



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**T E S I S**

**MÉTODO DE FABRICACIÓN POR CENTRIFUGADO DE POSTES  
DE FIBRA DE VIDRIO PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL  
RENDIMIENTO DE INSTALACIONES DE REDES  
SECUNDARIAS DE BAJA TENSIÓN**

**PRESENTADO POR**

**BACHILLER PARIHUANA CHOQUE VIDAL EGBERTO**

**ASESOR**

**ING. VIGIL MAMANI CORI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2018**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
PORTADA	
Página de jurado .....	i
Dedicatoria .....	i
Agradecimientos .....	ii
Contenido .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE APÉNDICES .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiii

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema .....	1
1.2. Definición del problema.....	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos .....	3
1.3. Objetivos de la investigación .....	3
1.3.1. Objetivo general .....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4. Justificación.....	4
1.5. Alcances y limitaciones.....	5
1.6. Variables .....	5
1.6.1. Variable dependiente.....	5
1.6.2. Variables independientes .....	5

1.7. Hipótesis de la investigación.....	6
1.7.1. Hipótesis general.....	6
1.7.2. Hipótesis derivadas .....	7

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes de la investigación .....	8
2.2. Bases teóricas .....	13
2.2.1. Fibra de vidrio .....	13
2.2.1.1. Características de la fibra de vidrio.....	14
2.2.1.2. Aplicaciones fibra de vidrio. ....	19
2.2.2. Composición química de poliéster reforzado con fibra de vidrio .....	19
2.2.3. Elementos para obtener el poliéster reforzado con fibra de vidrio .....	20
2.2.3.1. Elementos para el reforzado de la fibra de vidrio. ....	20
2.2.3.2. Fibra de vidrio en forma de filamento.....	21
2.2.3.3. Velo de superficie. ....	22
2.2.3.4. Resinas de poliéster.....	23
2.2.4. Propiedades mecánicas de los postes de fibra de vidrio .....	24
2.2.4.1. Funciones. ....	24
2.2.4.2. Aplicaciones.....	24
2.2.4.3. Tecnología de producción. ....	24
2.2.4.4. Propiedades de la fibra de vidrio.....	25
2.2.4.5. Propiedades comparativas de la fibra de vidrio. ....	26
2.2.5. Proceso de obtención el poliéster reforzado con fibra de vidrio .....	26
2.2.6. Fabricación de la fibra de vidrio .....	28
2.2.6.1. Diseño de fabricación de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV).....	30

2.2.6.2. Cargas en las estructuras del poliéster reforzado con fibra de vidrio. ....	38
2.2.7. Método de fabricación del poliéster reforzado con fibra de vidrio .....	42
2.2.7.1. Fabricación de los postes. ....	42
2.2.7.2. Principales constituyentes del poliéster reforzado con fibra de vidrio. ...	44
2.2.7.3. Resina poliéster. ....	45
2.2.7.4. Características generales. ....	45
2.2.7.5. Características mecánicas y térmicas. ....	46
2.2.7.6. Características eléctricas. ....	48
2.2.7.7. Requerimientos técnicos y particulares. ....	48
2.2.7.8. Normas de referencias. ....	49
2.3. Definición de términos .....	62
2.3.1. Esfuerzo.....	62
2.3.2. Nivel de tensión.....	62
2.3.3. Ecológico.....	62
2.3.4. Resina.....	63
2.3.5. Catalizador .....	63
2.3.6. Concreto armado .....	63
2.3.7. Poste .....	63
2.3.8. Dureza .....	63
2.3.9. Resistencia.....	64
2.3.10. Flexión .....	64
2.3.11. Fatiga a la flexión.....	64
2.3.12. Torsión .....	64
2.3.13. Esfuerzo de compresión .....	64
2.3.14. Pandeo .....	65
2.3.15. Madera.....	65

2.3.16. Fibra .....	65
2.3.17. Solvente.....	66
2.3.18. Cera .....	66
2.3.19. Película separadora .....	66
2.3.20. Gel coat [capas].....	66
2.3.21. Rigidez dieléctrica.....	67
2.3.22. Absorción .....	67
2.3.23. Gravedad específica .....	67
2.3.24. Conductividad térmica .....	67

### **CAPÍTULO III**

#### **MÉTODO**

3.1. Tipo de investigación .....	68
3.2. Diseño de la investigación .....	68
3.3. Población y muestra .....	68
3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos .....	69
3.4.1. Dinamómetro.....	69
3.4.2. Teclé.....	69
3.4.3. Flexómetro .....	70

### **CAPÍTULO IV**

#### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1. Presentación de resultados .....	71
4.2. Contrastación de hipótesis .....	73
4.2.1. Contrastación de la hipótesis general.....	73
4.2.2. Contrastación de la primera hipótesis específica .....	73

4.2.3. Contrastación de la segunda hipótesis específica.....	74
4.3. Discusión de resultados.....	74
4.4. Cálculo de comprobación de resultados con valores de ensayos del poliéster reforzado con fibra de vidrio.....	75
4.4.1. Cálculo justificativo con datos del protocolo de ensayos de postes de Fibra.....	75
4.4.2. Cálculo del radio en la zona empotrada del poste de poliéster de fibra de vidrio .....	77
4.4.3. Cálculo de momento de inercia.....	77
4.4.4. Cálculo de la radio del poste de Poliéster de fibra de vidrio [r].....	78

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones .....	79
5.2. Recomendaciones.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
APÉNDICES.....	84
MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	103
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	104

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Operacionalización de variables .....	6
Tabla 2. Propiedades de la fibra de vidrio.....	25
Tabla 3. Propiedades de tipos de la fibra de vidrio .....	26
Tabla 4. Propiedades de los distintos tipos de fibras de vidrio .....	37
Tabla 5. Comparación de los postes de prfv con otras estructuras .....	51
Tabla 6. Ficha técnica del producto prfv.....	53
Tabla 7. Cuadro de empotramiento los postes de PRFV. ....	60
Tabla 8. Deformaciones o flechas bajo carga .....	62
Tabla 9. Cuadro de comparación entre estructuras .....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Figura 1. Fabricación de la fibra de vidrio .....	29
Figura 2. Diagrama de deformaciones .....	76
Figura 3. Diámetro de empotramiento del PRFV .....	77
Figura 4. Prueba de ensayo de resistencia mecánica del Metal .....	101
Figura 5. Ensayo de prueba de poste de concreto centrifugado. ....	102

## ÍNDICE DE APÉNDICES

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Resultado de pruebas en poste de Poliéster Reforzado con Fibra ..	85
Apéndice B. Resultado de las pruebas en postes de concreto armado.....	86
Apéndice C. Resultado de pruebas en postes de madera .....	87
Apéndice D. Resultado de pruebas en postes de metal.....	88
Apéndice E. Especificaciones técnicas del concreto.....	89
Apéndice F. Especificaciones técnicas de postes de concreto .....	90
Apéndice G. Pruebas de los postes de poliéster reforzado con fibra de vidrio ....	91
Apéndice H. Certificado de conformidad .....	92
Apéndice I. Certificado de características técnicas.....	93
Apéndice J. Especificaciones técnicas según FIBRATORE.....	94
Apéndice K. Conductividad térmica de los materiales aislantes .....	95
Apéndice L. Peso del poste de poliéster reforzado con fibra de vidrio.....	96
Apéndice M. Vida Útil de los postes de PRFV, Acero, Concreto, Madera .....	97
Apéndice N. Conductividad térmica de los materiales aislantes .....	98

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación, es el uso de poliéster reforzado con fibra de vidrio para mejorar y facilitar la realización de trabajos en zonas rurales inaccesibles, donde se amerita dicha estructura para brindar el servicio de acuerdo con el diseño establecido, y también se ha utilizado el método de investigación tecnológica aplicada cuantitativa con sus respectivos instrumentos, con las muestras experimentales y con los protocolos de pruebas tales como el esfuerzo de tracción y torsión; también se ha hecho las comparaciones con sus respectivas certificaciones brindadas por cada material, con respecto a las demás estructuras como los postes de concretos armado centrifugado de concreto, postes de madera, postes de metal; donde concluimos que el material es altamente beneficioso, por su fácil manejo con la máquina empleada para realizar el trabajo de instalación. Asimismo, mediante la utilización de este tipo de material podemos obtener una buena eficiencia económica, ya que debido a su disminuido peso, el esfuerzo mecánico de tracción realizado por la máquina de instalación es menor, sin dejar de mencionar que el acabado de dicho material es mucho mejor que los convencionales.

*Palabras Clave:* tracción, torsión, centrifugación, esfuerzo.

## **ABSTRACT**

The objective of the investigation of the present Thesis is the use of Reinforced Polyester with Glass fiber for the improvement and the facilitation for the accomplishment of the works in the rural zones of the inaccessible parts where they deserve this structure to provide the service of agreement to the established design. And the quantitative applied technological research method has been used with their respective instruments and with the experimental samples and with the test protocols such as tensile and torsion stress. Comparisons have also been made with their respective certifications provided by each material with the other structures such as: Concrete posts centrifuged concrete, wooden posts, metal poles. Where we have obtained the conclusions as a result, it is definitely a highly beneficial material and easy to do maneuvers without the presence of the machine that performs the proper work therefore we can obtain economic efficiency. Therefore, the recommendation is made for giving greater mechanical tensile strength and its weight is lower with respect to the other materials and provides its presentation in the superficial part of very good finishing with the comparison with the other materials that are used for the aerial power grids.

*Key Words:* traction, torsion, centrifugation, strain

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación está enfocado al estudio de alternativas técnicas y económicas sobre el uso de materiales alternativos para el diseño de redes de electrificación en el Perú, y básicamente en las zonas rurales, debido a que en ellas suele utilizarse los postes de concreto armado centrifugado y los postes de madera, los cuales por sus características requieren el uso de máquinas para realizar el trabajo o debido a que su tiempo de vida es relativamente corto.

Con esta investigación se busca mejorarlas en cuanto a los gastos en general y además de ello un beneficio en cuanto a características técnicas con criterios de ingeniería, para ello se plantea la utilización de los postes de poliéster reforzado de fibra de vidrio debido a sus características, al presentar valores altamente superiores a 2 - 6 veces en cuanto a resistencia respecto de los demás materiales, satisfaciendo los requerimientos de trabajo y por lo tanto justificando su uso como material muy rentable para la sociedad.

El estudio gira en torno a las variables características superficiales del material y esfuerzos mecánicos y la metodología de la investigación se ha fundamentado en el estudio de textos, revistas, internet, consultas con empresas asociadas al uso del material fibra de vidrio y además de las consultas realizadas a los profesionales en ejercicio del trabajo en el diseño de redes eléctricas.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Descripción de la realidad del problema**

En nuestro país, actualmente se presenta el problema con los postes de concreto de armado centrifugado en las redes de electrificación tanto en media como baja tensión en cuanto al transporte de estos postes a las zonas inaccesibles del ámbito rural. Presentándose grandes dificultades para realizar los montajes electromecánicas con las máquinas adecuadas. En las ciudades con pavimento de gradas también se presenta dificultades de maniobras para los postes de C.A.C. (concreto armado y centrifugado); además se presentan altas corrosiones en los postes de C.A.C. (concreto armado y centrifugado) en las zonas costeras del litoral; por lo que la vida útil de estos postes se ve reducida. Así mismo los esfuerzos mecánicos de los postes de C.A.C. (concreto armado y centrifugado) en las zonas de las playas se reducen con mayor facilidad por presencia de brizas salinas del mar. Se debe señalar además que los postes de concreto armado centrifugado presentan dificultades en los orificios para los sistemas de protección; en el momento de hacer maniobras existe mayor fragilidad por su enorme peso.

Finalmente debemos señalar que los postes de C.A.C. (concreto armado y centrifugado) presentan mayor peligro de accidentes para el personal técnico durante los procesos de mantenimiento por peligros de fuga a tierra en las zonas alto andinas en épocas de lluvias.

La humedad del terreno también es un factor desfavorable en algunos lugares por la presencia de sales minerales el cual hace producir la corrosión en los postes de concreto armado centrifugado que algunos postes no están protegidos contra estos elementos de minerales, también presenta un desfavorable en el momento de hacer maniobras para el transporte, por su enorme peso presenta fisura miento en la parte del centro de la estructura de mayor números de consideración, en la zonas rurales como son en las partes altas de cada Provincia donde todavía no cuentan con accesos de vías de comunicación como son carreteras no se realiza el transporte de los postes de concreto armado centrifugado con las máquinas adecuadas para su montaje en el lugar indicado.

También es necesario considerar las características del terreno, por cuanto dependiendo del tipo, para determinar de manera cualitativa la corrosión de éste material; porque el principal causante de corrosión en la estructura del concreto armado centrifugado, es la ubicación en zonas cercanas del mar, y zonas que contienen la presencia de sales en el terreno; al tener éste la presencia de iones despasivantes solubles, en su composición.

## **1.2. Definición del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿El método de fabricación por centrifugado de postes de fibra de vidrio es el que garantiza las mejores características de esfuerzos permisibles y el método de fabricación por centrifugado?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Los esfuerzos permisibles de los postes de fibra de vidrio elaborados con el método de centrifugado alcanzarán valores superiores a los recomendados por el MEM?

¿Los postes de fibra de vidrio elaborados con el método de centrifugado poseen características superficiales que garanticen una vida útil superior a los 50 años?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar si el método de fabricación por centrifugado de postes de fibra de vidrio es el que garantiza las mejores características de esfuerzos permisibles y características superficiales.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Investigar si los esfuerzos permisibles de postes de fibra de vidrio elaborados con el método de centrifugado alcanzan valores superiores a los recomendados por el MEM.

Determinar si los postes de fibra de vidrio elaborados con el método de centrifugado poseen características superficiales que garantizan una vida útil superior a los 50 años.

#### **1.4. Justificación**

El presente trabajo tiene relevancia porque no se han hecho estudios comparativos en cuanto a métodos de fabricación y calidad de los postes de fibra de vidrio que se importan y por lo tanto pretendo colaborar con mi trabajo a determinar si los postes de fibra de vidrio resulta una buena alternativa para remplazar a los postes de concreto armado.

Cabe indicar que los postes de fibra de vidrio por su peso son muy recomendable y también que la fibra de vidrio al ser combinada con otros materiales se vuelve en un material muy resistente a diferentes temperaturas. Y podemos así confirmar la importancia de su utilización.

Estos postes pueden ser instalados, en cualquier zona. Los terrenos donde son instalados estos materiales pueden ser en zonas de rellenos, arenosos, rocosos, arcillosos semiduros, con una capa de profundidad variable de humus.

En las zonas de accidentados acceso se pueden instalar las estructuras de postes con secciones o embonados para facilitar su transporte e instalación.

Las características de fabricación, en cuanto a los materiales, podemos indicar que tienen características bien definidas a ello se puede constatar en el manual Fiber Reinforced Plastics de Gianluca minguzzi, que indica que poseen una elevada resistencia mecánica en la dirección de las fibras, elevada ligereza, elevada resistencia a la corrosión, baja conductividad térmica y eléctrica, elevada estabilidad dimensional.

