartulina se encuentra cubierta de pintura por completo.

Materiales, herramientas y equipo

Lista de materiales para la prueba.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Cronómetro
1	Computadora para registrar datos y resultados
1	Lentes de seguridad
1	Bata manga larga
1	Galón de pintura para interiores a base de agua
1	Manómetro ± 1.0 PSI
1	Cartulina blanca de 50 x 65 cm
1	Masking tape de 1 pulgada

Fuente: Elaboración propia.

Tabla de verificación del procedimiento

Descripción de pasos para la realización de la prueba.

ÁREA MÁXIMA PINTADA POR DEPÓSITO. TIEMPO Y CANTIDAD DE PINTURA NECESARIA PARA UN ÁREA DE 50 X 65 CM			
PASO	DESCRIPCIÓN	USUARIO/FECHA (DD/MM/AA)	MARCAR CUANDO ESTÉ HECHO
1	Verificar que los materiales, herramientas y equipo descritos en la tabla estén disponibles.	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
2	Antes de proceder a manipular cualquier elemento, asegurarse del uso del equipo de protección.	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
3	Pesar con la báscula la cartulina a utilizar.	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
4	Colocar masking tape en la parte trasera de la cartulina.	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			

ÁREA MÁXIMA PINTADA POR DEPÓSITO. TIEMPO Y CANTIDAD DE PINTURA NECESARIA PARA UN ÁREA DE 50 X 65 CM			
PASO	DESCRIPCIÓN	USUARIO/FECHA (DD/MM/AA)	MARCAR CUANDO ESTÉ HECHO
5	Fijar la cartulina en una superficie plana de manera vertical (pared).	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
6	Llenar el depósito con pintura.	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
4	Enroscar el depósito en el prototipo.	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
8	Verificar que todos los componentes del prototipo se encuentren sujetos de forma correcta.	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
9	Proceder a jalar y empujar la bomba manual las veces que sean necesarias, hasta lograr la presión de trabajo que se necesita (15, 20, 25 o 30 PSI).	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			Se realizó una iteración por presión
10	Mediante inspección visual y auditiva asegurarse de que no existe ninguna fuga en el prototipo.	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
11	Colocar el prototipo de forma horizontal enfrente del centro de la cartulina a una distancia aproximada de 30 cm.	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
12	Proceder a accionar la válvula de bola.	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
13	Iniciar el cronómetro al mismo tiempo que se acciona la válvula de bola.	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
14	Finalizar el cronómetro cuando la cartulina está cubierta en su totalidad.	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
15	Esperar que la pintura seque, posteriormente retirar el masking tape utilizado y proceder a pesar la cartulina pintada.	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			

ÁREA MÁXIMA PINTADA POR DEPÓSITO. TIEMPO Y CANTIDAD DE PINTURA NECESARIA PARA UN ÁREA DE 50 X 65 CM			
PASO	DESCRIPCIÓN	USUARIO/FECHA (DD/MM/AA)	MARCAR CUANDO ESTÉ HECHO
16	Anotar la información obtenida.	15/09/2021	X
Cambios al procedimiento			

Fuente: Elaboración propia.

La información obtenida se detalla en el Cuadro 22.

4. PESO DEL PROTOTIPO

Alcance

Este documento describe el proceso de los pasos para pesar el prototipo. El prototipo será colocado de forma vertical sobre una báscula eléctrica y se registrarán los datos obtenidos durante esta prueba.

Advertencias de seguridad

Antes de manipular el prototipo asegurarse de que todas sus secciones y conexiones se encuentren ajustadas por completo. Cuando la presión interna aumente comprobar de forma auditiva y visual que no existan fugas.

Nunca quitar componentes sin antes asegurarse que la presión manométrica del prototipo es cero.

Cuando se trabaja con elementos presurizados siempre hacer uso de lentes de protección.

Equipo de seguridad

- Lentes para protección visual contra fugas de flujo o algún elemento del prototipo.
- Pantalón de lona para proteger la parte baja del cuerpo.
- Bata manga larga para proteger las extremidades superiores.

Consideraciones

Esta prueba se realizó en un ambiente cerrado a presión atmosférica con una temperatura ambiente de 31°C.

El prototipo estará colocado en la esquina de una casa para que las paredes sean los soportes para mantener el prototipo lo más vertical posible sobre la báscula.

La presión interna del prototipo es de cero PSI.

