

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**PROPUESTA DE DISEÑO DE POSTE ARMABLE PARA
REDES DE DISTRIBUCIÓN RURAL EN BAJA TENSIÓN
EN REGIÓN ALTO ANDINA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

IRVIN JHOAN FUENTES MATTA

Chiclayo, 31 de agosto de 2018

**PROPUESTA DE DISEÑO DE POSTE ARMABLE PARA
REDES DE DISTRIBUCIÓN RURAL EN BAJA TENSIÓN EN
REGIÓN ALTO ANDINA**

Presentado por:

IRVIN JHOAN FUENTES MATTA

Presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santo
Toribio de Mogrovejo, para optar el título de:

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADO POR:

JURADO INTEGRADO POR:

ING. HUGO MUNDACA GUERRA
PRESIDENTE

ING. LUIS GONZALES BAZAN
SECRETARIO

ING. IVAN SipiÓN MUÑOZ
VOCAL/ASESOR

DEDICATORIA

A mi madre María Carmen, el amor de mi vida, quien con sus enseñanzas, su confianza, su amor y su fortaleza me ayudó a no desmayar frente a las adversidades, es ella quién me ha permitido llegar a esta etapa de mi vida; el cual ha sido un camino constante de crecimiento y aprendizaje para cumplir mis metas, y el que ella este siempre a mi lado en todo instante ha llenado de felicidad mi vida.

A mi padre Glicerio, quien me ha sabido brindar su cariño, su consejo, y enseñanza para valorar lo que colma mi vida de felicidad; también mostrarme el deseo de superarme cada día y no rendirme ante los problemas. Brindarme felicidad con cada situación vivida a su lado, que a pesar de las tristezas pasadas me mostró el gran amor que me tiene.

A mi familia Fuentes Matta, quienes me han visto crecer, me han brindado su apoyo y aprecio en cada etapa de mi vida, y quienes me han regalado alegrías en cada momento vivido a su lado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por bendecirme con unos padres maravillosos, quienes han velado por hacerme feliz, regalarme un amor incondicional y educarme de una manera correcta.

A mis padres Carmen y Glicerio, por el amor, esfuerzos y sufrimientos interminables que han vivido para verme feliz y crecer profesionalmente, y puedan sentirse orgullosos de su hijo.

A mi hermana Milena, que con sus muestras de cariño y confianza me da la fortaleza para ser su ejemplo en lo personal y profesional.

A mi familia Fuentes Matta, que me ha brindado todo su cariño, quienes han depositado su confianza en mí para verme crecer y ser ejemplo de fortaleza, estudio y dedicación en búsqueda de alcanzar mis metas de crecimiento humano y superación profesional.

A Mayra, por brindarme su apoyo y confianza para finalizar este proyecto; regalarme días interminables de felicidad y por el amor que me demuestra día con día.

A mi asesor, el Ingeniero Iván Dante Sipión Muñoz, quien ha dedicado su tiempo, esfuerzos y conocimiento para lograr la culminación de los objetivos de este proyecto.

A mis maestros, quienes, con sus conocimientos, y consejos brindados me han formado como un profesional ético e incentivarme en la investigación y el estudio continuo para seguir creciendo profesionalmente.

A mis amigos (Juan, Jhair, Osmer, Andres, Joel, Diego, Jorge, Alex, Duvert, Leo, Omar, Jimmy) y compañeros de especialidad, que con cada anécdota vivida generaron alegrías y buenos momentos que quedarán en el recuerdo, y fortalecerán nuestra amistad.

RESUMEN

El proyecto que se está investigando, nace de la necesidad de mejorar el montaje de las estructuras de soporte que se utilizan en *redes de distribución rural en baja tensión en regiones alto andinas*; debido a que se cuentan con localidades, comunidades y centros poblados que están ubicados geográficamente distantes de ciudades capitales; los montajes electromecánicos en proyectos eléctricos tanto en media tensión como en baja tensión o distribución, son peligrosos, además con costos elevados, y que requieren más tiempo de lo planificado, debido a que en muchos de los casos trasladar estructuras de soporte (postes), y otros materiales necesarios se dificulta por la inexistencia de vías de comunicación (carreteras) y otras por estar en malas condiciones de transitabilidad.

Debido a esto, el proyecto que se viene desarrollando busca generar una alternativa de solución que agilice y contribuya de manera eficiente los montajes electromecánicos en redes de distribución rural en baja tensión. Por lo que se ha planteado proponer el diseño de un poste armable o modular el cual permita disminuir tiempos de trabajo, traslado y montaje de cada estructura en campo, para lo cual se está proponiendo utilizar como material base de esta propuesta, un material nuevo, y con mejores cualidades que los convencionales, seleccionando la madera plástica, que están constituidas a base de materiales reciclados como plásticos de uso industrial y/o doméstico.