## **1.5. Alcances y limitaciones**

El presente trabajo tiene un nivel de alcance nacional, debido a que no se ha tomado normas de otros países y las pruebas realizadas responden a la realidad de empresas que realizan trabajos de electrificación en el Perú. Por otro lado en cuanto a las limitaciones debemos indicar que por ser materiales fabricados en otros países las pruebas de protocolo, no se tenía presencialmente las certificaciones necesarias para el proyecto de investigación.

## **1.6. Variables**

### **1.6.1. Variable dependiente**

Los esfuerzos permisibles se definen como una fracción del esfuerzo de rotura entre el factor de seguridad del poste sometido a prueba de laboratorio.

### **1.6.2. Variables independientes**

La operación por centrifugado se fabrica utilizando moldes fijados de caño metálico que girar a una velocidad elevada a fin de lograr un buen resultado por medio de la acción de fuerza centrífuga y una buena impregnación, la velocidad de rotación es aplicada de acuerdo al diámetro de molde y la viscosidad de la resina y debe mantenerse la velocidad que oscila entre 500 y 3 000 RPM aproximadamente.

**Tabla 1**

Operacionalización de variables

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Escala</b>
Esfuerzos permisibles.	Los esfuerzos permisibles se definen como una fracción del esfuerzo de rotura entre el factor de seguridad del poste sometido a prueba de laboratorio.	kg	Razón
Método de fabricación por centrifugado.	La operación por Centrifugado se fabrica utilizando moldes fijados de caño metálico que girar a una velocidad elevada a fin de lograr un buen resultado por medio de la acción de fuerza centrífuga y una buena impregnación, la velocidad de rotación es aplicada de acuerdo al diámetro de molde y la viscosidad de la resina y debe mantenerse la velocidad que oscila entre 500 y 3 000 RPM aproximadamente.	Puntaje	Nominal

## **1.7. Hipótesis de la investigación**

### **1.7.1. Hipótesis general**

El método de fabricación por centrifugado de postes de fibra de vidrio es el que garantiza las mejores características de esfuerzos permisibles y características superficiales.

### **1.7.2. Hipótesis derivadas**

Los esfuerzos permisibles de postes de fibra de vidrio elaborados con el método de centrifugado alcanzan valores superiores a los recomendados por el MEM.

Los postes de fibra de vidrio elaborados con el método de centrifugado poseen características superficiales que garantizan una vida útil superior a los 50 años.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

En cuanto a nuestro trabajo empezaremos haciendo referencia a Morales, (2008) el cual señala que “la fibra de vidrio en la actualidad es un material muy utilizado debido a los análisis de pruebas y ensayos razones como son: mejora la resistencia de compresión y al desgaste, es un extraordinario de estabilidad química, excepto fuertes álcalis y ácido fluorhídrico, a su vez tiene una mejor conductividad térmica y un buen coeficiente de fricción cuando es mezclado con la sustancia de bisulfuro de molibdeno o con grafito” (p.01).

Por otro lado debemos indicar que si bien es cierto en el Perú aún no ha alcanzado niveles considerables en cuanto al uso de este tipo de postes, la tendencia es que a futuro se utilice con mucha mayor frecuencia, en tal sentido debemos resaltar a Ocoña, (2012) el cual sostiene que, la línea de postes de PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio) se ha elaborado con una finalidad de brindar necesidades importantes en las distribuciones como son en: la topografía compleja del País, el difícil acceso, los ambientes de la selva amazónica presentan humedad corrosivos,

las playas del litoral costeras son de ambiente húmedos y salinos. Como ventaja tenemos a los postes de PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio) que son la solución; por tener bajo peso, y la facilidad para transportar, y brinda una cimentación económica y fácil, tiene una alta resistencia a la corrosión expuesta a la intemperie.

Son fabricados por método, específico, donde se hace una mezcla de filamentos de fibra de vidrio para soportar las cargas axiales, y los hilos perpendiculares hacen el trabajo de soportar cargas de pandeo o colapso en el empotramiento (p.02).

Manches (2012) señala que “estos postes también son diseñados para aplicar en las distribuciones de telecomunicación y su distribución de esfuerzos es uniforme en toda su estructura de manera continua lo que convierte en una mayor resistencia, donde su consistencia de seguridad es comparada con los postes de distribución de madera. Estas construcciones a base de compuestos resuelven los problemas que se presentan como en los postes de madera, acero y hormigón tales como la rápida descomposición en zonas húmedas, alto peso, presenta la conductividad, fracturas o fisuras, corrosión y medioambientales”(p.132).

Michaeli (1989) indica que “respecto de las propiedades de los principales tipos de fibra de vidrio se puede hacer una comparación sobre las características de las demás fibras de vidrio, a excepción del sector aeronáutico, donde la aplicación justifica los costes, el mayor consumo mundial se produce en fibra de vidrio tipo E, debido a que es la que presenta una mejor relación propiedades/precio” (p. 44)

Es necesario resaltar a Koldo (2014) el cual indica que: Las aplicaciones de fibra de vidrio y resinas termoestables, materiales utilizados principalmente en postes de líneas eléctricas y de alumbrado público, constituyen ahora productos de alta tecnología, y están diseñados bajos estándares de calidad y normas técnicas certificadas para ser utilizado en redes de distribuciones de Media tensión, baja tensión, Alumbrado Público y telecomunicaciones. Estos postes además de presentar un bajo peso, tienen los esfuerzos de distribución uniformes en toda su estructura lo que les brinda mayores resistencias, y una consistencia de seguridad altamente en comparación con los otros postes convencionales (p.01).

Salinas (2014) indica que “durante los últimos años se han desarrollado diferentes soluciones para el problema de remplazar los postes de concreto y de madera por alternativas viables técnicamente. En ese sentido, sin embargo, muchas de ellas son muy costosas o no se acoplan para nuestro país. La solución más viable es la implementación de postes de fibra de vidrio reforzada, ya que en muchos sitios se descartan soterramientos o líneas aéreas extremadamente largas, debido a los costos altos y la dureza del terreno”(p.03).

Por último debemos señalar el trabajo de Salón Pocho Roch (2015) El cual señala que: los postes de fibra de vidrio ofrecen como destacada ventaja el bajo peso (8 veces menor que el concreto, 4 que la madera y 2 que el acero), por lo que no requiere de equipamiento pesado para su traslado e instalación, una cimentación económica y fácil, gran resistencia y costo cero de mantenimiento.

Al participar el vidrio en su composición, el poste de poliéster reforzado PRFV se comporta como aislante eléctrico (no conduce la energía), además de

contar con una vida funcional de 25 años, y una vida útil estimada de 50 años, y estas resinas están formulado para resistir los rayos UV (ultra violeta) a la intemperie y no sufren corrosión, por su composición (p.01)

Es necesario citar a Pereda (2015) el cual sostiene que: Los Postes en Plástico Reforzado en Fibra de Vidrio, cuentan con una serie de bondades económicas, ambientales y ergonómicas. En cuanto a lo económica, para este producto no se requiere transporte, no se requiere mucha mano de obra y la materia prima es en cantidad, manejando un inventario y por último en ergonomía su peso es más liviano, se pueden cargar entre dos, dependiendo de su tamaño (p.15).

Según el (Departamento de Normas y Especificación Técnica [DNET ENSA], 2015) de “postes de poliéster reforzado en fibra de vidrio para alumbrado público con base metálicas” (p. 4-9).

Pineda y Toro (2015) señala que, “el estudio de los mercados busca conocer las posibilidades de aceptación para que el producto tenga una demanda útil de la actualidad, ya teniendo los clientes potenciales de las empresas de energía, eléctricas, interproyectos de gobiernos de turno, Grupo de ingenieros proyectistas, entre otros; adquieren postes en Poliéster Reforzado en Fibra de Vidrio para satisfacer las necesidades de los clientes, estos postes al no ser fabricados en la región asumen otro costo de compra”(p.05)

Según Likinormas de Codensa, (2015) señala que:

“La presente especificación técnica brinda como objetivo establecer las características técnicas y las dimensiones que deben tener los postes de fibras, que serán empleados como soportes estructurales para las redes aéreas de distribuciones de energía eléctrica de media y baja tensión en zonas de difícil acceso” (p.13).

PROMELSA, (2008) indica que “La vida útil y sus ventajas de empotramiento de los poliéster reforzado con fibra de vidrio y las pruebas de la estructuras de acuerdo a sus requerimientos de los proveedores de las diferentes partes de la región” (p.01)

Por otra parte en su investigación Pineda (2015) sostiene que, Los hogares del país cuentan con dos sectores grandes conocidas como zona urbana y zona rural, en donde la zona rural tiende hacer más vulnerable como de no contar con cableado para TV, cableado para energía, debido a la difícil accesibilidad.

De acuerdo a lo anterior se dice que los Potes en Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio son las mejores soluciones para llevarles luz eléctrica las poblaciones apartadas del País, porque son fácil de transporta e instalar.

Gracias a esta tecnología se ha podido instalar, en las zonas rurales de difícil acceso (p.23).

Maquinariapro (2012) “señala el uso y sus características más relevantes de la fibra de vidrio para las aplicaciones en redes eléctricas y comunicaciones” (p. 01)

Según Pérez (2013) se hace las recomendaciones de utilizar fibra de vidrio para la fabricación de aparatos que estén comprometidos con agentes químicos y por corrosión. Otro de las aplicaciones importantes de la fibra de vidrio es la Fabricación de escaleras de fibras de vidrio para hacer trabajos con energía eléctrica, Perfiles estructurales, tapas para registros de derivaciones, y otros productos.

La empresa Mexicana Fifers describe cuatro aplicaciones fundamentales para la fibra de vidrio que corresponden a: Fabrica de industrias de petroquímicas,

industrias alimenticias, Tratamiento de líquidos industriales, torres de enfriamiento y plataformas petroleras (p.01).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Fibra de vidrio**

La denominación “fibra de vidrio” tiene su origen en la expresión inglesa “fiber glass”, que llevado al castellano español significa Fibra de vidrio, La fibra de vidrio es un material fibroso que se obtiene al hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza de unos orificios muy finos (espinerette) y al pasar de líquido a sólido tienen una suficiente flexibilidad para ser utilizado como fibra. Sus propiedades principales son: materiales de buen aislamiento térmico, inerte ante ácidos, soporta valores elevados de temperatura.

La fibra de vidrio es uno de los materiales que en la actualidad por tener valores recomendados son más usados, en la mayor parte de la tecnología depende mucho de la fibra de vidrio, por lo mismo, que uno llega a imaginar, cuántas unidades se le llegan a dar a la fibra de vidrio.

El resultado de la fibra de vidrio, cuenta con su capacidad de soportar elevadas temperaturas con la cual se diferencia enormemente con sus competidores a partir de que es un excelente aislante térmico y eléctrico, de tal manera los ácidos no afectan su estructura molecular.

En cuanto a su fabricación la fibra de vidrio cuenta con unos procedimientos muy especiales chorros de vapor a presión, enrollamiento a una elevada velocidad,

dividiendo de una masa fundida del vidrio. El calibre de los hilos conseguido puede alcanzar a valores mínimos de 5.

Los hilos de mayor longitud pueden elaborarse hasta formar unos tejidos retorcidos hasta tener una alta resistencia de tracción, conservando siempre una notable elasticidad. Por sus cualidades de elasticidad, solidez y resistencia a los agentes químicos y al agua, la fibra de vidrio se emplea mucho como componente interno de refuerzo de las materias plásticas de aislamiento.

La fibra obtenida al someter por estiramiento del silicato fundido, la densidad atómica propia, le da una fuerte resistencia mecánica, a los factores de corrosión natural. Al hacerle una mezclarse a productos sintéticos se va creando la misma dinámica del hierro y el cemento, teniendo así como resultados de alta resistencia y dureza similares o superiores a los metales, pero siempre se mantiene la ventaja de un buen grado de elasticidad molecular.

Las principales propiedades presentan: buen aislamiento térmico, inerte ante ácidos, soporta elevados valores de temperaturas. Estas propiedades y por los costos menores de sus materias primas, le han otorgado la popularidad en diversas aplicaciones industriales. Estas características del material permiten que la fibra de vidrio sea amoldable con mínimos recursos.

#### ***2.2.1.1. Características de la fibra de vidrio.***

El vidrio presenta como características distintivos a su debilidad, transparencia y también su elevado valor de dureza. Siempre y cuando que se encuentre en un estado de fusión, entonces podrá ser maleable o manuable. Por otra parte, la

temperatura ideal aplicado para este tipo de material para ser fundido es de 1250 °C. En lo que respecta a su constitución, se trata de un material conformado por los elementos que lo conforman por la sílice, la arena y el cuarzo poseen vidrio en su composición, por la cal y por el carbonato de sodio.

La composición del material de la fibra de vidrio presenta una variación según las características de resistencia exigidas al filamento. Cuando la fibra es de tamaño corta, se denomina lana de vidrio y es usada sobre todo como material aislante.

Técnicamente, el material denominado vidrio se puede llamar como un producto inorgánico de derretimiento, refrigerando al estado sólido sin presentar cristalización; y desde el punto de vista físico, como un líquido sub enfriado, ya que presenta la característica estructura amorfa de los líquidos.

Sus propiedades se encuentran relacionadas con su composición y, por lo tanto, los cambios presentados cualitativas y cuantitativas de sus componentes influyen directamente sobre su nivel de curvatura de viscosidad en caliente, sobre su temperatura de fusión, su coeficiente de dilatación, su resistencia superficial y profunda al ataque de la humedad, sobre su resistencia química en general, etc.

Los vidrios comunes son obtenidos a partir de la determinación óxidos inorgánicos formadores de retículo, siendo normalmente el bióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), bajo forma de arena, su más importante componente. Otros óxidos fluidificantes alcalinos, como el carbonato de sodio (NaO) y el carbonato de potasio (KO), se emplean para disminuir el punto de fusión de la sílice; en efecto, el agregado del 25  $\frac{1}{4}$  de Na. O al Si O en una combinación binaria solamente,

disminuye el punto de fusión de la sílice de 1 700 °C a unos 7 750 °C, aproximadamente.

También se tiene un tercer grupo de óxidos, llamados estabilizadores o correctores, tales como el óxido de calcio (CaO), el óxido de aluminio (AlO), de magnesio (MgO), etc., tienen normalmente la función de corregir ciertos factores negativos, eventualmente presentes en la mezcla.

Una composición de mucha representatividad de un vidrio común tipo ventana (vidrio sódico o vidrio "A"), que se elabora alrededor de los 11 000 °C, está dada por la siguiente fórmula simplificada:  $\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  etc.

Estos componentes ofrecen muchas ventajas sobre los materiales convencionales, especialmente cuando hay que tener muy en cuenta el peso, La fibra de vidrio es de 2 a 6 veces más resistentes que el acero y 3 veces más ligeras y es 5 veces más resistentes que el aluminio y de densidades similares.

***a. Principales características del poste de poliéster reforzado con fibra de vidrio.***

- Vida útil prolongada (mayor a 50 años).
- Bajo peso.
- Mantenimiento prácticamente nulo.
- Alta capacidad de producción.
- Bajo tiempo de cura. (24 horas 95 % de dureza).
- Posibilidad de recuperación.
- Reaprovechamiento de residuos.
- Resistencia a intemperie.
- Resistencia a la corrosión.