Materiales, herramientas y equipo

Lista de materiales para la prueba.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Computadora para registrar datos y resultados
1	Lentes de seguridad
1	Báscula eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción de equipo

Báscula

Se hizo uso de una báscula digital para la medición del peso, la dimensional que la báscula utiliza son los gramos. En la siguiente imagen se muestra la báscula utilizada.



Tabla de verificación del procedimiento

Descripción de pasos para la realización de la prueba.

PESO DEL PROTOTIPO			
PASO	DESCRIPCIÓN	USUARIO/FECHA (DD/MM/AA)	MARCAR CUANDO ESTÉ HECHO
1	Verificar que los materiales, herramientas y equipo descritos en la tabla estén disponibles.	25/09/2021	X

PESO DEL PROTOTIPO			
PASO	DESCRIPCIÓN	USUARIO/FECHA (DD/MM/AA)	MARCAR CUANDO ESTÉ HECHO
Cambios al procedimiento			
2	Antes de proceder a manipular cualquier elemento, asegurarse del uso de equipo de protección.	25/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
3	Colocar la báscula en la esquina de una casa	25/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
4	Asegurarse de talar la báscula.	25/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
5	Verificar que todos los componentes del prototipo se encuentren sujetos de forma correcta.	25/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
6	Colocar el prototipo sobre la báscula lo más vertical posible.	25/09/2021	X
Cambios al procedimiento			
7	Anotar la información obtenida.	25/09/2021	X
Cambios al procedimiento			

Fuente: Elaboración propia.

La información obtenida se detalla en el Cuadro 23.

5. OBTENCIÓN DEL CAUDAL

Alcance

Este documento describe el proceso de los pasos para determinar el caudal generado con el prototipo. Esta prueba sirve para conocer cuanta pintura es asperjada (volumen) por unidad de tiempo. Este proceso se realizará únicamente con la presión de 25 PSI.

Para medir el tiempo de trabajo se hará uso de un cronómetro y se registrarán los datos obtenidos para cada prueba.

Advertencias de seguridad

Antes de manipular el prototipo asegurarse de que todas sus secciones y conexiones se encuentren ajustadas por completo. Cuando la presión interna aumente comprobar de forma visual y auditivas que no existan fugas.

Nunca quitar componentes sin antes asegurarse que la presión manométrica del prototipo es cero.

Cuando se trabaja con elementos presurizados siempre hacer uso del equipo de protección.

Equipo de seguridad

- Lentes para protección visual contra fugas de flujo o algún elemento del prototipo.
- Pantalón de lona para proteger la parte baja del cuerpo.
- Bata manga larga para proteger las extremidades superiores.

Consideraciones

Esta prueba se realizó en un ambiente cerrado a presión atmosférica con una temperatura ambiente de 31°C.

El fluido de trabajo en esta prueba fue pintura para interiores a base de agua.

El prototipo se mantuvo de forma horizontal durante toda la prueba.

La medición del tiempo de trabajo del prototipo empieza al accionar la válvula de bola y finaliza cuando la pintura es asperjada en su totalidad.

La cantidad de pintura a ser asperjada es de 300 mililitros.

Materiales, herramientas y equipo

Lista de materiales para la prueba.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Cronómetro
1	Computadora para registrar datos y resultados
1	Lentes de seguridad
1	Bata manga larga
1	Litro de pintura para interiores a base de agua
1	Recipiente con escala en mililitros

Fuente: Elaboración propia.

Tabla de verificación del procedimiento

Descripción de pasos para la realización de la prueba.

OBTENCIÓN DEL CAUDAL			
PASO	DESCRIPCIÓN	USUARIO/FECHA (DD/MM/AA)	MARCAR CUANDO ESTÉ HECHO
1	Verificar que los materiales, herramientas y equipo descritos en la tabla estén disponibles.	15/10/2021	X
Cambios al procedimiento			
2	Antes de proceder a manipular cualquier elemento, asegurarse del uso del equipo de protección.	15/10/2021	X
Cambios al procedimiento			
3	Medir 300 mililitros en el recipiente con escala.	15/10/2021	X
Cambios al procedimiento			
4	Verter los 300 mililitros en el depósito del prototipo	15/10/2021	X
Cambios al procedimiento			
5	Enroscar el depósito en el prototipo.	15/10/2021	X
Cambios al procedimiento			
6	Verificar que todos los componentes del prototipo se encuentren sujetos de forma correcta.	15/10/2021	X
Cambios al procedimiento			
7	Proceder a jalar y empujar la bomba manual hasta alcanzar una presión de 25 PSI.	15/10/2021	X
Cambios al procedimiento			
8	Mediante inspección visual y auditiva asegurarse de que no existe ninguna fuga en el prototipo.	15/10/2021	X
Cambios al procedimiento			
9	Colocar el prototipo de forma horizontal.	15/10/2021	X
Cambios al procedimiento			
10	Proceder a accionar la válvula de bola.	15/10/2021	X
Cambios al procedimiento			
11	Iniciar el cronómetro al mismo tiempo que se acciona la válvula de bola.	15/10/2021	X
Cambios al procedimiento			