Luego se ha seleccionado parámetros de trabajo, los cuales limitaran las características del diseño y permitirán tomar una mejor decisión para proponer el diseño CAD del poste; en este estudio se está proponiendo un modelo, el cual ha sido analizado matemáticamente para luego mediante el software de diseño SolidWorks Simulation analizar el comportamiento del compartimiento de las estructura proyectada bajo el criterio de energía de deformación. Para finalizar, se realizó un estudio técnico económico, que muestra la reducción de costos al generar un poste de maderas plásticas a base de residuos sólidos plásticos, con lo cual se desarrolla un nuevo enfoque para iniciar la utilización y generación de postes armables a base de maderas plásticas por ser económicamente aceptables, además de mejorar los montajes electromecánicos en el sector rural.

Palabras claves: montajes, postes, redes de distribución, maderas plásticas, simulación.

ABSTRACT

The project that is being investigated, arises from the need to improve the assembly of support structures that are used in low-voltage rural distribution networks in high Andean regions; because they have localities, communities and population centers that are geographically distant from capital cities; the electromechanical assemblies in electrical projects in medium voltage as well as in low voltage or distribution, are dangerous, in addition with high costs, and that require more time than planned, because in many of the cases transfer support structures (poles), and other necessary materials are made difficult by the lack of communication routes (roads) and others due to bad conditions of passability.

Due to this, the project that is being developed seeks to generate a solution alternative that streamlines and efficiently contributes electromechanical assemblies in low voltage rural distribution networks. For what has been proposed to propose the design of an armable or modular pole which allows to reduce working times, transfer and assembly of each structure in the field, for which it is proposed to use as a base material of this proposal, a new material, and with better qualities than conventional ones, selecting plastic wood, which are made up of recycled materials such as plastics for industrial and / or domestic use.

Then, work parameters have been selected, which will limit the characteristics of the design and allow a better decision to be made to propose the CAD design of the post; In this study, a model is being proposed, which has been analyzed mathematically and then using SolidWorks Simulation design software to analyze the behavior of the compartment of the structures projected under the criterion of deformation energy. Finally, a technical economic study was carried out, which shows the reduction of costs when generating a plastic wood pole based on solid plastic waste, which develops a new approach to start the use and generation of reinforcing posts based on plastic woods to be economically acceptable, in addition to improving the electromechanical assemblies in the rural sector.

Keywords: assemblies, poles, distribution networks, plastic woods, simulation.

ÍNDICE

CARATULA	1
CARATULA ACEPTACIÓN JURADO	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INDICE	7
INDICE DE FIGURAS	10
INDICE DE TABLAS	14
INDICE DE GRÁFICAS	15
I. INTRODUCCIÓN	16
II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA	18
2.1. PROBLEMÁTICA	18
2.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2.2. JUSTIFICACIÓN	19
2.3. OBJETIVOS	20
2.3.1. OBJETIVO GENERAL	20
2.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS	20
III. MARCO TEÓRICO	21
3.1. DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE ENERGÍA	21
3.2. DEFINICIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	22
3.3. OBJETIVO DE LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	23
3.4. REDES DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN	23
3.4.1. Tensiones de Distribución Secundaria	24
3.4.2. Tipos de Redes de Distribución	25
3.5. SISTEMAS ELECTRICOS RURALES	27
3.5.1. Marco Legal	28
3.5.2. Evolución y comportamiento de la Electrificación Rural	28
3.5.3. Tipos de Sistemas Eléctricos Rurales	29
3.6. EL CONDUCTOR ELÉCTRICO	30
3.6.1. Conductores aislados	31
3.7. ECUACIÓN DE UN CABLE TENDIDO ENTRE DOS PUNTOS. CATENARIA. VANO. FLECHA	32
3.7.1. Sobrecargas en los cables	33
3.7.2. Ecuación de cambio de condiciones	35