- Resistencia a la abrasión.
- No conductivo.
- Resistencia mecánica constante.
- Flexibilidad constante.
- Diversidad de formas, tamaños y colores.
- Posibilidad de refuerzos adicionales.
- Tiene muy buena resistencia mecánica específica (resistencia a la [Tracción/densidad]. Siendo su resistencia específica muy superior a la del acero.
- En cuanto a la resistencia a la humedad (Se debe tener en cuenta la no presencia de la humedad antes de proceder a efectuar la laminación porque dañaría la unión con la resina)
- Resistencia al ataque de agentes químicos.
- Posee buenas propiedades como aislante eléctrico, sus características eléctricas es altamente aislante eléctrico incluso en espesor es bastante reducido por que tiene una buena permeabilidad eléctrica.
- Débil conductividad térmica.
- Presenta una estabilidad dimensional muy buena.
- Presenta un alargamiento muy bajo.
- Propiedades isotropas (al contrario que las fibras de carbono y kevlar).
- Tiene un extraordinario adherencia al molde (utilizando recubrimientos para cada sesión apropiados para los diferentes tipo de resina).
- Incombustibilidad.
- Imputrescibilidad.

***b. Muestreo en postes y ensayo en laboratorios.***

- Contenido de fibra.
- Densidad del material.
- Dureza Barcol.
- Absorción de agua.
- Termodistorsión.
- Dielectricidad.
- Flamabilidad.
- Resistencia a la tracción y flexión.
- Resistencia a impacto.
- Envejecimiento acelerado.

***c. Principales aplicaciones en transmisión de energía con alta tensión en zona rural.***

- Terminación superficial similar a los postes de acero.
- Largos comunes: 4 a 14 metros.
- Cargas nominales: 50 a 200 daN.[1 kg de esfuerzo]
- Padrón de flexión habitual: 10 % del largo útil largo útil.
- Geometría de la cima de acuerdo a luminaria a usar.
- Base para empotramiento directo o bridado.
- Poste para iluminación de grandes predios.
- Postes de emergencia.
- Mástiles de banderas.
- Postes para radar.
- Postes para aerogeneradores, etc.

### ***2.2.1.2. Aplicaciones fibra de vidrio.***

Las aplicaciones se realizan en Alumbrado público de las ciudades como son calles y parques, aplicados en las redes de baja tensión y media tensión y también en las redes de distribución de la telefónica de comunicación, en líneas de transmisión, para cámaras de control de tráfico.

Antes de proceder con la determinación de las diferentes aplicaciones que se le brinda a la fibra de vidrio, es imprescindible destacar las características de sus más relevantes. Entre ellas se puede señalar que es un buen excelentísimo aislante térmico, al tiempo que es inerte para las variedades de las diversas sustancias como el caso de los ácidos. Otros señales son su tendencia a la maleabilidad y su resistencia a la tracción. Debido a sus importantes cualidades, que es usada en diferentes ámbitos, aunque los principales son en la parte industrial y el artístico. En el siguiente caso se aplican para la ejecución de productos de manualidad. También es muy común que con estos materiales utilizamos para la elaboración de piezas para la parte náutica, como las tablas de surf y wind-surf, y los botes también para los yates. También, se puede emplear la fibra de vidrio para la aplicación de los señales de cables de comunicación de fibra óptica, que se emplean en las telecomunicaciones para la difusión de señales lumínicas, que son producidas a través por un láser o por LEDs.

### **2.2.2. Composición química de poliéster reforzado con fibra de vidrio**

Las fibras de vidrio están hecho principalmente por sílice, que se hace una mezcla con distintos óxidos (alúmina, alcalinos y alcalinotérreos), que en función de sus respectivos porcentajes, permiten desarrollar diferentes propiedades de la fibra

resultante. La alta resistencia que tiene las fibras de vidrio es por el resultado de los enlaces covalentes entre los elementos de silicio y los radicales de oxígeno. Las partículas conforman un vínculo tridimensional con su respectiva organización amorfa; por lo que cuentan con propiedades isotrópicas.

### **2.2.3. Elementos para obtener el poliéster reforzado con fibra de vidrio**

Para obtener la fibra de vidrio se requiere los siguientes elementos:

- Gel coat
- Resina poliéster o viniléster
- Acelerante [naltolato de cobalto]
- Catalizados [ periodo de metil-etil-cetona]
- Fibra de vidrio
- Solvente [thinner]
- Cera
- Película separadora [alcohol de polivinilo]

El acelerador y el catalizados se guardan separados nunca se deben de juntar, ni mucho menos lo mezcle directamente

#### ***2.2.3.1. Elementos para el reforzado de la fibra de vidrio.***

La fibra de vidrio lleva el nombre universal para el Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV), este material es un compuesto por elementos de fibras de vidrio, carbono, kevlar, metal, boro ó silicatos de aluminio, resina plástica y aditivos. Mediante la selección apropiada de una mezcla de combinación de refuerzos de fibra de vidrio,

resinas y métodos de evolución, el dibujante puede inventar un producto o elemento que satisfaga con las más rigurosas especificaciones.

Las ventajas típicas contienen: Elevada fuerza, pequeño peso, dimensionalmente permanente, con una buena resistencia al deterioro, muy buena resistencia eléctrica y elasticidad de diseño con bajo costo de matrices. Tal es así, con estos productos podemos competir enormemente favorablemente en costo y rendimiento de vida útil, y de esfuerzos mecánicos con la comparación de los materiales tradicional.

#### ***2.2.3.2. Fibra de vidrio en forma de filamento.***

La fibra de vidrio es vidrio en forma de filamentos. Los filamentos podemos laborar con diferentes modelos de vidrio, denominados con las letras A, E, C, AR y S. Los más comúnmente empleados para refuerzo de productos son los tipos E (eléctrico), AR (Alcali Resistente) y C (con resistencia química).

La evolución se hace mediante el cual que se fabrican los filamentos de vidrio es de la siguiente manera: en un reactor son integrados todas las sustancias primas que finamente son divididas en forma de polvo, donde son fundidas. El vidrio fundido circula a través de ductos que tienen muchas cantidades de hoyos. El vidrio derretido empieza a salir de estos hoyos como un filamento continuo. Estos filamentos continuos se trasladan sobre un aplicador que les humedece con una envoltura química (ó apresto) la cual le dará una propiedad especial para su proceso posterior. Este apresto incrementa la cualidad del vidrio para adherirse a otros materiales y es bastante importante para su determinación la calidad del material.

### **2.2.3.3. Velo de superficie.**

#### **a. Características.**

El velo del área superficial está confeccionado de cinco laminados prolongados de fibra, de doce micrones de espesor, de vidrio C, de bajo punto de derretimiento, con una resistencia a la deterioro (ASTM C162-93) distanciadas al azar a través de toda el área.

#### **b. Aplicaciones.**

Los velos del área superficial han sido elaborados para emplear como valla de protección para los productos de FRP ó GRP donde se necesita de una área superficial para la culminación de una elevada calidad sin tener la consideración del costo de un gel-coat, ó donde existe el peligro de aparición en la área superficial del producto con lo que se le conoce con la denominación de "impresión" del refuerzo mat.

El velo de superficie lo empleamos en los laminados interiores para la protección como barrera anticorrosiva con una capa especial rica en resina y los laminados exteriores son de protección contra el deterioro para futuro del tiempo.

#### **c. Propiedades físicas.**

- Masa: 30 g/m<sup>2</sup>.
- Diámetro nominal: 300 micrones (0,30 mm).
- Solubilidad en estireno: Insoluble en monómero estireno.
- Permeabilidad de resina : 270 g/m<sup>2</sup>
- Apresto: Copolímero acrílico-estireno.
- Contenido de apresto : 6 % - 8 %

- Ancho estándar : 1,000 mm

#### ***2.2.3.4. Resinas de poliéster.***

Las resinas de poliéster son conjuntos de resinas sintéticas elaboradas por policondensación de ácidos dicarboxílicos con alcoholes dihidroxilados. Estas resinas son un tipo especial de resinas alquídicas, que son diferentes de otro tipo, que no es modificadas con ácidos grasos o aceites secantes.

Estos modelo de resina su primordial, es su propiedad de poder acomodar o fortalecer cuando son catalizadas a temperatura del medio ambiente y bajo muy poca o ninguna presión.

Todo los materiales de los poliésteres contienen instauración etilénica, generalmente mezcladas por acido insaturados. Los poliésteres insaturados son comúnmente introducidas por ácidos insaturados. Los poliésteres insaturados son comúnmente entrelazados a través de los dobles enlaces sometidos con un monómero compatible que a su vez también tiene instauración etilénica, teniéndose como resultado de este modo la calidad de termoestable. Bellísima.

La finalidad de estos ácidos es comprimir la cantidad de instauración de la resina final, cediéndole que la producción sea más resistente y con cierta elasticidad. Los anhídridos ácidos son a menudo que son utilizados de acuerdo a su disponibilidad y aplicación. Los alcoholes dihidroxilados más usados son los glicoles de etileno, propileno, dietileno y dipropileno.

Estos producto obtenidos con resinas de poliésteres son bastante fuerte resistentes a la corrosión y al ataque químico. Entre los más principales en los campos de aplicación se puede nombras a los siguientes: Partes automotrices, embarcaciones,

encapsulados eléctricos, cubrimientos protectores, ductos, cañerías y otras aplicaciones estructurales.

#### **2.2.4. Propiedades mecánicas de los postes de fibra de vidrio**

##### ***2.2.4.1. Funciones.***

El proceso de embobinamiento permite de dar la orientación a los hilos en la dirección para tener máximos esfuerzos, lo cual proporcionalidad al poste da una excelente relación de esfuerzo/peso con la comparación a otros procesos de fabricación.

Para tener un buen resultado de la resina es seleccionar adecuadamente, También es posible obtener una excelente resistencia química al ambiente y a la corrosión del suelo en el punto que va trabajar la estructura como es el poste, además la fibra de vidrio hace al poste un elemento aislante eléctrico.

##### ***2.2.4.2. Aplicaciones.***

Son aplicados estos postes en calles para alumbrado y en los parques, y también es aplicado para líneas de transmisión , en baja tensión y media tensión y en las redes de distribución de telefónica también es usado para cámaras de control de tráfico.

##### ***2.2.4.3. Tecnología de producción.***

Este proceso consiste en embobinar sobre un molde establecidos de hilos continuos de fibra de vidrio impregnados la cual estas sustancias como es la resina da una forma en una dirección preestablecida [un ángulo pequeño en la dirección axial]. Con esta forma de trabajo aseguramos una relación de hilo/resina de hasta un 65 %,

lo cual nos brinda una máxima resistencia en la dirección deseada como es dirección axial.

Para el embobinamiento aseguramos con una máquina para que tenga una mínima variación de diámetro, peso y resistencia mecánica.

#### **2.2.4.4. Propiedades de la fibra de vidrio.**

El vidrio brinda unas características mecánicas muy influenciadas por su gran efecto más pronunciado. Esta debilidad es debido a que el vidrio no tiene zona plástica en su deformación, y es por eso cuando se rebasa el límite establecido de elasticidad, se rompe. Por eso, a pesar de que hay vidrios con resistencias a la tracción superior a los 300 kg/mm<sup>2</sup>.

**Tabla 2**

*Propiedades de la fibra de vidrio*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Norma</b>
Peso específico	1,65-1,8	gr/cm <sup>3</sup>	UNI 7092
Contenido de vidrio	45-55	%	ISO 1172
Absorción de humedad	0,5	%	ISO 62
Esfuerzo a la tensión	290	MPa	ASTM D3039
Esfuerzo a la flexión	200	MPa	ASTM D790
Resistencia al impacto	>180	Kj/m <sup>2</sup>	ASTM D256
Rigidez dieléctrica	3-7	KV/mm	ASTM D149
Resistividad eléctrica superficial	1010-1013	Omhs	UNI 4288
Constante dieléctrica a 50 Hz	4-6	-	UNI 4288
Factor de pérdida de potencia a 50 Hz	0,03-0,04	TgΦ	UNI 4289
Conductividad térmica	0,2-0,3		

Fuente: Blanc Partners, 2010

#### 2.2.4.5. Propiedades comparativas de la fibra de vidrio.

Tabla 3

Propiedades de tipos de la fibra de vidrio

Propiedades	E	C	S	R
Peso específico del material	2,56	2,45	2,49	2,58
Resistencia a la tracción de la fibra GN/m <sup>2</sup>	3,6	----	4,5	4,4
Punto de ablandamiento °C	850	690	----	990
Conductividad térmica W/m °C	1,04			
Índice de refracción	1,545	1,549		
Módulo de Young de elasticidad GN/m <sup>2</sup>	75,9	----	86,2	84,8

Nota: E: Este tipo de fibra posee buenas propiedades dieléctricas, además de sus excelentes propiedades frente al fuego, su peso específico 2,6 g/cm<sup>3</sup>; C: Este tipo de fibra se caracteriza por su alta resistencia a agentes químicos, su peso específico 2,5 g/cm<sup>3</sup>; S: Este tipo de fibra ofrece una alta resistencia y rigidez elevada a un costo superior; R: Este tipo de fibra, posee buenas propiedades mecánicas y es resistente a la fatiga, temperatura y humedad y es usado en aviación espacial y armamentos, su peso específico 2,53 g/cm<sup>3</sup>.

Fuente: Polímeros compuestos, 2010

#### 2.2.5. Proceso de obtención el poliéster reforzado con fibra de vidrio

La fibra de vidrio es obtenido a través por dos procedimientos distintos que son a partir que uno es de bolas y el otro es por fusión directa.

Primeramente lo introducimos la materia prima (se utiliza arena, caolín o dolomía) que es tratado en un horno, y luego es sometido a repetidos procesos hasta obtener como resultado, unas bolas con un espesor aproximado de 20 mm. Estas esferas en forma de bolas como resultantes son nuevamente sometidas en otro horno para el posterior hilarlas. Es así de cómo realiza este hilado a su vez podemos diferenciar de dos tipos de fibras:

**2.2.5.1. Sillionme.** Se tiene como resultado por el estiramiento mecánico, y da lugar a fibras continuas.

**2.2.5.2. Verranne.** Obtenemos por el estiramiento por el fluido y da lugar a fibras discontinuas.

Las fibras continuas (sillionne) brindan mejores características mecánicas que las discontinuas (verranne).

En el segundo caso, es cuando es realizado por el procedimiento de fusión directa o hilado bajo fusión, una vez el vidrio fundido atraviesa por unos orificios muy perfectamente dimensionados, a la vez distribuidos sobre una superficie de platino. Las fibras lo obtenemos estirando monofilamentos de vidrio muy delgados.

El vidrio se comporta cuando es monofilamentos delgados y a su vez es muy diferente al comportamiento del vidrio en su forma de masa: y se vuelve flexible a medida que va disminuyendo su diámetro.

Para hacer una mejor formación de los hilos, en cuanto a su estirado, a su enrollado y a su posterior tejido, hay que aplicar sobre las fibras de una película química que nos permite facilitar estas operaciones.

Este proceso lo conocemos como ensimaje, y se realiza una vez que los hilos se han enfriado por el cambio de temperatura.

Cuando la fibra ya pueda ser utilizada, se debe otorgarle una serie de formas que lo faciliten en la tarea. Así, los cordones dan lugar a los hilos de la fibra de vidrio (para estructuras textiles complejas) o a mechas (conjunto de haces de filamentos continuos, para fieltros continuos o discontinuos). Como características mecánicas de los materiales brindan estas configuraciones que vendrán gobernadas por la geometría final del líquido como es el agua que se utiliza como un disolvente durante el tiempo de ensimaje.