OBTENCIÓN DEL CAUDAL			
PASO	DESCRIPCIÓN	USUARIO/FECHA (DD/MM/AA)	MARCAR CUANDO ESTÉ HECHO
12	Finalizar el cronómetro cuando el prototipo haya asperjado el total de la pintura.	15/10/2021	X
Cambios al procedimiento			
13	Anotar la información obtenida y repetir los pasos del 1 al 12 para las iteraciones que se consideren pertinentes.	15/10/2021	X
Cambios al procedimiento:			Se realizaron 3 iteraciones

Fuente: Elaboración propia.

La información obtenida se detalla en el Cuadro 24.

6. VISCOSIDAD DE LA PINTURA TERMOCROMÁTICA

Alcance

Este documento describe el proceso de los pasos para conocer la viscosidad de la pintura termocromática High Voltage®. Mediante la determinación de la viscosidad de esta pintura se pueden calcular las pérdidas de presión causadas por ella. Cabe mencionar que por falta de material (pintura) en este trabajo se hizo uso de pintura para interiores a base de agua. Por lo que la viscosidad de la pintura High Voltage® puede servir para futuras investigaciones.

Para medir el tiempo se hará uso de un cronómetro, para medir la viscosidad se hará uso de las copas Zahn y se registrarán los datos obtenidos para cada prueba.

Advertencias de seguridad

Antes de manipular el prototipo asegurarse de que todas sus secciones y conexiones se encuentren ajustadas por completo. Cuando la presión interna aumente comprobar de forma visual y auditivas que no existan fugas.

Nunca quitar componentes sin antes asegurarse que la presión manométrica del prototipo es cero.

Cuando se trabaja con elementos presurizados siempre hacer uso del equipo de protección

Equipo de seguridad

- Lentes para protección visual contra fugas de flujo o algún elemento del prototipo.
- Pantalón de lona para proteger la parte baja del cuerpo.
- Bata manga larga para proteger las extremidades superiores.

Consideraciones

Esta prueba se realizó en el laboratorio de ingeniería química de la Universidad del Valle de Guatemala a presión atmosférica con una temperatura ambiente de 22°C.

El fluido utilizado en esta prueba fue pintura termocromática High Voltage®.

La medición del tiempo empieza cuando se destapa el orificio de la copa Zahn y finaliza cuando el flujo de pintura deja de ser continuo.

Materiales, herramientas y equipo

Lista de materiales para la prueba.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Cronómetro
1	Computadora para registrar datos y resultados
1	Lentes de seguridad
1	Bata manga larga
¼	De litro de pintura termocromática High Voltage®.
1	Copa Zahn #5

Tabla de verificación del procedimiento

Descripción de pasos para la realización de la prueba.

VISCOSIDAD DE LA PINTURA TERMOCROMÁTICA			
PASO	DESCRIPCIÓN	USUARIO/FECHA (DD/MM/AA)	MARCAR CUANDO ESTÉ HECHO
1	Verificar que los materiales, herramientas y equipo descritos en la tabla estén disponibles.	19/02/2020	X
Cambios al procedimiento			
2	Antes de proceder a manipular cualquier elemento, asegurarse del uso del equipo de protección.	19/02/2020	X