3.8.	APOYOS. TIPOS DE APOYOS.....	36
3.8.1.	Esfuerzos en los apoyos.....	37
3.8.2.	Cálculo en un apoyo	41
3.8.3.	Retenida inclinada o vertical	42
3.9.	REGIÓN ALTO ANDINA.....	43
3.10.	MADERAS PLÁSTICAS.....	45
3.10.1.	Definición:	46
3.10.2.	Importancia del Reciclado del Plástico:.....	47
3.10.3.	Descripción:	47
3.10.4.	Productos utilizados para la fabricación de maderas plásticas:	48
3.10.5.	Propiedades de la madera plástica:	49
3.10.6.	Tipos:	51
3.10.7.	Métodos de Fabricación:.....	52
3.10.8.	Aplicaciones:	53
3.11.	MECÁNICA DE MATERIALES.....	54
3.11.1.	Tensión, compresión y cortante.....	54
3.11.2.	Torsión.....	59
3.11.3.	Fuerzas cortantes y momentos flexionantes	63
3.12.	INGENIERÍA DEL DISEÑO.....	65
3.12.1.	Concepto de “diseño”.....	65
3.12.2.	Metodologías de diseño	66
3.12.3.	Diseño conceptual.....	69
3.12.4.	Desarrollo del producto	70
3.12.5.	Soporte del producto	70
IV.	ANÁLISIS Y MÉTODOS.....	71
	CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA PLÁSTICA, CONCRETO, METAL Y MADERA EN POSTES.....	71
	Maderas plásticas:.....	71
	Concreto:	74
	Acero Galvanizado:	76
	Madera:.....	78
4.1.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA MADERA PLÁSTICA FRENTE AL CONCRETO, METAL Y MADERA.....	80
4.2.	DEFINIR LOS PARÁMETROS MECÁNICOS DE TRABAJO DE LOS POSTES DE REDES DE DISTRIBUCIÓN RURAL EN UNA REGIÓN ALTO ANDINA.....	86
4.2.1.	Conductores:.....	87
4.2.2.	Postes:.....	88

4.2.3.	Retenidas:	92
4.2.4.	Accesorios para postes, aisladores y retenidas:	92
4.2.5.	Zona de trabajo:	93
4.2.6.	Requerimientos técnicos y particulares	94
4.2.7.	Cargas mínimas de rotura:	95
4.2.8.	Cargas de trabajo: [25]	95
4.2.9.	Longitud de Enterramiento	95
4.2.10.	Armados de estructuras para redes secundarias:.....	96
4.3.	PROPUESTA DE DISEÑO CAD DE POSTE ARMABLE UTILIZANDO HERRAMIENTA SOLIDWORKS (Diseño conceptual).	107
4.3.1.	Descripción general del proceso de diseño	107
4.4.	ANÁLISIS MATEMATICO DE LA PROPUESTA DEL DISEÑO DEL POSTE ARMABLE.	126
4.4.1.	Análisis inicial de comportamiento de la estructura de soporte	126
4.4.2.	Análisis de comportamiento de la estructura de soporte de acuerdo a norma técnica	135
4.5.	SIMULACIÓN CAE DE POSTE ARMABLE UTILIZANDO HERRAMIENTA SOLIDWORKS	145
4.5.1.	Simulación de la propuesta del poste armable (Análisis inicial).....	145
4.5.2.	Simulación de la propuesta del poste armable, basándose en normativas y criterios de análisis destructivos.	156
4.5.3.	Peso del Poste.	173
4.6.	EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE LA PROPUESTA DE DISEÑO DEL POSTE ARMABLE.....	174
4.6.1.	Cantidad y bajo costo de la materia:.....	175
4.6.2.	Descripción y proceso de Fabricación del material:.....	178
4.6.3.	Diagrama de Flujo:	182
4.6.4.	Distribución de Planta:	182
4.6.5.	Análisis económico:	183
V.	CONCLUSIONES.....	193
	RECOMENDACIONES	195
VI.	BIBLIOGRAFIA/LINCOGRAFIA.....	196
VII.	PLANOS.....	199