### **2.2.6. Fabricación de la fibra de vidrio**

Para realizar el procedimiento de la fibra de vidrio se empieza con la dosificación y la mezcla con las materias primas seleccionadas. En seguida los componentes son transportados directamente. En primer lugar se funde el material, descartando las inclusiones gaseosas y se somete a su procedimiento a su homogeneización. Luego se traslada el material al refinador. Continuando con el procedimiento el material se conduce hacia un crisol ubicado sobre el dispositivo de formación de la fibra de vidrio, el cual se ha previsto de varias formas el juego de hileras de platino-rodio por donde recorre el material por una serie de orificios de espesores calibrado. Y toda de este procedimiento de esta etapa del proceso requiere un mantenimiento de la temperatura exacta que certifique el valor apropiado de la viscosidad del material que se necesita en cada instante de la creación de la fibra.

Para obtener el procedimiento de la fibra de vidrio, está formado por sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y óxidos ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ , etc.). La fibra de vidrio lo obtenemos mediante la fundición de los componentes que es sometido en un horno y enseguida se procede al estiramiento del material a su salida por una serie de hileras.

La fibra de vidrio se tapiza con un material llamado ensimaje que protege toda el área de la superficie del desgaste por fricción o abrasión y lo facilitan la unión entre estas dos sustancias de la fibra y la matriz.

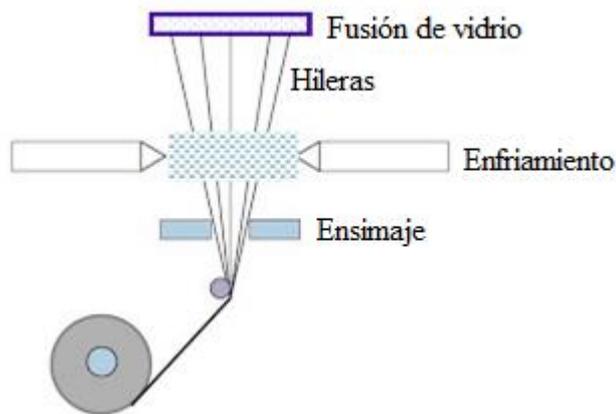


Figura 1. Fabricación de la fibra de vidrio  
Fuente: Revista, 2016

**a. Presentaciones de la fibra de vidrio.**

Se caracterizan por medio de dos valores:

- **Título:** Tendrá una relaciona entre el peso y longitud de un hilo (dependerá del número de filamentos de los hilo y su diámetro) (g/km).
- **Gramaje:** Estará relacionado entre el peso del tejido y toda la área superficial (g/mm<sup>2</sup>)

**b. Existen varios tipos de presentaciones.**

- **Roving:** El bobinado son de hilos continuos (conjunto de filamentos)
- **Mat de hilos cortados:** Son sometidos con fieltros de hilos cortados y agrupados entre sí mediante un ligante químico.
- **Mat de hilos continuos:** los fieltro de hilos continuos y agrupados entre sí mediante un proceso de ligante químico. Que lo permite un alargamiento regular en todas la dirección

- **Mat de superficie o velo:** fieltros de hilos cortados, ligados fuertemente y calandrados
- **Tejido:** Están formados por una serie de conjuntos de hilos entrecruzados en dos direcciones.

#### ***2.2.6.1. Diseño de fabricación de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV).***

**a. Materiales.** Los postes están fabricados con resina Ortoftalica que han sido modificados con propiedades autoexcitación y fibra de vidrio.

Estos postes de P.R.F.V. Se desarrolló con una condición de cubrir necesidades importantes en el área de distribución como: En la topografía compleja que es accidentado en nuestro país, el complicado acceso, los lugares húmedos donde se encuentra la corrosión en la selva amazónica, suelos y ambientes húmedos y salinos que se encuentran en los litorales de las playas y zonas costeras. Con estos materiales presentan ventajas con los postes de fibra que son una solución por brindar; peso menores, el fácil de transportar, en la cimentación es económico y fácil, la resistencia a la corrosión e intemperie es impresionante.

**b. Acabado.** La parte interior del poste debe estar con una barrera protectora que el interior debe estar constituida por un GELCOAT que son resinas que cambian al momento de aplicar en el vaciado de moldes en estado líquido. Al momento de hacer los resanes, forman polímeros reticulados y después se tapizan con matrices de polímero compuesto, que usualmente son realizados a través de una mezclas de resina poliéster y fibra de vidrio, o resina epóxica y vidrio.

El GELCOAT es aplicado sobre el área superficial del molde, por lo tanto el laminado estructural es aplicado sobre esta capa. El GELCOAT hace la reproducción de las características superficiales del molde [obviamente cubierto por un desmoldante]. Los moldes son lisos y brillantes que permiten a las piezas hacer lisas y brillantes.

Los gelcoat son aplicados a los acabados y se aplican sobre los moldes bien lisos, con un acabado superficial bien especial.

El GELCOAT presenta funciones especiales:

- Tiene la protección al laminado contra los efectos de la intemperie y humedad.
- Otorgar el acabado con un colorido, liso y brillante en toda la superficie.
- Servir para aplicar como bases para el pintado especiales [acrílicas, poliuretano, etc.].
- El GELCOAT compuesto de resinas de poliéster, pero que cumplen funciones especiales, para darle a la pieza de un acabado final.
- El GELCOAT le da un acabado final perfecto a la pieza, gracias a una posibilidad de incorporarle pigmentos de colores.
- El GELCOAT no seca al aire, esta hecho para ponerlo en un molde y después enfriar encima. La solución es hacer una mezcla con getcoat y con parafina líquida [solución de estireno y parafina] al 4 % y esta mezcla si seca al aire.

El área superficial exterior del poste debe tener una última capa con resina poliéster para ser aplicado con un velo de fibra TOPCOAT, GELCOAT. El TOPCOAT es lo mismo que GELCOAT pero ya mezclado con parafina en su cantidad preciso de 4 % y que seca muy perfecto al aire que posteriormente actuara como película

protectora para asegurar la protección para que no ingrese humedad a la fibra de vidrios.

Los postes deben ser pintados con resina de poliéster y cargada en color gris.

Los postes tienen una presentación en acabado con pintura de resina de poliéster compuesto en color gris. Toda el área superficial del poste estará libre de imperfecciones provocadas por la deficiencia en la fabricación. En la parte interior del poste debe ser libre de obstrucciones por el producto de su fabricación.

**c. Resistente al fuego.** Diseñado y aprobado para tener una resistencia al fuego con una velocidad de quemado que pose inferior a los 25,4 mm/min, superando las clasificaciones HB de acuerdo a las normas ASTM D635 y UL - 94 HB, cumpliendo con las normas establecidas ASTM D4923-01.

Los postes cumplen y sobrepasan las especificaciones de flexión y rotura, estas pruebas han sido certificadas por el INEN.

**d. Principales ventajas de la fibra de vidrio.**

- Tiene una alta resistencia mecánica a la tracción y fatiga; Además brinda una resistencia específica tracción/densidad superior al acero.
- Incombustible: La fibra de vidrio es incombustible por ser material mineral en su naturaleza, no propaga la llama en presencia del calor tampoco no origina ni humos ni presenta toxicidad.
- Imputrescibilidad: No presenta ninguna modificación, no se pudre, es insensible a la acción que los rodean a su alrededor a de los insectos.
- Tiene una resistencia elevada a los agentes químicos.

- Brinda una retención de propiedades mecánica en elevadas temperaturas.
- En cuanto a su instalación es fácil, no es necesario la necesidad de maquinaria pesada, por presentar su bajo peso en comparación con la madera y el acero y el concreto.
- El factor de seguridad utilizada es de 2,5
- En cuanto a la protección de UV (ultra violeta) en el área superficial de los postes está protegidas por una cubierta por inhibidores de rayos ultravioleta que lo hace cumplir de su vida útil.
- El rango establecido de temperatura entre -30 °C y 70 °C, el material tiene un resultado a su resistencia en ensayos de envejecimiento acelerado sin presentar pérdida significativa de propiedades en las etapas equivalentes a su duración de 50 años.
- En cuanto al periodo de su vida útil: La duración del poste PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio) pueden superar los 80 años entre 20 y 40 años más que los materiales conocidos.
- En cuanto a los efectos de los accidentes de tráfico son absorbiendo por los impactos y son más flexibles, las pruebas demuestran que la fibra de vidrio evitan los mayores averías en los vehículos y ayudan conservar el habitáculo del conductor y los pasajero, poniendo en salvo a muchas vidas.
- Si un vehículo es impactado con una velocidad que ya se alta o baja esto pueden ser recuperado sin tener la necesidad de removerlos, ni que sea suspendido el suministro eléctrico.
- Lo conserva el medio ambiente en óptimas condiciones por ser un material limpio por ser ecológico.

- Tiene una presentación estética a las ciudades, ofreciéndoles la posibilidad de belleza a diversos colores permanentes en diferentes combinaciones.
- Facilitando su transporte e instalación por su bajo peso.
- Tiene una resistencia a corrosión recomendable y también a la intemperie en ambientes.
- Presenta bajo costo con herramientas por su peso para realizar su maniobra.
- En cuanto a su mantenimiento es bastante menor.
- Resistente a grandes temperaturas a la humanidad
- Es indispensables en aplicaciones tales como radiaciones y ventanas electromagnéticas.
- Es un excelente aislamiento para la parte eléctrico.
- Las propiedades mecánicas y eléctricas son bastante estables en las condiciones extremas donde presentan humedad y temperatura.
- Confiables, reducción de accidentalidad.
- No absorbe humedad.
- Mejoramiento de la confiabilidad de la red.
- Seguros de operar.
- Instalación económica y fácil.
- Cimentación económica y sencilla.
- No se oxida nunca.
- No es reciclable.
- No es tóxico.
- No permite fácilmente la descomposición de productos orgánicos.
- No produce gases.

- No acumula hongos y bacterias.
- No contamina el medio ambiente.
- No pierde su color y forma.
- Es fácil de limpiar, reparar y mantiene su belleza
- Es resistentes a los impactos y golpes fuertes.
- Es resistentes a los rayos ultra violetas.
- Es resistentes a los cambios de temperatura bruscas.

***e. Principales desventajas de la fibra de vidrio.*** En cuanto a las desventajas se puede mencionar que la fibra de vidrio está reconocida médicamente que puede presentar como un irritante de la piel, ojos y tracto superior de las vías respiratorias. Dolores de cabeza, conjuntivitis estas son los efectos más comunes cuando se exponen a altas concentraciones.

***f. Fibra de vidrio como refuerzo.*** La fibra de vidrio es el más utilizado en la actualidad como refuerzo para la fabricación de materiales compuestos. Las razones de un uso tan mayoritario que en la actualidad se utilizara para la realización de composites podemos encontrar en la conjunción de diferentes características de estas fibras, en los precio podemos encontrar una competencia de disponibilidad.

Las principales características de la fibra de vidrio son:

Presenta una buena adherencia fibra-matriz, y brinda una muy buena resistencia mecánica específica muy alta, Buenas propiedades dieléctricas, Incombustibilidad, y tiene una buena estabilidad dimensional, Buena resistencia a los agentes químicos.

*g. Existen diferentes tipos de fibra de vidrio.* Presentan el material con diferentes propiedades. De todos los materiales la fibra de vidrio es la más comúnmente empleada, y a su vez hemos utilizado en nuestra investigación, es la que más se utiliza como es conocida con el nombre que se denomina vidrio-E, debido a su buena relación por presentar una buena relación de propiedades/precio.

- **Vidrio E** (eléctrico): es la que se emplea más en la parte eléctrica, por ser la más recomendable y por presentar los más bajos coste.

También tiene una representación casi la totalidad del vidrio textil empleando en materiales compuestos de uso general, más del 90 % de los refuerzos, y en cuanto a sus propiedades eléctricas es recomendable. Las primeras aplicaciones industrial de la fibra de vidrio E fue el aislamiento de conductores eléctricos que fueron sometidos a elevadas temperaturas.

- **Vidrio R** (resistencia) o S (“strength”): Presenta mayor resistencia que el tipo E. Este material es utilizado principalmente en los campos de la aviación, espacio y armamentos.

Además cuenta con una resistencia a la tracción recomendable y un módulo de flexibilidad muy elevado a los otros tipos de vidrio. Además surgió por las demandas que presentaba en los sectores de aviación, espacial y armamentos, y ofrece a sus exigencias en el campo de los materiales como es en las resistentes a fatiga, temperatura y humedad.

- **Vidrio A** (alto contenido en álcali): Es el que presenta menos resistentes mecánicamente de los materiales anteriores.

- **Vidrio C** (“chemical”): Se caracteriza por presentar una buena resistencia química muy buena. Mecánicamente tendrían una similitud entre las fibras A y E. También lo podemos utilizarlo en las capas superficiales de estructuras sometidas en ambientes atmosféricos agresivas.
- **Vidrio D** (dieléctrico): Por sus propiedades dieléctricas son aplicados para materiales electrónicos en telecomunicaciones, y para señales de radares y ventanas electromagnéticas. Presentan estos materiales pérdidas eléctricas muy débiles y de aquí su empleo como material permeable a las ondas electromagnéticas.
- **Vidrio B** (Boro): Tiene una excelente propiedades eléctricas y tiene grandes durabilidades, es borosilicato de calcio con un contenido menor en álcali.
- **X** Presenta con una base de  $\text{Li}_2\text{O}$  por su transparencia en los Rayos X.

***h. Tabla de muestras de valores de propiedades de los principales tipos de fibra de vidrio.***

**Tabla 4**

*Propiedades de los distintos tipos de fibras de vidrio*

<b>Tipo</b>	<b>Vidrio A</b>	<b>Vidrio E</b>	<b>Vidrio S</b>	<b>Vidrio R</b>
Díámetro de hilo [ $\mu\text{m}$ ]	5 – 13	10 – 20	10	10
Densidad [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	2 500	2 540	2 480	2 590
Módulo de elasticidad [GPa]	69	72	86	85
Resistencia a la tracción [GPa]	3,1	3,5	4,6	3,4 – 4,4
Modulo específico	28	28	34	33
Coef. Expansión térmica [ $10^{-6}/^\circ\text{K}$ ]	8,6	5,0	5,1	5,0

Fuente: Navarro, 2012

*i. Postes de fibra de vidrio según adhorna.* Para los postes de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), presenta un peso igual al 10 % del peso de una estructura de poste de cemento, y en cuanto a su instalación es sencillo y rápido y tiene bajos costos de transporte y permite hacer su maniobra sin riesgo. Además, presenta recomendables propiedades dieléctricas, donde sus propiedades mecánicas y eléctricas satisfacen las condiciones de humedad y temperatura. Además de acuerdo a las pruebas es bastante resistente a la intemperie como en la corrosión, a los rayos UV (ultra violeta) y al fuego. El material brinda una larga duración y no requiere de mantenimiento.

Los PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio) son fabricados mediante un proceso de centrifugación. Se fabrican en alturas desde 3 a 12 m y tienen una conicidad de 18 mm/m. Pueden ir colocadas en el terreno mediante un sistema de empotramiento, o bien ancladas a la cimentación mediante placas de PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio).