VISCOSIDAD DE LA PINTURA TERMOCROMÁTICA			
PASO	DESCRIPCIÓN	USUARIO/FECHA (DD/MM/AA)	MARCAR CUANDO ESTÉ HECHO
Cambios al procedimiento			
3	Utilizar la copa Zahn #5, colocar el dedo en el orificio y al mismo tiempo llenarla de pintura hasta la línea indicadora.	19/02/2020	X
Cambios al procedimiento			
4	Quitar el dedo del orificio al mismo tiempo que se inicia el cronómetro.	19/02/2020	X
Cambios al procedimiento			
5	Parar el cronómetro cuando el flujo de pintura deja de ser continuo.	19/02/2020	X
Cambios al procedimiento			
6	Anotar la información obtenida repetir los pasos del 1 al 5 para las iteraciones que se consideren pertinentes.	19/02/2020	X
Cambios al procedimiento			Se realizaron 3 iteraciones

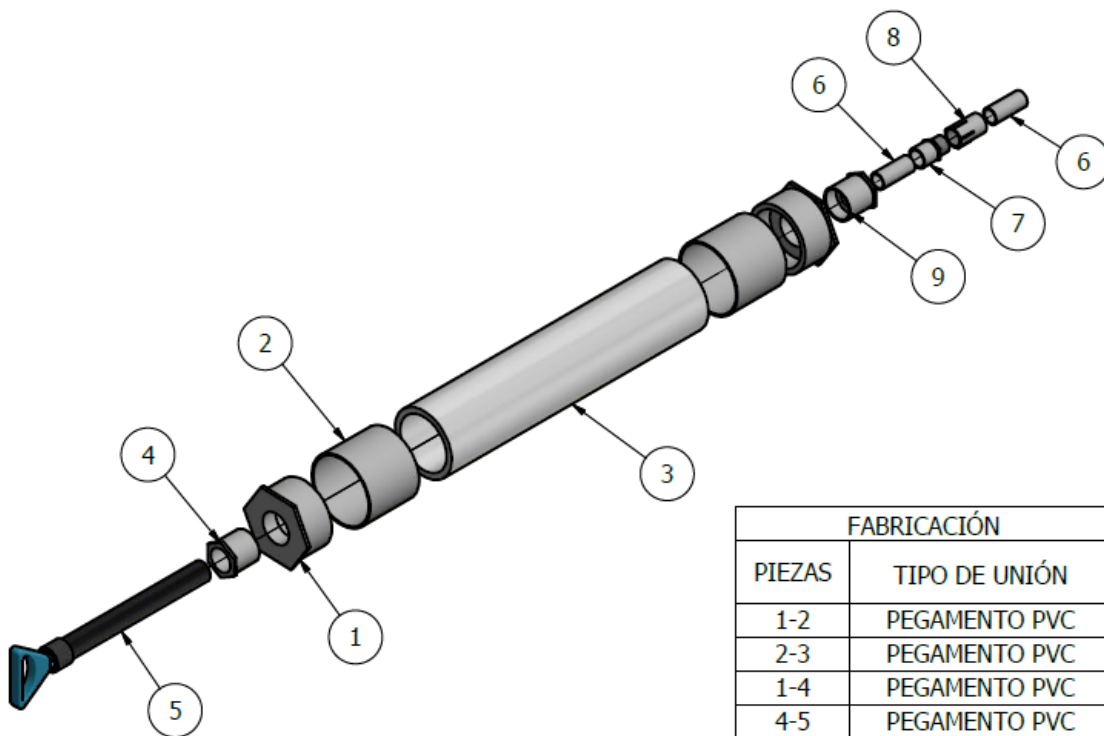
Fuente: Elaboración propia.

La información obtenida se detalla en el Cuadro 25.

E. Planos de todas las secciones

1. Sección 1

LISTA DE COMPONENTES		
NO.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	2	Reductor de PVC de 4" a 2"
2	2	Unión de PVC de 4"
3	1	Tubo de PVC de 4" x 20.5"
4	2	Reductor de PVC de 2" a 1 1/2"
5	1	Bomba manual interna de 1/2"
6	2	Tubo de PVC de 1" por 2.4"
7	1	Unión macho con rosca de 1"
8	1	Unión hembra con rosca de 1"
9	1	Reductor de PVC de 2" a 1"