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1 Sistema Eléctrico.....	21
Figura 3. 2. Sistema Eléctrico - esquema	22
Figura 3. 3.Red de Distribución en A.T. y B.T.	23
Figura 3. 4. Acometidas e instalaciones de enlace	24
Figura 3. 5. Tipos de canalización en B.T.	26
Figura 3. 6. Sistemas eléctricos rurales	27
Figura 3. 7. Sistemas Eléctricos Rurales - Zona Selva.....	28
Figura 3. 8. Características fundamentales de los materiales	30
Figura 3. 9. Tipos de conductores II.....	31
Figura 3. 10.Conductores multipolares.	31
Figura 3. 11. Conductor aislado.....	32
Figura 3. 12. Catenaria, vano y flecha de una línea aérea	33
Figura 3. 13. Catenaria	33
Figura 3. 14. Ecuaciones de la Catenaria y Parábola.....	33
Figura 3. 15. Sobrecarga de viento.	34
Figura 3. 16. Sobre carga de Hielo.	35
Figura 3. 17. Efectos de la temperatura sobre un conductor	35
Figura 3. 18. Cálculo mecánico de un conductor.	36
Figura 3. 19. Poste de Hormigón con retenida, luminaria y acometida.	36
Figura 3. 20. Esfuerzos en apoyos.	37
Figura 3. 21. Apoyo de ángulo.	38
Figura 3. 22. Apoyos al mismo nivel.....	38
Figura 3. 23. Apoyos al mismo nivel.....	39
Figura 3. 24. Clases de esfuerzos en los apoyos.....	39
Figura 3. 25. Posibles esfuerzos en un apoyo debido a los conductores I.....	40
Figura 3. 26. Posibles esfuerzos en un apoyo debido a los conductores II.	40
Figura 3. 27. Esfuerzos característicos de un apoyo.....	41
Figura 3. 28. Lamina de detalle de retina inclinada.....	43
Figura 3. 29. Lamina de detalle retenida vertical	43
Figura 3. 30. Mapa característico del clima de Perú.	44
Figura 3. 31. Madera plástica	45
Figura 3. 32. Usos de la madera plástica	46
Figura 3. 33. Uso de maderas plásticas en muelles. EE. UU.	49
Figura 3. 34. Cruceta hecha de madera plástica para líneas eléctricas trifásicas.	50
Figura 3. 35. Perfiles de madera plástica en muelles. EE. UU.....	51
Figura 3. 36. Puente Construido con maderas plásticas.	52
Figura 3. 37. Esquema de Pilotes de maderas plásticas.	53
Figura 3. 38. Pilotes estructurales, Bedford Technology	53
Figura 3. 39.Crucetas utilizadas en redes eléctricas. Colombia	54
Figura 3. 40. Barra prismática en tensión.	55
Figura 3. 41. Alargamiento axial y contracción lateral de una barra prismática en tensión.	57
Figura 3. 42. Barra circular sometida a torsión por los pares de torsión T_1 y T_2	60
Figura 3. 43. Determinación de la resultante de los esfuerzos cortantes que actúan sobre una sección transversal.	60
Figura 3. 44. Tubo circular en torsión.	62
Figura 3. 45.Ejemplos de vigas sometidas a cargas laterales.	63

Figura 3. 46. Tipo de viga en voladizo.	63
Figura 3. 47. Poste anclado a un pilar de concreto: construcción real y	64
Figura 3. 48. Fuerza cortante V y momento flexionante M en la viga.	64
Figura 3. 49. Modelo descriptivo lineal del diseño.	67
Figura 3. 50. Tres niveles de la modelación del diseño.	68
Figura 3. 51. Diseño conceptual.	69
Figura 3. 52. Desarrollo del producto.	70
Figura 3. 53. Soporte del producto.	70
Figura 4. 1. Poste de Concreto Armado centrifugado en mal estado	76
Figura 4. 2. Torres de celosía con acero galvanizado.	78
Figura 4. 3. Poste de madera deteriorado por cambios climatológicos.	79
Figura 4. 4. Descripción general del proceso de diseño.	107
Figura 4. 5. Diagrama de actividades, para definición, evaluación de diseño de un producto.	108
Figura 4. 6. Bosquejos de unión de poste, propuesta 01	110
Figura 4. 7. Bosquejos de unión de poste, propuesta 02	110
Figura 4. 8. Bosquejos de unión de poste, propuesta 03	111
Figura 4. 9. Propuesta de poste, alternativa 02.	112
Figura 4. 10. Proceso de definición conceptual.	114
Figura 4. 11. Descarga de postes de concreto, 8m.	116
Figura 4. 12. Traslado de postes a su punto de izado.	117
Figura 4. 13. Traslado de postes a su punto de izado.	117
Figura 4. 14. Traslado de postes a su punto de izado.	118
Figura 4. 15. Izado de postes de cac, 8m.	118
Figura 4. 16. Recepción de postes de cac 8m.	119
Figura 4. 17. Traslado de postes a su punto de izado.	119
Figura 4. 18. Traslado de postes a su punto de izado.	120
Figura 4. 19. Traslado de postes a su punto de izado, inexistencia de caminos.	120
Figura 4. 20. Traslado de postes a su punto de izado. Uso de ganado para trabajos.	121
Figura 4. 21. Traslado de postes a su punto de izado.	121
Figura 4. 22. Base poste, propuesta 01.	122
Figura 4. 23. Vista posición de bridas de acople en base el poste, propuesta 01.	123
Figura 4. 24. Vista posición de bridas de acople en base el poste, propuesta 01.	123
Figura 4. 25. Perno de agarre para unión de módulos de poste.	124
Figura 4. 26. Brida de acople para módulo de la base.	124
Figura 4. 27. Brida de acople para módulo de la punta del poste.	125
Figura 4. 28. Módulo de la punta del poste.	125
Figura 4. 29. Vista completa del poste, propuesta 01.	126
Figura 4. 30. Ubicación de esfuerzos.	127
Figura 4. 31. Medidas de poste para cálculo de diámetros.	128
Figura 4. 32. Diagrama para calcular diámetros.	128
Figura 4. 33. Ubicación de fuerzas en punto de análisis.	129
Figura 4. 34. Representación de planos de esfuerzos, Punto A.	130
Figura 4. 35. Representación del plano de esfuerzos, Punto B.	132
Figura 4. 36. Representación del plano de esfuerzos, punto C.	133
Figura 4. 37. Ubicación de fuerzas en poste.	136
Figura 4. 38. Medidas para cálculo de diámetros.	137
Figura 4. 39. Diagrama para cálculo de diámetros, por semejanza de triángulos.	137
Figura 4. 40. Ubicación de esfuerzos en poste y su comportamiento.	138