Estos Postes, además del alumbrado público, pueden tener otras aplicaciones, como por ejemplo, postes de líneas de BT (baja tensión), mástiles de banderas, soportes de señalización, antenas de telecomunicaciones, etc. Disponemos de una serie “Serie TAJO” que se fabrican por un sistema diferente, se trata de un proceso de pultrusión y sirven principalmente como columnas ornamentales, fabricándose en alturas de 3, 4 y 5 m.

#### ***2.2.6.2. Cargas en las estructuras del poliéster reforzado con fibra de vidrio.***

*a. Presión del viento.* La presión de viento es aplicado sobre las áreas proyectadas de las estructuras donde serán colocados los conductores, los soportes y aisladores,

se calculará mediante la ecuación del Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011, que a continuación se presenta:

$$PV = K \times V^2 \times Sf \times A \dots\dots\dots[Ecuación 1]$$

Donde:

**PV** = Carga en newton sobre metro cuadrado [N/m<sup>2</sup>]

**K** = 0,613 Constante de presión, para elevaciones hasta 3 000 msnm.

**V** = Velocidad del viento en m/s.

**Sf** = Factor de forma 1,00 para conductores, aisladores y postes de concreto o metálico. 3,2 para torres de celosía.

**A** = Área proyectada en m<sup>2</sup>

***b. Momentos Generados por las diversas Cargas.***

$$Mr \geq Mvp + Mvc + Mvt + Mva + Mang + Mcva + Mcvc + Mcvt \dots[Ecuación 2]$$

**Donde:**

Mr: Momento que resiste el poste.

Mvp: Momento debido a la carga de viento sobre el poste.

Mvt: Momento debido a la carga de viento sobre el transformador.

Mvc: Momento debido a la carga de viento sobre los conductores.

Mva: Momento debido a la carga de viento sobre los aisladores.

Mang: Momento debido a la carga de ángulo.

MCVa: Momento debido a las cargas verticales peso de aisladores y herraje.

MCVc: Momento debido a cargas verticales peso de conductores.

MCVt: Momento debido al peso del transformador.

### ***c. Diseño de los postes.***

#### ***- Cargas verticales.***

Las cargas verticales aplicado sobre los cimientos en los postes, torres, crucetas, aisladores y accesorios de sujeción de los conductores y cables de guarda, se consideran como los peso propio de éstos más el de los cables de líneas, cables de guarda y equipo como son las ferretería de soportes, también se consideran los efectos que puedan resultar entre los soportes de los mismos actuantes.

#### ***- Cargas transversales.***

La carga transversal que es direccionada por el viento, soplando horizontalmente y en ángulo recto a la dirección de la línea, sobre la estructura, conductores, cables de guarda y accesorios. La carga transversal aplicado sobre la estructura, debida la acción del viento que ejecutan sobre los conductores y cable de guarda, se debe tomar las consideraciones las variables mencionadas para poder calcular considerando también el “vano viento” que lo podemos definir como la semisuma de los vanos cercanos a la estructura que lo consideramos.

De este modo la carga transversal, es igual al vano viento que es multiplicado por las cargas unitarias que es debido al viento.

#### ***- Carga longitudinal.***

Son consideradas las componentes de las tensiones mecánicas máximas de los conductores o cables, que son ocasionadas por desequilibrio a uno y otro lado de la estructura, que son ocasionadas por los cambio de las tensiones mecánica, remate o ruptura de los mismos. Por lo tanto, no es necesario estimar las cargas longitudinales en los postes que lo comprenden en vanos rectos a lo largo de la

línea, donde no varía la tensión mecánica productos por de los conductores y cables de guarda que se encuentran formados uno y otro lado de los soportes, excepto de los postes de remate que trabajan en tangente.

**- Datos del terreno para la Estructura.**

Se debe considera las siguientes condiciones:

➤ **Suelo gravoso:**

$$\sigma_T = 4 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (Lima)} \quad \sigma_{concreto} < \sigma_{adm} = 4 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

➤ **Suelo arenoso:**

$$\sigma_T = 1 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (Playa)} \quad \sigma_{concreto} > \sigma_{adm} = 1 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

➤ **Suelo arcilloso:**

$$\sigma_T = 0,8 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{(Sierra y selva)}$$

Suelo pantanoso

$$\sigma_{concreto} > \sigma_{adm} = 0,8 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

A que tener presente el nivel freático a 0,20m del nivel del piso terminado (NTP).

➤ **Densidad del concreto varía desde 2 200 – 2 400**

$$\rho_{concreto} = 2\,400 \text{ kg/m}^3$$

➤ **Densidad de la madera varía de 600 – 800**

$$\rho_{madera} = 800 \text{ kg/m}^3$$

➤ **Densidad del Metal acero A-36 7 200 - 7 900**

$$\rho_{metal} = 7\,900 \text{ kg/m}^3$$

➤ **Densidad de poliéster reforzado con fibra de vidrio PRFV**

$$\rho_{PRFV} = 1,8 \text{ kg/dm}^3 = 1800 \text{ kg/m}^3$$

**2.2.7. Método de fabricación del poliéster reforzado con fibra de vidrio**

Los postes de poliéster reforzado en fibra de vidrio son obtenidos a través de los siguientes métodos:

- Método Filament Winding ó método de enrollamiento.
- Hand Lay-up ó método por contacto

**2.2.7.1. Fabricación de los postes.**

Los postes deberán ser fabricados con resinas de poliéster termoestable que esta reforzado con fibra de vidrio [PRFV] (Poliéster reforzado con fibra de vidrio).

El material del poste será homogéneo constituido por el conjunto sintético por dos o más materiales. Y este elemento será de refuerzo [la fibra de vidrio] y un elemento fijado [que es la resina] para tener como resultado las características específicas y las propiedades que se desea, la resina y la fibra de vidrio deben ser compatibles químicamente. La resina deberá ser termoestable y será un material poliéster de tipo isoftálica o estervinílica, y el acrílico es cambiado, por fenólica o uretano, epóxica, Estos hilos de la fibra de vidrio tendrán que cumplir con las clasificaciones especificada de uso eléctrico, cuando se tendrá otro modelo de fibra diferentes a otro tipo de vidrio y este proceso fue ensayada y aprobada por más de tres años.

El laminado estructural es la combinación de fibra de vidrio tipo E o ECR y resina de poliéster insaturado que garantizan el desempeño mecánico del poste,

debe estar compuesto de una serie de capas de fibra de vidrio y resina dispuestas en forma helicoidal [enrollamiento de filamento].

Este procedimiento de embobinado nos permite direccionar los hilos en las direcciones de máximo esfuerzo, por lo tanto brindara al poste una excelente relación esfuerzo/peso que luego se realizara la comparación con otros procesos de fabricación.

Se seleccionará muy adecuadamente la sustancia de resina, lo cual nos posibilita obtener una excelente resistencia química al medio ambiente establecido y también para la corrosión del suelo donde se instale al estructura. Por lo tanto la fibra de vidrio lo fortalece al poste en un elemento aislante eléctrico.

El proceso de embobinado como tecnología de producción consiste en enrollar en los molde los hilos continuos de fibra de vidrio impregnados de resina con las dirección preestablecidos (el ángulo pequeño en una dirección axial). Con este proceso de trabajo aseguramos una relación de hilo/resina d hasta obtener un 65%, el cual nos brinda una garantía de máxima resistencia en la dirección axial.

Para realizar el embobinado aseguramos una mínima variación de diámetro, y también en lo que es peso y resistencia mecánica.

**a. Preparación del molde:** Limpieza y colocación de agente desmoldante.

**b. Enrollamiento de fibras de vidrios:** Proceso automatizado mediante el cual se produce el enrollado de fibras de vidrio impregnadas con resina sobre el molde (Filament Winding).

- c. Cura del laminado:** Mediante el uso de hornos, se acelera el proceso de polimerización del PRFV. La aplicación de calor permite obtener una alta productividad en el proceso.
- d. Desmolde:** La aplicación de una fuerza hidráulica, permite desmoldar y separar el poste del molde. El molde vuelve al ciclo productivo, y el poste va a la sección de terminación.
- e. Perforado:** A través de una agujereadora de cabezal múltiple, se realizan los agujeros necesarios, los que luego permiten fijar distintos elementos sobre el poste.
- f. Terminación:** Pulido, pintura, colocación de tapas en agujeros y tapas de extremos, colocación de placa de identificación, pintado de marcas de referencias, etc.
- g. Control de calidad y ensayos:** Una vez que los postes dejan atrás el proceso de terminación, se los somete a una serie de inspecciones y ensayos para dar dar conformidad con lo especificado en el diseño.
- h. Estiba de postes:** Aquellos postes aprobados, pasan al sector de estiba, donde esperan hasta ser despachados.
- i. Carga y despacho:** Se cargan los postes a despachar.

#### **2.2.7.2. Principales constituyentes del poliéster reforzado con fibra de vidrio.**

Material formado por una mezcla en escala macroscópica de dos o más materiales diferentes, diseñado para que sus propiedades mecánicas sean superiores a las de sus elementos constituyentes actuando por separado.

- Resina poliéster.
- Fibras de vidrio: hilos continuos, mantas, tejidos, velos, etc.

- Iniciadores y aceleradores de la reacción química.
- Pigmentos y gelcoat.
- Aditivos antillama.
- Aditivos anti-UV.
- Auxiliares: demoldantes, inhibidores, etc.

#### ***2.2.7.3. Resina poliéster.***

El poliéster es una resistencia termoestable que lo obtenemos por la polimerizaciones del estiren o con otros productos químicos que son agregados. Para el endurecimiento requiere de una temperatura ordinaria y será bastante resistente a la humedad, también para los productos químicos y para las fuerzas mecánicas. Para la fabricación de fibras, utilizaremos recubrimientos de láminas, etc.

#### ***2.2.7.4. Características generales.***

Los postes de PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio) deberán reunir los requisitos de las normas establecidas cumpliendo con las características particulares señaladas en sus especificaciones técnicas y deberán contar con las certificaciones apropiadas del producto bajo RETIE y con sus respectivas normas de construcción. Los postes se utilizan para la instalación de infraestructura de redes eléctricas aéreas, correspondientes a los niveles de tensión de CENS, como apoyo para el montaje de redes, luminarias, equipos y/o transformadores con sus respectivas protecciones.

Se emplearán principalmente en zonas rurales y urbanas de difícil acceso, en las zonas industriales de alta contaminación y alto nivel de descarga atmosféricas, siendo transportados fácilmente por el personal capacitado.

Además debe ser bastante resistente a los rayos solares, a la humanidad, a la lluvia. El área superficial deberá ser auto-limpiante con el fin de la acumulación de la suciedad en el interior de la estructura.

Los postes deberán ser troncocónicos de un solo tramo correspondiente a la longitud solicitada por CENS, tener sección circular y serán ahuecados circularmente.

Los postes deberán abastecerse con dos perforación de espesor no menor a 2 cm, una localizada que estarán a una distancia entre 20 y 50 cm y estarán por debajo de las marcaciones de enterramiento y la otra salida se encuentra registrada en su parte superior del estructura a 10 cm y estarán por debajo de la perforaciones inferior y deben contar con una mecanismo que permita el libre paso del conductor de protección de la puesta a tierra que esto será por el interior del poste y luego será la conexión al electrodo de puesta a tierra, se debe tener en cuenta el diseño de estos orificios de tal para que sea fácil el alambrado.

#### ***2.2.7.5. Características mecánicas y térmicas.***

Las cargas de diseño de los postes deberán ser de acuerdo a las normas de RETIE [510 kgf, 750 kgf, 1050 kgf, 1350 kgf, 1500 kgf], el factor de seguridad esta normada de 2,5 entonces la carga de diseño del poste deberá ser superior o igual en 2,5 veces de los requerimientos por las cargas de la acción de trabajo a las que serán sometidos.

El poste deberá estar de acuerdo como para soportar esfuerzos térmicos y mecánicos horizontales y verticales de acuerdo a las condiciones de utilización en un sistema de distribución tal como el de CENS.

El poste no debe sufrir talladuras en el momento de vestir las ferreterías como son, las arandelas de presión, tuercas y tornillos que se utilicen en la fijación de los diferentes elementos.

El poste debe estar garantizados para los esfuerzos de compresión que transmite los templetes o vientos para evitar el doblado del poste.

El poste debe estar garantizado para los esfuerzos de compresión que transmite los temples o vientos para evitar el doblado del poste.

El poste deberá quemarse a una rata de velocidad menor que 2,54 cm/min y tendrá que cumplir con lo indicado de la norma ASTM D635. La dureza de BARCOL tendrá que ser de 32 de acuerdo a la norma ASTM D2583. La absorción de humedad del poste tendrá que brindar un máximo porcentaje de absorción de 0,6 % después de inmersión en agua a 25 °C de acuerdo con la norma de ASTM D570.

El poste deberá ser ensayado de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM D4923, el poste durante prueba de deflexión no debe presentar agrietamientos ni fisuras y conservar la relación de esfuerzo/deformación de diseño.

El poste deberá aguantar una torsión de 75 Nm de los pernos o espaciadores sin presentar fisuras, ovalamientos y grietas, además deberá aguantar la presión de halado hacia debajo de los pernos espaciadores de los equipos del sistema de redes de distribución tales como transformadores, reguladores y reconectores, la tensión mínima del equipo sin que presente daños en el poste es de 22,24 N.

El poste deberá resistir la cizalladura en un lado que ocasionen los equipos instalados en el poste. También se deberá resistir cargas de torsión por el desequilibrio de las cargas, tal como lo estipula la norma manual ASCE N° 104.

#### **2.2.7.6. Características eléctricas.**

El material del poste deberá ser eléctricamente no conductivo, para los niveles de M.T. y B.T. el método de ensayo esta normado bajo esta condición ASTM D149 ó 257. y deberá ser resistente a la llama que puede ocasionar las descargas atmosféricas u otros efectos.

Para determinar las características eléctricas se harán las pruebas de diseño del poste. Los ensayos serán aplicados en corriente alterna para las condiciones en secas y húmedas.

Los ensayos serán realizados para montajes similares para los que se utilizan en los terreno establecidos, con y sin aisladores tipo suspensión y/o tipo pin para 13,2 kv y 34,5 kv y con conductores desnudos. Las normas para estos ensayos estarán de acuerdo con la norma IEEE-4 y la norma ANSI C29.1.

Los ensayos con corriente alterna se determinaran el comportamiento de los aisladores con crucetas no conductivas. El BIL del poste será un mínimo de 300 kV.

#### **2.2.7.7. Requerimientos técnicos y particulares.**

Los requerimientos de los postes deben de reunir las siguientes indicaciones

- Debe ser resistente a los rayos solares.
- Evitar propagar la llama.
- La rigidez dieléctrica debe ser altamente elevada.

- La dureza debe ser alta.
- La resistencia a la tracción y a la flexión debe ser bien alta.
- Para los químicos y ácidos debe ser altamente resistente.
- Debe ser libre de mantenimiento.
- No debe contener almacenamiento de elementos que pueden servir de alimento o que puedan permitan vivir los microorganismos.
- Los postes deben de llevar en la parte superior de la cima y en la base una tapa que puede ser fija o removible.
- Para los caso de los postes seccionados deben de llevar marcaciones clara para su correcto acople, también debe de llevar las instrucciones de instalación.