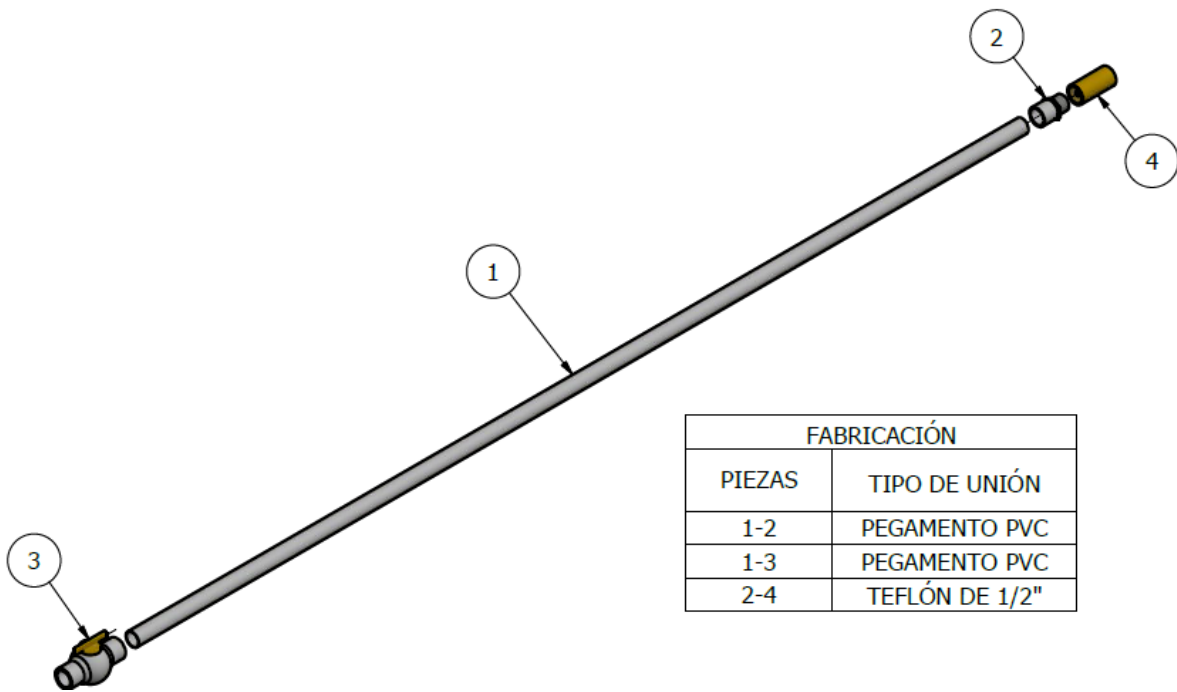


FABRICACIÓN	
PIEZAS	TIPO DE UNIÓN
1-2	PEGAMENTO PVC
2-3	PEGAMENTO PVC
1-4	PEGAMENTO PVC
4-5	PEGAMENTO PVC
6-7	PEGAMENTO PVC
7-8	TEFLÓN DE 1/2"
8-6	PEGAMENTO PVC
9-6	PEGAMENTO PVC

Fuente: Elaboración propia.

2. Sección 2

LISTA DE COMPONENTES		
NO.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Tubo de PVC de 1" por 68.9"
2	1	Unión macho con rosca de 1"
3	1	Valvula de bola de 1"
4	1	Válvula unidireccional de 1"