Figura 4. 41. Representación del plano de esfuerzos, punto A.	139
Figura 4. 42. Representación del plano de esfuerzos, Punto B.	141
Figura 4. 43. Representación del plano de esfuerzos, Punto C.	143
Figura 4. 44. Ensamble completo del poste.....	145
Figura 4. 45. Vista de la zona de anclaje del poste, cimentación.	146
Figura 4. 46. Ubicación de brida y pasadores de sujeción.	147
Figura 4. 47. Módulo 02 construida con brida de acople.	147
Figura 4. 48. Tipo de conexiones de embone entre módulos.	147
Figura 4. 49. Disposición de pernos de sujeción.	148
Figura 4. 50. Orientación y localización de fuerzas.	148
Figura 4. 51. Simulación del poste analizado con tensión de rotura.	149
Figura 4. 52. Resumen de Esfuerzos en poste por Von Mises	150
Figura 4. 53. Puntos críticos donde se darán los mayores esfuerzos.....	151
Figura 4. 54. Comportamiento de las bridas de unión del poste aramable.....	151
Figura 4. 55. Vista de trabajo de pasadores de sujeción.....	152
Figura 4. 56. Comportamiento de las bridas sometidas a esfuerzos.....	152
Figura 4. 57. Ubicación y comportamiento de los pasadores.....	153
Figura 4. 58. Comportamiento de los desplazamientos del poste.	154
Figura 4. 59. Resumen de desplazamientos máx - mín.	154
Figura 4. 60. Representación desplazamientos máx-mín.	155
Figura 4. 61. Desplazamientos debajo de bridas de unión.	155
Figura 4. 62. Desplazamiento en el eje "y"	156
Figura 4. 63. Prueba de carga nominal y rotura.	157
Figura 4. 64. Pruebas de Flexo torsión.	158
Figura 4. 65. Poste completamente ensamblado.....	159
Figura 4. 66. Sujeciones del poste	160
Figura 4. 67. Selección de referencias.....	160
Figura 4. 68. Ubicación puntos de sujeción.....	161
Figura 4. 69. Módulo 1 del poste (base).	161
Figura 4. 70. Módulo 02 del poste(punta).	162
Figura 4. 71. Tipo de conexiones y unión entre módulos.	162
Figura 4. 72. Disposición de pernos de sujeción.	163
Figura 4. 73. Disposiciones de fuerzas en el poste.....	163
Figura 4. 74. tipo de Mallado para análisis.....	164
Figura 4. 75. Comportamiento poste por Von Mises	164
Figura 4. 76. Resumen de Esfuerzos en poste por Von Mises.	165
Figura 4. 77. Puntos críticos donde se darán los mayores esfuerzos.....	166
Figura 4. 78. Comportamiento de las bridas de acople en el poste.	166
Figura 4. 79. Comportamiento de pasadores de sujeción.	167
Figura 4. 80. Comportamiento de la brida, embebida en módulo 01.	167
Figura 4. 81. Ubicación y comportamiento de los pasadores.....	168
Figura 4. 82. Comportamiento de los desplazamientos del poste.	169
Figura 4. 83. Resumen de desplazamientos máx - mín.	169
Figura 4. 84. Desplazamientos debajo de bridas de unión.	170
Figura 4. 85. Desplazamiento en el eje "y"	170
Figura 4. 86. Desplazamientos en el Eje "y".	171
Figura 4. 87. Comportamiento de la deformación del poste.	172
Figura 4. 88. Pruebas a postes de Concreto 8m.....	173
Figura 4. 89. Ensayos a postes de fibra de vidrio.	174
Figura 4. 90. Generación de Residuos sólidos domiciliarios (ton/día).....	175