#### ***2.2.7.8. Normas de referencias.***

También se puede emplear normas internacionalmente reconocidas equivalentes o superiores a las señaladas, siempre y cuando que se ajusten al diseño establecido en la presente Especificaciones Técnicas. Las normas solicitadas para la presente especificaciones (u otra similar que llegue a ser aceptada por CENS).

Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE.

- ASTM D4923: Standard Specification for Reinforced Thermosetting Plastic Poles.
- ASCE Practice N°104: Recommended Practice for Fiber-Reinforced Polymer Products for Overhead Utility Line Structure.
- ASTM D578: Standard Specification for Glass Fiber Strands.
- ANSI/IEEE C2: National Electric Safe Code.

- ASTM D635 Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Self-Supporting Plastics in a Horizontal Position.
- ASTM D144 Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies.
- ASTM G155 Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials.
- AAMA 615 Voluntary Specification for High Performance Organic Coatings on Plastic Substrates.
- IAPMO/ANSI Z124.1.2. Plastic Bathtub and Shower Units.

***a. Método filament winding ó método de enrollamiento.***

El bobinado, o método por enrollamiento de filamento es uno de los procedimientos de fabricación para obtener el trabajo planeado de la estructuras del material compuesto. El desarrollo consiste en envolver los filamentos con cintas templadas que deben estar bañado con una resina termoestable, este procedimiento se debe hacer sobre un molde macho cilíndrico o mandril. El mandril gira, en forma de centrifugado que una maquina lo pone en movimiento en la dirección horizontal. Los filamentos más usados son el de carbono y el de vidrio de fibra y son envueltos con una resina sintética en el momento que se van enrollando. Una vez que el mandril este cubierto con el espesor deseado completamente, se pone en un horno para endurecer (curado) de la resina. Una vez curado con la resina el mandril se retira (desmolde), dejando el producto terminando en forma de tubo.

***b. Hand lay-up ó método por contacto.***

El método de contacto manual [Hand lay-up], se pone sobre un modelo de filtros de fibra embobinada, que son mechas trenzadas y otros tejidos hechos de fibra y que son bañados con resina y con una brocha manual, luego se pasa con un rodillo, se coloca capas hasta llegar al diámetro del diseño, el moldeado se le hace una curación sin calor ni presión, el molde se logra mediante de sustancias catalizadores que es agregado a la resina.

***c. Comparación con los demás Estructuras.***

**Tabla 5**

*Comparación de los postes de prfv con otras estructuras*

<b>Ítem</b>	<b>Prfv</b>	<b>Acero</b>	<b>Madera</b>	<b>Hormigón</b>
Comparativa pesos [Valores relativos]	1	1,5	3	8
Vida útil [años]	50 a 80	20 a 30	10 a 20	10 a 25
Corrosión	NO	Si	No	parcialmente
Degradación orgánica	No	No	Si	No
Costo del transporte	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto
Costo de la instalación	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto
Apariencia	Uniforme	Uniforme	No uniforme	Uniforme
Resistencia mecánica	Uniforme	Uniforme	No uniforme	Uniforme
Conductividad eléctrica	No conductor	Conductor	Semiconductor	Semiconductor
Inflamabilidad	No	No	Si	No
Reparables	Si	Si	No	No
Absorción de agua	Muy bajo	Nulo	Alto	Muy alto
<b>Conclusiones</b>	<b>Postes de PRFV poseen la cantidad de ventaja</b>			

Fuente: Elaboración del Grupo Petroplast, Postes y crucetas de PRFV, 2011

***d. Control de calidad del poliéster reforzado con fibra de vidrio.***

- Una vez realizado los ensayos de envejecimiento acelerado de acuerdo a la norma ANCI C136, 20 con una duración de tiempo de 5 000 horas de exposición.
- Brinda un porcentaje de absorción de 0,6 % después de sumergir al agua a 25 °C cumpliendo las indicaciones de la normas ASTM D570.
- En la parte eléctrica cumple una rigidez dieléctrica de 8 kV/mm de acuerdo a la norma ASTM 149.
- Para las resistencias químicas cumple con sus especificaciones para la dureza de la película seca y húmeda de acuerdo a la norma AMMA 615.
- La estructura no debe sufrir una deflexión superior al 10 % de su longitud, cuando es aplicado su carga de trabajo.
- Los postes tiene que cumplir las recomendaciones por la norma ASCE 104 el torque de apriete de las ferreterías.

***e. Puesta a tierra en postes de fibra de vidrio.***

Dada las condiciones eléctricas que brindan estos modelos de postes, no necesitan equipotencializar su área estructural. El cable de protección de puesta a tierra ingresara por el orificio C1 y salir por el orificio C2 para conectarse al punto de configuración de la puesta a tierra. El enlace que ara con la varilla al cable de puesta a tierra se le quitara la cubierta protectora para ser enterrado desnudo y puede cumplir con el cargo de disipación de corriente.

***f. Ficha técnica del producto de poliéster reforzado con fibra de vidrio.***

**Tabla 6**

*Ficha técnica del producto prfv*

<b>Propiedades</b>	<b>Descripción</b>
Características técnicas	Los Postes en PRFV, son fabricados en moldes manuales, cumpliendo con las recomendaciones de la carga, tensión de rotura, flexión, resistencias a la abrasión por las degradaciones de la rigidez di-eléctrica, y las absorciones de humedad, para la resistencia a rayos solares UV. El poste de 8X510, debe tener una carga de trabajo de 204 Kgf, una flexión < 66 cm y una deformación < 5 cm; y el poste de 8x750, debe contar con una carga de trabajo de 3 00 Kgf, una flexión < 66 cm, con una deformación de < 5, en cuanto a Rigidez Dieléctrica debe ser > 8 Kv/mil de pulgada, la absorción de humedad deber ser < 0,6% Todo lo anterior se mide con prueba
Cualidades	Los Postes en PRFV, son instalados en zonas de difícil acceso, por contar con materia prima e insumos livianos facilitan la manipulación, cuentan con una vida útil de más de 60 años.
Tecnología	La fabricación de Postes en PRFV, requiere de una maquinaria mínima como: Una pulidora, cortadora, molde macho y hembra.
Características físico químicas	Los Postes en PRFV, cuentan con una serie de pruebas como. Flexión bajo carga, carga de rotura, torsión, resistencia a la degradación por abrasión, rigidez dieléctrica, resistencia a rayos solares. Estas pruebas permiten evaluar la calidad del producto.
Condiciones climáticas	Los Postes Reforzado en Fibra de Vidrio cuentan con una resistencia a tormentas eléctrica vientos fuertes y temperaturas elevadas.
Factores ambientales	La estructura reforzada con la fibra de vidrio es un material adecuado a la naturaleza ya que su polimerización completa evita el lavado y emanación con los materiales tóxicos del medio ambiente.
Características de empaqué	El empaque debe ser de forma individual. Resistente al calor, a la lluvia y que sea de fácil manipulación.
Almacenaje	Los postes de PRFV serán almacenado en forma segura y eficaz para evita el desploma miento y así se evitara los accidentes, y posteriormente serán retirados de acuerdo a la necesidad requeridas, además estarán clasificados por las diferentes medidas para evitar confusiones en el momento de su traslado al punto de trabajo.
Materia prima	Se requiere: Resina, Tela matt, gel coa, Masilla, Etc

Fuente: Pineda y Toro, 2015

***g. Ensayos.***

***- Ensayos sobre el material constitutivo.***

Los ensayos se deben realizar de acuerdo a una norma de nivel Internacional y nacional, emitida la norma en Perú según resolución directoral N° 243-2015-MEM/DGE del 2015 y del grupo epm.

Para asegurar las mínimas propiedades mecánicas y de uso del material, se debe sacar muestras de postes que se someterán a los ensayos especificados en la tabla N° 3.

Además de los ensayos Listados en la tabla N° 3 los fabricantes deben presentar los ensayos de tipo que hayan realizado en la definición de los diseños de los postes presentados especialmente en la referencia:

- Inflamabilidad
- Resistencia al impacto
- Resistencia a la tracción
- Propiedades mecánicas luego del envejecimiento acelerado uv.

***- Inspección visual al poliéster reforzado con fibra de vidrio.***

Se debe verificar que la terminación de los postes cumplen lo especificado, que la superficie exterior debe ser uniforme y de color blanco o anaranjado. No debe tener grietas, de laminaciones, fibras expuestas, arrugas, hilos abiertos, grumos, fisuras estructuras o escurrimiento de resina.

**- Dimensiones de poliéster reforzado con fibra de vidrio.**

Se debe verificar las dimensiones especificadas en la tabla de datos garantizados presentada por el proveedor.

**- Orificios pasantes de poliéster reforzado con fibra de vidrio.**

Se debe comprobar todas las dimensiones de los orificios pasantes y sus tolerancias, de acuerdo a lo especificado como son:

- Diámetro de orificio pasante  $\Phi 18 \text{ mm} \pm 1$
- Tolerancia de orificio pasantes en el diámetro  $\pm 1 \text{ mm}$
- Tolerancia en la distancia entre dos cualquiera de los orificios pasantes :  $\pm 3 \text{ mm}$
- Tolerancia en la horizontalidad :  $\pm 0,5^\circ$

**- Ensayos de flexión simples.**

Procedimiento de ensayo:

- El ensayo se debe llevar a cabo con el poste en posición horizontal y con la base dentro de un dispositivo que permita realizar el empotramiento en la longitud prevista. Este dispositivo puede ser de cualquier tipo siempre que no introduzca deformaciones adicionales a las propias del poste. El poste no debe flexar por peso propio, por lo tanto si es necesario se debe contar con apoyos intermedios que no introduzcan fuerzas de rozamiento apreciables.
- La carga se aplica perpendicular al eje a 30 cm de la cima, efectuándose las medidas de flechas en la dirección del esfuerzo solicitante.

- Se aplica el esfuerzo en forma continua y creciente hasta la carga nominal del poste. Luego se retira la carga en forma lenta y continua hasta que el dinamómetro no indique ningún esfuerzo aplicado. Se mide la flecha residual. Esta carga previa tiene por objeto verificar las condiciones de empotramiento.
- El poste se carga nuevamente en forma continua y creciente hasta la carga nominal y se mantiene durante 5 minutos efectuándose entonces la lectura de la flecha correspondiente, debiendo ser, descontando la flecha residual, inferior o igual al 10 % de la altura útil.
- A partir de este momento se deben hacer simultáneamente lecturas del dinamómetro y respectivas medidas de flecha para variaciones de carga del 10 % de la carga nominal. Para una carga igual a 1,2 veces la carga nominal y luego de mantenida ésta durante 5 minutos, se hace la lectura de la flecha. Se continúa aumentando la carga paulatinamente hasta llegar a 1,4 veces la carga nominal. Se mantiene ésta durante 5 minutos y se mide la flecha. No deben observarse fisuras ni desprendimiento de material.
- Se retira la carga en forma lenta y continua hasta que el dinamómetro no indique ningún esfuerzo aplicado. Se dejan transcurrir 10 minutos y se mide la flecha residual.
- Se carga nuevamente el poste en forma continua y creciente prosiguiendo el ensayo para cargas mayores, hasta que se verifique el coeficiente de seguridad 2 sin que se observen fisuras ni desprendimiento de material. Comprobado esto, el poste pasa el ensayo de flexión.

- Se continua aplicando la carga hasta llegar a la rotura del poste y se registra el coeficiente de seguridad que magnificando el esfuerzo nominal produce la rotura del mismo.

#### ***h. Ensayos de recepción.***

Los ensayos de recepción tienen un plan que están de acuerdo con las recomendaciones de acuerdo a esta publicación IEC 410 o UNIT 472-75.

En la parte de extracción de muestras se tomara números de piezas para un llevar un control normal de nivel de inspecciones especiales denominado S3, según el plan establecido que se tiene para el muestreo simple. Para estos tipos de ensayos se establece bajo estas norma AQL de 2,5 %.

Salvo indicación contraria, estos ensayos se deben llevar a cabo en los laboratorios del fabricante. Las piezas deben ser tomadas del lote al azar por el inspector.

Los ensayos de recepción a efectuar se definen en la *Tabla V*:

#### ***i. Inspección, pruebas y sus certificaciones.***

- Los postes distribuidos estarán de acuerdo con las especificaciones, que serán sometidos por el fabricante a las pruebas de rutina diarias, además serán certificadas por una norma al cual que se haya contemplado.
- Las pruebas de ensayos deberán ser realizados en presencia por parte de un inspector (es) que estos profesionales deben encontrarse habilitado y autorizados.
- La venta de las estructuras no se deberá proceder de ninguna manera sin el visto bueno por parte del grupo de inspectores.

- El fabricante notificara a los supervisores con una anticipación de treinta días calendario, constando la fecha y el lugar de los ensayos.
- El inspector para renunciar para las pruebas de ensayo a través de un comunicado con días de anticipación de acuerdo al convenio establecido.
- Los postes que hayan tenido cizallamiento en el momento de su elaboración, no podrán ser resanado o maquillados por parte del fabricante de las estructuras.
- La inspección por parte de la supervisión el control de calidad debe ser redactada en físico.
- Del 10 % del lote fabricado de los postes, si resultaran defectuoso que presentaran daños físicos, estos serán observados y rechazados el lote completo.

***j. Pruebas de laboratorio.***

Estos productos han venido incursionado en nuestro país desde el año 2010 por sus propiedades y su vida útil y que presenta por su mantenimiento cero y estos productos nos permite emplear en zonas altamente contaminante y salinas (zonas costera del mar) y lugares de difícil acceso (zonas de la sierra y selva).

Se procedió hacer las comparaciones en el laboratorio el peso que tiene el poste es de 10 veces menor que del poste de concreto centrifugado, por lo tanto facilita el traslado el traslado sin utilizar las maquinas adecuadas, además en la actualidad las empresa como son de TECSUR S.A. y EDELNOR trabajan con este tipo de postes de fibra de vidrio.

***- Pruebas a la intemperie.***

Los postes de fibra están comprobados bajos las normas ASTM por más de 2 500 horas cumpliendo con los objetivos deseados como son color del brillo, no presenta

grietas por lo tanto no presenta cambios en sus propiedades cumpliendo con las normas ANSI C136.20.

**- Resistencia al fuego.**

Es altamente resistente al fuego que tiene una resistencia a la temperatura a mayor de 1 200 grados centígrados sometidos por más de 24 horas por lo tanto no cambia, se conserva el 100 % de su resistencia original, y es sometido al quemado con fuego con 25.4 mm/min y se mantiene su originalidad por tener 1.92 veces que tiene resistencia a la transferencia de calor.

**- Resistencia a la flexión y rotura.**

Los postes de fibra de vidrio sobrepasan las especificaciones en cuanto a la resistencia a la flexión es de 110 a 1 750 y su resistencia a la tracción es de 60 a 1 200 MPa, y el módulo de tracción es de 5 a 50 Mpa, resistencia a la compresión es de 110 a 500 Mpa estas pruebas han sido certificado por INEN amparándose bajo la norma ANSI C136.20 y ASTM D492-01.

**- Terminado superficial.**

Los PRFV tienen un acabado superficial que garantiza la resistencia de los rayos ultravioleta.

**- Resistencia de fatiga a flexión.**

Los postes han sido sometidos a los ensayos de fatiga a flexión con un millón de periodos que simulaba el comportamiento del poste en el tiempo de su vida útil basándose en las normas ASTM D4923-01.