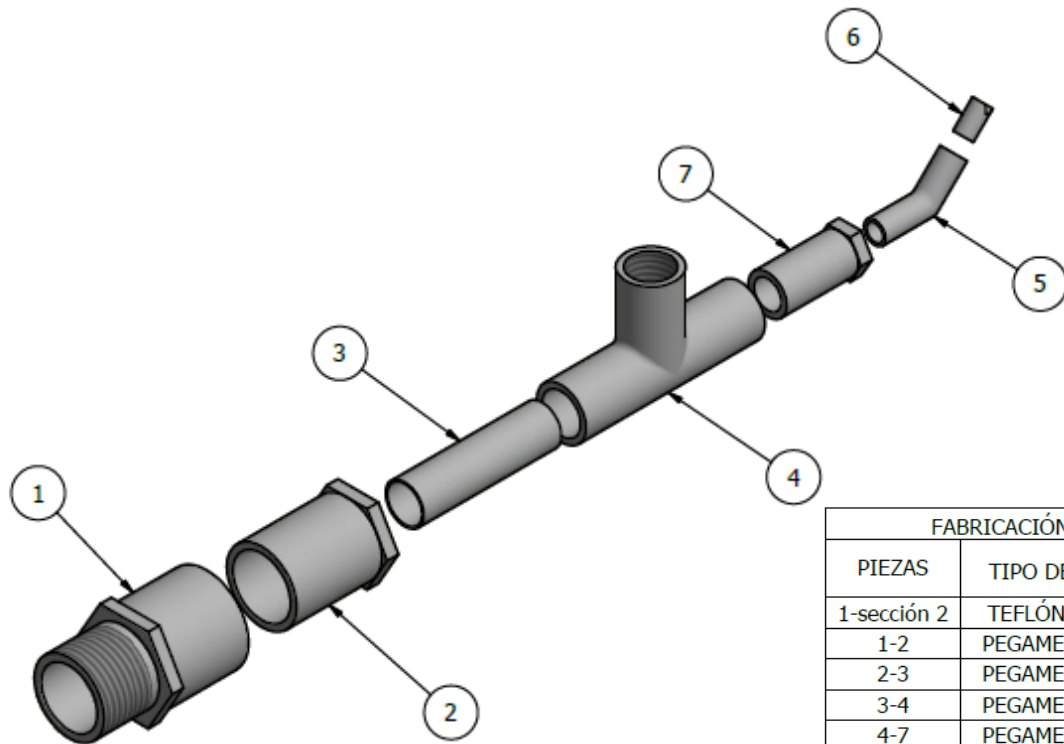


FABRICACIÓN	
PIEZAS	TIPO DE UNIÓN
1-2	PEGAMENTO PVC
1-3	PEGAMENTO PVC
2-4	TEFLÓN DE 1/2"

Fuente: Elaboración propia.

3. Sección 3

LISTA DE COMPONENTES		
NO.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Unión de PVC macho con rosca de 1"
2	1	Reductor de PVC de 1" a 1/2"
3	1	Tubo de PVC de 1/2" por 2.4"
4	1	Tee de PVC de 1/2" unión con rosca
7	1	Reductor de PVC de 1/2" a 1/4"
5	1	Codo de 1/4" a 45°
6	1	boquilla



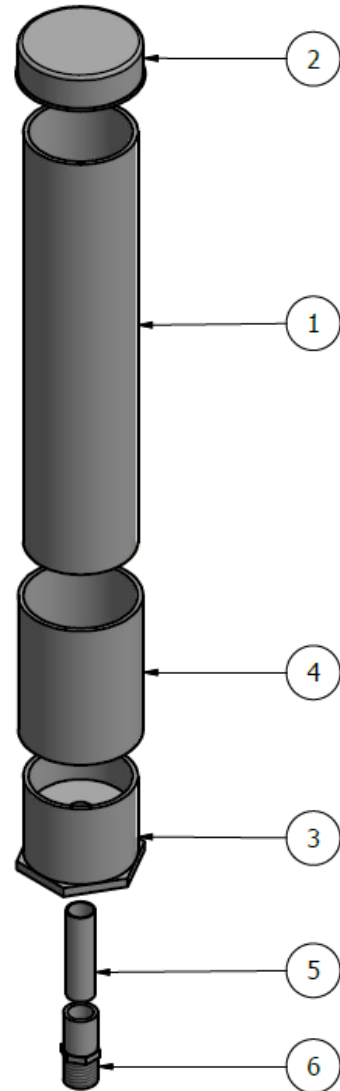
FABRICACIÓN	
PIEZAS	TIPO DE UNIÓN
1-sección 2	TEFLÓN DE 1/2"
1-2	PEGAMENTO PVC
2-3	PEGAMENTO PVC
3-4	PEGAMENTO PVC
4-7	PEGAMENTO PVC
7-5	PEGAMENTO PVC
5-6	PEGAMENTO PVC
4-depósito	TEFLÓN DE 1/2"

Fuente: Elaboración propia.

4. Depósito

LISTA DE COMPONENTES		
NO.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Tubo de PVC de 2" por 9.6"
2	1	Tapón liso de 2"
3	1	Reductor de PVC de 2" a 1/2"
4	1	Unión de 2"
5	1	Tubo de PVC de 1/2" por 2.4"
6	1	Union de PVC macho con rosca de 1/2"

FABRICACIÓN	
PIEZAS	TIPO DE UNIÓN
1-2	PEGAMENTO PVC
1-4	PEGAMENTO PVC
4-3	PEGAMENTO PVC
3-5	PEGAMENTO PVC
5-6	PEGAMENTO PVC
6	TEFLÓN DE 1/2"



Fuente: Elaboración propia.