Figura 4. 91. Generación de Residuos sólidos no domiciliarios (ton/día).....	176
Figura 4. 92. Composición física de los residuos.	176
Figura 4. 93. Diagrama de flujo.....	182
Figura 4. 94. Distribución de planta.	183

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1. Tensiones Nominales - MEM.....	24
Tabla 3. 2. Clasificación de los distintos tipos de plástico	46
Tabla 4. 1. Propiedades mecánicas, madera plástica RTI	73
Tabla 4. 2. Esfuerzos Mecánicos. Madera plástica – Betford	73
Tabla 4. 3. Propiedades madera - MADERPLASTIC.....	74
Tabla 4. 4. Cuadro comparativo de diferentes materiales.	80
Tabla 4. 5. Cuadro comparativo de diferentes materiales.	81
Tabla 4. 6. Cuadro comparativo de diferentes materiales.	82
Tabla 4. 7. Cuadro comparativo de diferentes materiales.	83
Tabla 4. 8. Cuadro comparativo de diferentes materiales.	83
Tabla 4. 9. Cuadro comparativo de diferentes materiales.	84
Tabla 4. 10. Cuadro comparativo de diferentes materiales.	85
Tabla 4. 11. Distancia horizontal mínima entre conductores.	87
Tabla 4. 12. Distancias mínimas y máximas de vanos.	87
Tabla 4. 13. Hipótesis de cálculo de postes.	88
Tabla 4. 14. Características convencionales de los terrenos.....	89
Tabla 4. 15. Características convencionales de los terrenos.....	92
Tabla 4. 16. Condiciones ambientales.....	94
Tabla 4. 17. Cargas de trabajo	95
Tabla 4. 18. Valores fuerza cortante de pasadores	153
Tabla 4. 19. Valores fuerza cortante en pasadores.	168
Tabla 4. 20. Desplazamientos aceptables por normas.	171
Tabla 4. 21. Valores de residuos de plásticos.....	177
Tabla 4. 22. Costo de residuos sólidos.	177
Tabla 4. 23. Resumen Capacidades equipos.....	180
Tabla 4. 24. Tiempo fabricación poste	181
Tabla 4. 25. Datos de costos e ingresos.....	183
Tabla 4. 26. Costo equipos.	184
Tabla 4. 27. Costo herramientas.	184
Tabla 4. 28. Mano de obra no calificada	184
Tabla 4. 29. Mano de obra calificada.	185
Tabla 4. 30. Proyección elaboración del Producto.	185
Tabla 4. 31. Costo Materia Prima.....	186
Tabla 4. 32. Costos de servicios.	186
Tabla 4. 33. Costos varios.	187
Tabla 4. 34. Costo variable.....	187
Tabla 4. 35. Ingreso por ventas.....	188
Tabla 4. 36. Flujo caja anual.....	188
Tabla 4. 37. Valor del VAN	190
Tabla 4. 38. Porcentajes simulación VAN	190
Tabla 4. 39. Porcentaje TIR.....	192

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 4. 1. Comportamiento de esfuerzos en poste.....	150
Grafica 4. 2. Comportamiento de esfuerzos en poste.....	165
Grafica 4. 3. Simulación VAN proyecto.	191

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en Perú, la electrificación rural tiene como propósito concentrar la igualdad de los derechos ciudadanos, en particular el de acceso al servicio básico de electricidad a la vivienda, resolviendo así las enormes brechas existentes en infraestructura entre las zonas urbanas y las áreas rurales y de frontera del país, incorporando a sus beneficiarios al mercado, al consumo y al desarrollo, logrando así su inclusión social con la finalidad de reducir la pobreza. La electrificación rural en el Perú presenta características especiales como son: la lejanía y poca accesibilidad de sus localidades, el consumo unitario reducido, poblaciones y viviendas dispersas, bajo poder adquisitivo de los habitantes. ***Al finalizar el año 2014, la cobertura eléctrica se ha estimado en Nacional 92% y Rural 75,2%.*** (MEM – 2014). *Para el año 2015 el presupuesto de inversiones asignado a la DGER para el año 2015 ha sido de S/. 218 millones para los 154 proyectos. Con los proyectos que se concluirán en el año 2015, se electrificarán a su conclusión 1854 localidades y la población beneficiada será de 225 mil habitantes. Para el año 2024, se pretende alcanzar un coeficiente de electrificación rural de 99%* contribuyendo a reducir la pobreza; así como mejorando el nivel y la calidad de vida del poblador de hogares rurales, aislados y de zonas de frontera del país en proceso de inclusión.