En cuanto para los ensayos de flexión sometido bajo carga se selecciona del lote de fabricación al azar para ser sometido a las pruebas respectivas.

Se tiene una ecuación para determinar los ensayos en el laboratorio.

$$Le = (L / 10) + 60 \text{ cm} \dots\dots\dots / \dots\dots\dots [\text{Ecuación 3}]$$

Donde:

L = longitud del poste

Le = longitud de empotramiento

**- Cuadros de empotramiento.**

**Tabla 7**

*Cuadro de empotramiento los postes de PRFV.*

<b>Altura del poste (m)</b>	<b>X</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Altura de empotramiento(m)	E	1,4	1,5/1,4	1,6/1,5
Diámetro de la cima(m)	C	0,14	0,14	0,15
Diámetro de la base(m)	D	0,27	0,28	0,32
Peso(kg)		65	75	110
Carga de trabajo(kgf)		200	300/375	300/375
Carga de diseño (kgf)		400	750	750

Fuente: Tecsur S.A. y Edelnor, 2015

**k. Rotulado y señalización.**

El rotulado se colocara en los postes con las dimensiones de 12 x 7 cm que debe estar remarcado a 2 metros sobre el piso terminado con una tinta indeleble y el rotulado deberá de contener las siguientes:

- Llevará el nombre del fabricante o la razón social.
- Llevará el Logotipo del Grupo EPM.
- Llevará el número de contrato consecutivo del poste según fabricante.
- Se colocara la longitud del poste en metros.
- Se colocara la carga mínima de rotura en kgf.

- Se colocara la carga de Trabajo en kgf.
- Llevará la fecha de fabricación (dd-mm-aaaa).
- Llevará el Peso del poste en kg.
- Leyenda “TAMAÑO DE EMPOTRAMIENTO 2 m”

***l. El poste tiene señalizadas las siguientes secciones.***

- Centro de gravedad: debe llevar una franja de 30 mm de ancho, con pintura indeleble de color rojo que cubra todo el perímetro, en el sitio que corresponde al centro de gravedad.
- Profundidad de empotramiento: debe llevar una franja de 30 mm de ancho, con pintura indeleble de color verde que cubra todo el perímetro, que indique hasta donde se debe enterrar el poste.

***m. Deformaciones o flechas bajo carga.***

El poste será sometido bajo la acción de la carga aplicada a 20 cm de la punta del poste con el 40 % de intensidad de la carga mínima de ruptura , la flecha no debe ser superior al 3 % del tamaño del poste, la deformación no será al 5 % de la catenaria máxima especificada para el tipo de.

Presentamos la tabla los límites para deflexiones bajo carga y deformaciones permanentes.

**Tabla 8***Deformaciones o flechas bajo carga*

<b>Carga mínima de rotura</b>	<b>Carga de trabajo</b>
510 kgf	204 kgf
750 kgf	300 kgf
1050 kgf	420 kgf
1350 kgf	540 kgf
1500 kgf	600 kgf
2000 kgf*	800 kgf
3000 kgf*	1200 kgf

Fuente: Cens S.A.E.S.P.Centrales Eléctrica del Norte de Santander S.A., 2008

### **2.3. Definición de términos**

#### **2.3.1. Esfuerzo**

Está definido como un conjunto de fuerzas y momentos estáticamente iguales en la distribución de tensiones internas sobre el área superficial de la sección.

#### **2.3.2. Nivel de tensión**

Los niveles de tensión de fibra de vidrio se comprueban y reporta como son: la tensión de rotura que se dan (MPa) y el esfuerzo de compresión (MPa), la Densidad ( $\text{g/cm}^3$ ), Dilatación térmica ( $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$ ), Temperatura de ablandamiento ( $^\circ\text{C}$ ).

#### **2.3.3. Ecológico**

Termino que se refiere al estudio y análisis de la vinculación que surge entre los seres vivos que los rodea a su contorno, comprendiendo como la mezcla de los factores abióticos (entre los cuales se puede mencionar al clima y a la geología) y los factores bióticos.

#### **2.3.4. Resina**

Es una sustancia pastosa o sólida que se adquiere de manera natural a partir de una secreción orgánica de ciertas plantas. Gracias a sus características químicas, las resinas lo utilizamos para la fabricación de perfumes, adhesivos, barnices y aditivos alimenticios, entre otros productos.

#### **2.3.5. Catalizador**

Las resinas plásticas fortalecidos con vidrio necesitan de un catalizador para tratar adecuadamente. Estos productos químicos tienen una reacción violenta en contacto con la resina. El catalizador más común para las resinas de poliéster es el peróxido de metil-etil-cetona, también conocido como peróxido de MEK.

#### **2.3.6. Concreto armado**

Es el concreto con barras o mallas de acero, que son denominados armaduras, también es posible armarlo con fibras, tales como fibras de vidrio, fibras de acero y fibras plásticas o combinaciones barras de acero con fibras dependiendo de las necesidades a los que estarán sometido.

#### **2.3.7. Poste**

Un poste, es un soporte a algo. También conocido como poste de luz donde se utiliza para el tendido de las redes eléctricas o que tiene un foco en su parte superior para brindar una iluminación a un espacio público.

#### **2.3.8. Dureza**

La dureza es una propiedad física de los materiales que está basado con la unión de las moléculas que lo conforman, evitando así que cualquier otro elemento o sustancias lo partan, lo penetre, o lo comprometa.

### **2.3.9. Resistencia**

La resistencia es la acción o capacidad de aguantar u oponerse. Sin embargo, las definiciones quedaran sujeta a las diferentes disciplinas en la que será aplicada.

### **2.3.10. Flexión**

Flexión lo denominamos al tipo de deformación que presenta un componente estructural alargado con una dirección perpendicular a su eje longitudinal.

El término "alargado" se produce en una dimensión dominante frente a las otras. En un caso típico las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión. De tal manera, flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas.

### **2.3.11. Fatiga a la flexión**

Es un efecto generado en el material debido a la aplicación de cargas dinámicas cíclicas, a su vez son aplicados esfuerzos variables, alternantes o fluctuantes en gran cantidad de repetición de esfuerzos que al final lo conduce a la falla por fatiga del elemento, así el máximo esfuerzo.

### **2.3.12. Torsión**

Torsión mecánica consiste son las aplicaciones de un par de momento de fuerza sobre el eje longitudinal de un elemento constructivo prismática mecánico. El estudio general de la torsión aparecerán tensiones tangenciales semejantes a la sección transversal.

### **2.3.13. Esfuerzo de compresión**

Es la resultante de las tensiones o presiones que se aplican dos fuerzas de igual magnitud en la misma dirección y en sentido opuesto sobre de un sólido o cuerpo

deformable , caracterizada porque son reducidas de volumen del cuerpo, y a un acortamiento del cuerpo que tiene una reacción determinada y el esfuerzo de compresión puede ser simplemente la fuerza resultante que actúa sobre una determinada sección transversal al eje baricéntrico de dicho prisma.

#### **2.3.14. Pandeo**

Es el esfuerzo combinado de flexión y compresión, se da en elementos de disposición vertical, por ejemplo en una estructura muy alta y de poca sección.

#### **2.3.15. Madera**

Es un material ortótropo, con diferentes elasticidad según la orientación de la deformación, encontrado en la naturaleza como principal contenido del tronco de un árbol, además los árboles son caracterizados por tener troncos que crecen año tras año, formándose anillos concéntricos correspondientes de distintos crecimiento de la biomasa según las estaciones del campo, y que están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina.

#### **2.3.16. Fibra**

Se denominan fibra o fibra textil a los conjuntos de filamentos o hebras que son susceptibles para ser usados para hacer la formación de hilos (y de estos los tejidos), ya por hilado, o por procesos físicos o químicos. Así, la fibra es la estructura fundamental de los materiales Tejido (textil) textiles.

Para obtener los hilos, para tejidos y como para no tejidos se puede utilizar dos tipos de fibra.

- **Fibra corta:** Son hebras de 6 cm de longitud. Se considera de mayor calidad cuanto más larga y más fina sea.
- **Filamento:** Es el filamento de hebras continuas de alta calidad es el más suave y resistente.

### **2.3.17. Solvente**

Es un filamento de origen natural, artificial, apto para poder ser hilado y tejido, que generalmente presenta gran finura y buena flexibilidad, y se obtiene la fibra artificial de la Fibra textil que se obtiene a partir de la transformación química de productos naturales (celulosa y proteínas animales o vegetales) y la fibra natural de la fibra textil que se obtiene a partir de productos naturales de origen vegetal (algodón, cáñamo), animal (lana, seda) o mineral (amianto).

### **2.3.18. Cera**

Las ceras son denominados esterres de los ácidos grasos que contienen alcoholes con un peso molecular elevado, que son moléculas que se logra por esterificación, la temperatura de fundición del material es de 45 grados centígrados.

### **2.3.19. Película separadora**

La película separadora es un producto diseñado para lograr un fácil y uniforme desprendimiento de aplicaciones de resina y Gel Coats en moldes de fibra de vidrio, metal, madera, vidrio, etc.

### **2.3.20. Gel coat [capas]**

El Gel coat es un elemento importante para proteger y reforzar de la acción de corrosión y agentes destructoras externos a su vez embellece el material en proceso.

### **2.3.21. Rigidez dieléctrica**

Los campos eléctricos de reducidas medidas polarizan los dieléctricos, que dan una orientación a sus moléculas sin extraer electrones de sus respectivos átomos, por lo tanto no producen corriente de conducción dieléctrica, la rigidez dieléctrica del aire seco de nuestra naturaleza es de 30 kv/cm, superior a este valor se produce el arco eléctrico.

### **2.3.22. Absorción**

Consiste en separar uno o más componentes de una combinación gaseosa con el apoyo de un solvente líquido con este procedimiento se forma soluciones [un soluto o varios solutos] que son absorbidos de las fases gaseosas y que luego pasan al estado líquido. Este desarrollo implica una transmisión molecular turbulenta o un sedimento de masa a soluto A a través del gas B que no se hace la difusión que está en reposo hasta un proceso de obtención de un líquido C que también se encuentra en reposo.

### **2.3.23. Gravedad específica**

La gravedad específica son comparaciones de la densidades de diferentes sustancias con la densidad del agua por lo tanto la gravedad específica es equivalente de los elementos entre del agua. Por lo tanto la gravedad específica no tiene unidades.

### **2.3.24. Conductividad térmica**

Es la facilidad con que un medio conduce una energía eléctrica es decir dependerá mucho de los materiales a transferir calor por conducción esto se produce por contacto directamente con el material y sin intercambio de materia.

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Según el objetivo de la investigación se trata de una investigación tecnológica aplicada y según el manejo de datos es una investigación cuantitativa.

#### **3.2. Diseño de la investigación**

El diseño de investigación es experimental, con pruebas de flexión de los postes sometidos al estudio específico.

#### **3.3. Población y muestra**

En el presente trabajo de investigación no se cuenta con población ni muestra, por ser un tema de estudio que se trata a un solo elemento y sus aplicaciones. Por lo tanto el trabajo de investigación será desarrollado bajo esa perspectiva. Se debe resaltar que mayormente en trabajos de índole social es que se recurre a trabajar con una población y una muestra.

### **3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos**

Para realizar las pruebas de ensayo se emplea los siguientes instrumentos:

#### **3.4.1. Dinamómetro**

Es un instrumento para medir fuerzas internas, basado en la capacidad de deformaciones de los cuerpos que utilizamos para determinar los valores que la norma lo fija.

Existen varios tipos de dinamómetros diseñados para diversas funciones a realizar los trabajos respectivos y estos son:

- Dinamómetros mecánicos
- Dinamómetros electrónicos

Estos dinamómetros son más precisos presenta un desviación máxima de más menos del 0,3 por ciento.

- En cuanto a las marcas el más recomendado para estos tipos de trabajos de precisión es la marca PCE- CS 5 000 N.
- Y para fuerzas mayores es el dinamómetro que es manual y digital por su seguridad, la marca es PCE-CS 1 000 N

#### **3.4.2. Tecle**

Es un instrumento que controla la fuerza aplicado al cuerpo a través de un dinamómetro para ver las deformaciones que va sufriendo la estructura.

El tecle que se usa en el presente trabajo realizado es el tecle manual de cadena para poder tener el control de la fuerza adecuado, de las deformaciones que va sufriendo el material. Existen varios tipos de Tecles:

- Tecles manuales de cadena

- Tecles manuales de palanca
- Tecles neumáticos
- Tecles eléctricos
- Las marcas de tecles la más recomendada es Marca Yale – Alemana, de 0,5 ton hasta 20 ton.

### **3.4.3. Flexómetro**

El flexómetro es un instrumento para obtener unidades de medidas cortas, además se fija distancias normadas para fijar los trabajos de ensayos respectivos para la aplicación del dinamómetro. Existen varios tipos de instrumentos de medición y los tipos de flexómetros recomendables son:

- Flexómetro Bellota
- Flexómetro de rueda de medición Odómetro Marca Lufkin
- Cintas métricas homologadas CM5512MMT, CM551B2MMT, CM551.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. Presentación de resultados**

Los resultados obtenidos de nuestra investigación al haber sometido a prueba a Postes de Poliéster Reforzado con fibra de Vidrio, postes de concreto armado y centrifugado, postes de madera y postes de metal, hemos podido hacer las comparaciones de los resultados de los esfuerzos mecánicos y además podemos hacer las recomendaciones en cuanto a su vida útil de acuerdo a los ensayos obtenidos de las pruebas de los postes, y a continuación nos muestran los siguientes datos de los ensayos respectivos:

Las pruebas de ensayos de postes de fibra de vidrio se muestran en los apéndices correspondientes.

**Tabla 9***Cuadro de comparación entre estructuras*

<b>Factor de calculo</b>	<b>Prfv</b>	<b>Madera</b>	<b>Metal</b>	<b>Concreto</b>
Duración [Años]	50 a 80	10 a 20	20 a 30	15 a 25
Peso	más liviano	Intermedio	Liviano	Pesado
Pre perforación	Si	Si	Si	No
Costo de transporte	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto
Resistencia a la corrosión	No aplica	No aplica	Altamente posible	posible
Costo de Instalación	Menor de todos	Bajo	Medio	Alto
Resistente hongos, Insectos	No aplica	Baja resistencia	No aplica	No aplica
Costo de mantenimiento	Ninguno	Alto	Medio	Alto
Impacto ambiental	Ninguno	Tratado c/químicos	Proceso alvánico	No aplica
Costo intangibles	Bajos	Altos	Altos	Altos
Resistencia de material en función del peso	Alta resistencia	Baja resistencia	Alta resistencia	Media resistencia
Costo total del poste	Menor de todos	Más alto de todos	Intermedio	Intermedio

Fuente: Imelec generales, 2008

## **4.2. Contrastación de hipótesis**

### **4.2.1. Contrastación de la hipótesis general**

Planteamiento: “El método de fabricación por centrifugado de postes de fibra de vidrio es el que garantiza las mejores características de esfuerzos permisibles y características superficiales”.