En tal sentido la electrificación rural en nuestro país tiene una tendencia de crecimiento, para lo cual realizar la *Propuesta de diseño de poste armable para redes de distribución rural en baja tensión en región alto andina*, es atrayente por lo que se pretende innovar el trabajo en la ejecución de estos proyectos rurales, debido a que estos presentan dificultades por la topografía rural que existe en las regiones alto andinas, además de la existencia de factores como el clima, temperatura, humedad, etc., que también afectan a los elementos que constituyen estos sistemas. Para hacer referencia al punto principal al cual se enfoca este estudio, son las estructuras de soporte o apoyo, conocidas como postes de concreto o madera, los cuales son de vital importancia en un proyecto, pero estos acarrearán dificultad para su movilización hasta el punto de trabajo o izado, debido que a características como su tamaño y peso conllevan un problema en su traslado, además de poner en riesgo la salud del personal operativo que realiza el traslado, como también las características de estos elementos de soporte, debido a que las zonas rurales son agrestes y sus vías de acceso no son las adecuadas. Por otro lado, la dificultad en el traslado de estas estructuras, incrementa en el aspecto económico, el cual puede sobrepasar el 40% de un metrado ya estipulado, debido a plantear el uso de herramientas no planificadas pero que son necesarias; además, las dificultades anteriormente señaladas, podrían acarrear la necesidad de requerir más tiempo en los trabajos de traslado de estas estructuras, con lo que se perjudicarían los tiempos de trabajo en la ejecución de una obra.

Se propone el diseño de un poste armable para redes de distribución rural en baja tensión empleando maderas plásticas, como material de diseño y fabricación, para lo cual se realizará un *análisis comparativo de las propiedades de la madera plástica frente a concreto, madera y metal*, para luego definir *los parámetros mecánicos que afectan a los postes de redes de distribución rural en una región alto andina* y poder continuar con el *diseño CAD del poste armable usando herramienta SolidWorks*. Realizado el diseño se procederá a realizar el *Análisis matemático del diseño del poste armable*.

Obtenido el análisis matemático continuaremos con la *Simulación CAE basado en los parámetros matemáticos analizados: esfuerzos, desplazamientos, deformaciones del Poste Armable mediante herramienta SolidWorks Simulation*, bajo el análisis de energías

de deformación. Para finalizar con la *Evaluación técnico económico de la propuesta del diseño del poste armable*. A través de este estudio se busca disminuir tiempos de traslado de los postes a su punto de izado, como también disminuir la dificultad para realizar esta tarea. También es claro mencionar que se aporta con mejorar las condiciones y características del poste durante el traslado, así mismo más seguridad al personal que labora en este tipo de proyectos, además sin dejar de mencionarlo, con este estudio se contribuye a la reducción de la contaminación ambiental debido al uso de material de reciclado.

II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

2.1. PROBLEMÁTICA

Para realizar la construcción de una red de distribución rural en baja tensión en una región alto andina es necesario e imprescindible el traslado de estructuras de apoyo (postes) de concreto o de madera que tienen longitudes entre 8 y 9 metros hasta su punto de izaje, además de otros elementos como ferretería, crucetas, conductores, que se deben trasladar por grandes distancias y con caminos agrestes frecuentemente.

El traslado de estas estructuras de soporte (postes) es dificultoso, debido a que están construidas y diseñadas en una sola pieza, por lo que las zonas rurales con frecuencia no se cuenta con vías carrozables adecuadas; además en su gran mayoría las zonas alto andinas poseen una topografía variada y agreste que hace aún más dificultoso el traslado de estas estructuras de apoyo, debido a que solo cuentan con caminos de herradura.

Cabe mencionar, que, ya siendo el traslado de las estructuras una gran dificultad por no haber vías carrozables adecuadas, también está el factor de inexistencia de equipos adecuados para trasladarlos más allá del fin de una carretera, mencionado traslado debe realizarse por caminos, que ponen en riesgo la vida del personal que realiza el traslado, como también afectar la vida útil del poste, de igual modo es necesario mencionar que realizar traslados de estructuras a zonas más dificultosas, generan más necesidad de tiempo y por tanto esto conlleva a un costo más elevado en el traslado.