Al respecto los resultados nos indican que los postes de fibra de vidrio presentan un esfuerzo permisible de 600 Kg-f, con una deformación de 179 cm, valores de esfuerzo tan solo superados por los postes de madera, sin embargo las características superficiales de los postes de fibra de vidrio resultan mucho mejores, por cuanto su capacidad de soportar de mejor manera las inclemencias del clima refuerzan nuestra hipótesis.

### **4.2.2. Contrastación de la primera hipótesis específica**

Planteamiento: “Los esfuerzos permisibles de postes de fibra de vidrio elaborados con el método de centrifugado alcanzan valores superiores a los recomendados por el MEM”.

Al respecto se debe indicar que el MEM establece que de acuerdo a la norma emitida con fecha de octubre del 2015.

#### **4.2.3. Contratación de la segunda hipótesis específica**

Planteamiento: “Los postes de fibra de vidrio elaborados con el método de centrifugado poseen características superficiales que garantizan una vida útil superior a los 50 años”.

Al respecto se demuestra que la duración de este tipo de postes es de 65 a 120 años, tal como puede constatarse en el Anexo N° K con lo cual queda demostrada la hipótesis.

#### **4.3. Discusión de resultados**

A la luz de los resultados obtenidos, según los cuales se puede evidenciar que postes de fibra de vidrio presentan un esfuerzo permisible de 600 Kg-f, con una deformación de 179 cm, valores de esfuerzo tan solo superados por los postes de madera, lo cual los constituye en materiales muy aptos para electrificaciones en zonas rurales, esta conclusión coincide con lo expresado por la AEP (2014), según lo cual se sostiene que “las aplicaciones de fibra de vidrio y resinas termoestables, materiales utilizados principalmente en postes de líneas eléctricas, telefónicas y de alumbrado público, constituyen ahora productos de alta tecnología, y están diseñados bajo estándares de calidad y normas técnicas certificadas para ser utilizados en redes de distribución de Media Tensión, Baja Tensión, Alumbrado Público y Telecomunicaciones”(p.01). Por otro lado, las conclusiones de PROMELSA (2017) coinciden en ese mismo sentido al afirmarse a la utilización de postes de fibra de vidrio al señalar que estos han sido diseñados para “cubrir necesidades importantes en la distribución como: La topografía compleja de nuestro país, el difícil acceso, los ambientes húmedos corrosivos de la selva amazónica, suelos y ambientes húmedos y salinos de playas y zonas costeras” (p.02).

#### 4.4. Cálculo de comprobación de resultados con valores de ensayos del poliéster reforzado con fibra de vidrio

$$Y_{\max} = \frac{PL^3}{3EI} \dots\dots\dots [\text{ecuación 4}]$$

Donde:

P: Carga [kg]

L: Longitud [m]

E: Modulo de elasticidad  $\left[\frac{kg}{m^2}\right]$

I: Momento de Inercia  $[m^4]$   $I = \frac{\pi * r^4}{4}$

r: Radio de la base del Poste en la zona empotrada.

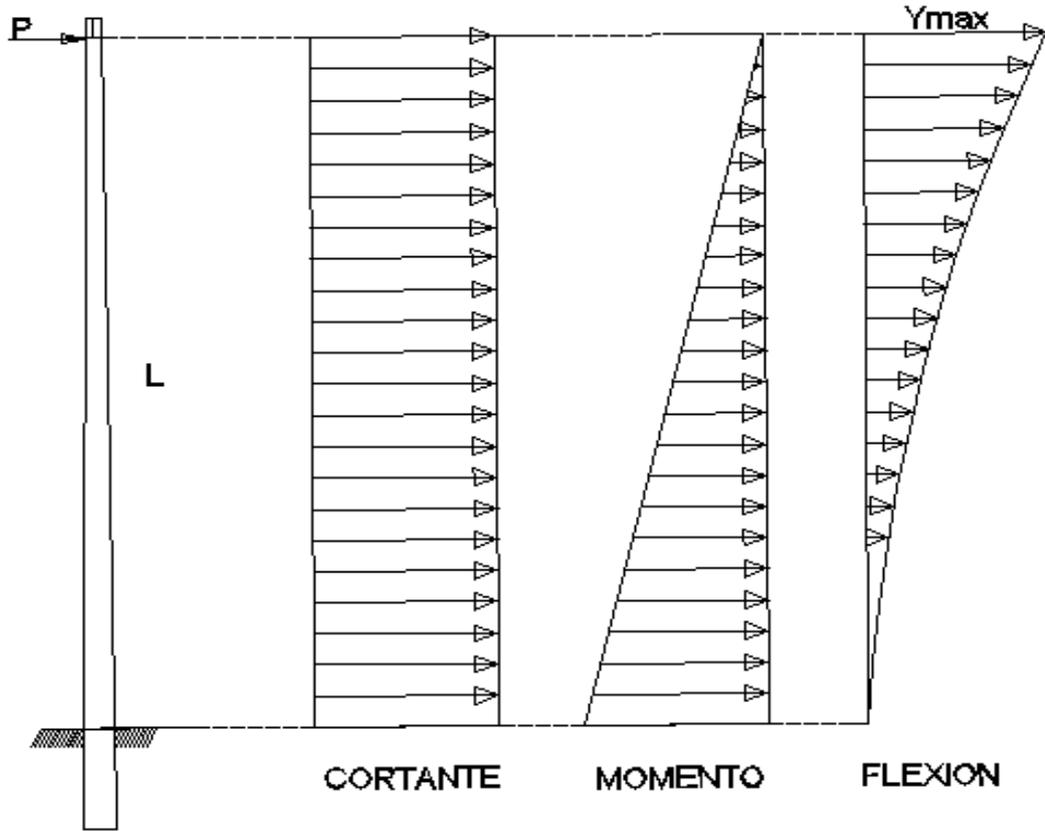
##### 4.4.1. Cálculo justificativo con datos del protocolo de ensayos de postes de Fibra

P: 50 kg [Valor de ensayo de la tabla N°09]

L: 6,80 m [Valor de la Longitud de trabajo mecánico del PRFV}

E: 72,4 GPa = 7384 800  $\frac{kg}{m^2}$  [Valor de la Fibra de Vidrio Tipo E]

**Diagrama de deformaciones de carga, momento flector, cortante, y flexión.**



*Figura 2.* Diagrama de deformaciones

**4.4.2. Cálculo del radio en la zona empotrada del poste de poliéster de fibra de vidrio**

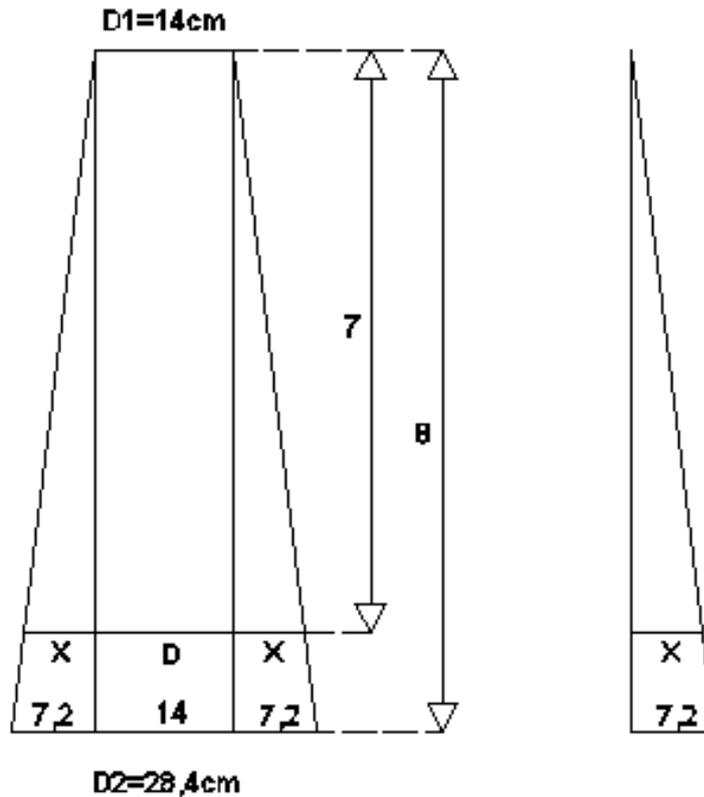


Figura 3. Diámetro de empotramiento del PRFV

**4.4.3. Cálculo de momento de inercia**

$$I = \frac{\pi * r^4}{4} \dots\dots\dots [Ecuación 5]$$

Cálculo del diámetro de empotramiento del poste [Ø]

$$\frac{X}{7,2} = \frac{7}{8} \Rightarrow X = \frac{(7)(7,2)}{8} = 6,3$$

$$\varnothing = 2X + 14 = (2)(6,3) + 14 = 26,6 \text{ cm}$$

#### 4.4.4. Cálculo de la radio del poste de Poliéster de fibra de vidrio [r]

$$r = 26,6/2 = 13,3 \text{ cm}$$

$$I = \frac{[\pi][r^4]}{4} = \frac{[\pi][13,3/100]^4}{4} = 0,000245750 \text{ m}^4$$

#### Remplazando en la ecuación (4)

$$Y_{\max} = \frac{PL^3}{3EI} = \frac{[50][6,80m]^3}{3[7384 \ 800][0,0002457]} = 2,8876 \text{ m} = 288,76 \text{ cm}$$

En la tabla N° 9 para una carga de 50 kg, la deformación es de 289 cm no se diferencia en gran medida con el valor teórico 288,76 cm

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

**Primera.** Se concluye que el método de fabricación por centrifugado de postes de fibra de vidrio es el que garantiza las mejores características de esfuerzos permisibles y características superficiales.

**Segunda.** Se concluye que los esfuerzos permisibles de postes de fibra de vidrio elaborados con el método de centrifugado alcanzan valores superiores a los recomendados por el MEM.

**Tercera.** Se concluye que los postes de fibra de vidrio elaborados con el método de centrifugado poseen características superficiales que garantizan una vida útil superior a los 50 años.

## **5.2. Recomendaciones**

**Primera.** Se recomienda el uso de postes de fibra de vidrio cuando se va a trabajar con redes energizados en media tensión y baja tensión sin sacar de servicio a la población por lo tanto el personal de maniobra solo aplicara seguridad personal.

**Segunda.** Se recomienda el uso del poste de poliéster reforzado con fibra de vidrio.

**Tercera.** Se recomienda los postes de PRFV en comparación con los demás postes, porque no es necesario hacer la excavación de tierra, para su fijación se puede hacer con espárragos y tuercas, que le permite la estabilidad por su peso menor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Taboada, J. (2011). *Postes de poliéster reforzado con fibra de vidrio*. Lima, Perú: Edelnor.
- Ocoña, C. (2012). *Postes de poliéster reforzado con fibra de vidrio (P.R.F.V.)*. Lima Perú: Promelsa.
- Ministerio de Energía y Minas (2015). *Ley N°28749, Ley general de electrificación rural. Publicada en el Peruano N° de Página 1290959\_7. El 01 de octubre de 2015*. Lima, Perú.
- García, W. (2015). *Normas de fabricación de postes de poliéster reforzados con fibra de Vidrio*. Lima, Perú: Ensa.
- Pineda, A. (2015). *Estudio técnico y de mercados para determinar la viabilidad de una línea de producción de postes reforzado en fibra de vidrio*. Pereira, Colombia: Iberyka. s.a.
- Andrés, F. (2015) *Estudio técnico y de mercados para determinar la viabilidad de una línea de producción de postes en plástico reforzado en fibra de vidrio*. Pereira, Colombia, Tecnología Electricaribe.
- Oswaldo, V. (2003). *Evaluación de la corrosión en postes de concreto armado de la urbanización los tallanes, Piura, Perú*: Electro norte
- Morales, G. (2008). *Aplicaciones tecnológicas con Manofibras de Carbono* (Tesis de pregrado inédita), Universidad complutense de Madrid, Madrid, España.  
Recuperado de <http://eprints.ucm.es/8834/1/T30874.pdf>
- Morales, S. (2008). *Fibra de Vidrio, Pruebas y Aplicaciones* (Tesis de pregrado).  
Recuperado de  
<http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/4698/1/129.pdf>

- Promelsa. (2008). *Vida útil y ventajas de las estructuras de PRFV* Recuperado de [www.promelsa.com.pe](http://www.promelsa.com.pe)
- Michael, y David, (2011) *Fabricación la fibra de Vidrio*. Recuperado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.pe/2011/07/materialescompuestos.html>
- Perez, E. (2013), *Recomienda utilizar la fibra de vidrio para la fabricación*. Recuperado de <https://plus.google.com/100372318083194749604/posts/YdWKqYw7bCt>
- Peterson, M. (2013). *Fábrica de crucetas PUPI, Grupo GEOTEC*. Recuperado de [http://www.pupicrossarms.com/Downloads/Spanish/PUPI-Un\\_millon\\_de\\_crucetas-oct2013.pdf](http://www.pupicrossarms.com/Downloads/Spanish/PUPI-Un_millon_de_crucetas-oct2013.pdf)
- Daniel, S. (2014). *Diseño y Construcción de una máquina, para la elaboración de postes de fibra de vidrio reforzada (Tesis de pregrado inédita, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador)*. Recuperado de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3161/1/000110346.pdf>
- Asociación Eléctrica Peruana (2014). *Postes de políester reforzados con fibra de vidrio*, recuperado de <http://aep-peru.org/portal/index.php/2013-10-10-00-37-40/eventos/item/108-postes-de-poliester-reforzados-con-fibra-de-vidrio-usos-en-instalaciones-electricas-de-media-tension-baja-tension-alumbrado-publico-electrificacion-rural-y-otras-aplicaciones>.
- Chávez, B. (2015). *Fabricación de postes poliéster reforzado con fibra de vidrio*. Recuperado de <https://www.facebook.com/Postes-Fibra-de-Vidrio-571769976248874>

- Duque, J. (2015). *Fibratori postes torres y crucetas PRFV*. Recuperado de <http://www.fibratore.com/>
- Likinormas (2015). *Normas y especificaciones técnicas. Actualizada*. Recuperado de <http://likinormas.micodensa.com>
- Paola, V. (2015) *Postes de fibra de vidrio*. Recuperado de [https://prezi.com/\\_7ipm6dwgpu2/copy-of-postes-de-fibra-de-vidrio/](https://prezi.com/_7ipm6dwgpu2/copy-of-postes-de-fibra-de-vidrio/)
- BLANC partners (2015) *Descripción de los postes de fibra de vidrio*. Recuperado de [https://prezi.com/6d\\_yifkklyck/postes-de-fibra-de-vidrio/](https://prezi.com/6d_yifkklyck/postes-de-fibra-de-vidrio/)
- Miravete, B. (2000) *Tesis análisis y comparación de los materiales de fibra de vidrio*. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/15191/tesisUPV3783.pdf?sequence=1>
- ENSA (2015), *Grupo EPM postes de poliéster reforzado en fibra de vidrio para alumbrado público con base metálica*. Recuperado de [https://www.ensa.com.pa/sites/default/files/no.ma\\_.01.07\\_poste\\_prfv\\_9m\\_alumbrado\\_para\\_base\\_metalica.pdf](https://www.ensa.com.pa/sites/default/files/no.ma_.01.07_poste_prfv_9m_alumbrado_para_base_metalica.pdf)
- PROMELSA (2017), *Líneas de postes de P.R.F.V.* Recuperado de <http://www.promelsa.com.pe/pdf/10004704.pdf>