2.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Diseñar un poste armable a base de maderas plásticas para redes de distribución rural en baja tensión en una región alto andina será eficiente y facilitara tiempos de traslado de estas estructuras de apoyo a las zonas de izado?

2.2. JUSTIFICACIÓN

La propuesta del diseño de un poste armable para redes de distribución en baja tensión en una región alto andina nace con la necesidad de disminuir tiempos extensos del traslado de estructuras de soporte (en adelante se denominara como postes) a su punto de izado, dentro de los propósitos también esta disminuir el grado de dificultad con el que se realiza el traslado de los postes hasta su punto de izado, como también asegurar las propiedades y características de los postes, sin dejar de lado la propia seguridad del personal que realiza los trabajos.

Proponer una alternativa para el montaje de Redes de Distribución Rural en baja tensión en regiones alto andinas, utilizando un poste armable, el que pueda facilitar la actividad de traslado, para de este modo disminuir tiempos de trabajo, además de brindar seguridad al personal encargado del traslado de poste, resulta atractivo e importante. A través de esta estructura de apoyo, se pretende agilizar y facilitar el montaje electromecánico de proyectos eléctricos rurales.

Al proponer el diseño de esté poste utilizando como material de trabajo las maderas plásticas, será una alternativa de manufactura y/o producción, debido a que las maderas plásticas son un polímero que se generan a partir del reciclado de plástico, los cuales se pulverizan y combinan en algunos caso con un porcentaje de fibras de madera, lo cual genera un producto liviano y con capacidades grandes de trabajo, además con esfuerzos correctos, como también convertirse en un material aislante, y no en un material conductor. Por otro lado también se contribuyen indirectamente a la disminución de la contaminación ambiental, a partir de la utilización de madera plásticas, los cuales son materiales netamente reciclados como se mencionó líneas arriba y como se ampliara posteriormente. Para visionar en un proyecto a futuro, el plantear la creación de una planta recicladora, además que procese y fabrique materiales plásticos en la región de Lambayeque, es un punto de partida.

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un poste armable para redes eléctricas de distribución rural en baja tensión en región alto andina, empleando maderas plásticas.

2.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis comparativo de las propiedades de la madera plástica frente a concreto, madera y metal.
- Definir los parámetros mecánicos de trabajo de los postes de redes de distribución rural en una región alto andina.
- Diseño CAD del poste armable usando herramienta SolidWorks.
- Análisis matemático del diseño del poste armable.
- Simulación CAE basado en los parámetros matemáticos analizados: esfuerzos, desplazamientos, deformaciones del Poste Armable mediante herramienta SolidWorks Simulation.
- Evaluación técnico económico de la propuesta de diseño del poste armable.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE ENERGÍA

[1] José Sanz y José Toledano, *Instalaciones de Distribución, Electricidad – Electrónica*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2010. La necesidad de producir energía al ritmo tan elevado que hoy en día se demanda por los consumidores, lleva a la necesidad de interconectar todas las centrales de generación a través de un sistema eléctrico integrado.

Por lo general, la mayoría de veces las plantas de producción o generación de energía eléctrica no se encuentran en el lugar donde se va a consumir dicha energía, sino que es necesaria transportarla desde dichos lugares de producción, situados a varios cientos o miles de kilómetros, hasta el punto de utilización, casi siempre situado en lugares próximos a ciudades o poblaciones de mayor o menor número de habitantes.

Normalmente las centrales generadoras, sean del tipo que sean hidráulicas, térmicas, nucleares, eólicas, fotovoltaicas, etc., suelen situarse junto a los nacimientos de las materias primas que van a utilizar para la creación de dicha energía (agua, carbón, viento) o necesaria para la refrigeración de los elementos que la producen (agua para la refrigeración de los reactores situados en las centrales nucleares).

Las tensiones de generación eléctrica en las diversas centrales oscilan entre los 6.000 y 20.000 voltios, tensiones que no son suficientes para su transporte a grandes a grandes distancias. Normalmente, estas tensiones son elevadas al nivel de tensión óptima para que las pérdidas por efecto Joule lo más pequeñas posibles.

[2] Antonio Colmenar y Juan Hernández, *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Ra - Ma, 2007. Un sistema eléctrico es el conjunto de elementos que hacen posible el suministro de energía eléctrica a los usuarios en condiciones adecuadas de tensión, frecuencia y disponibilidad.

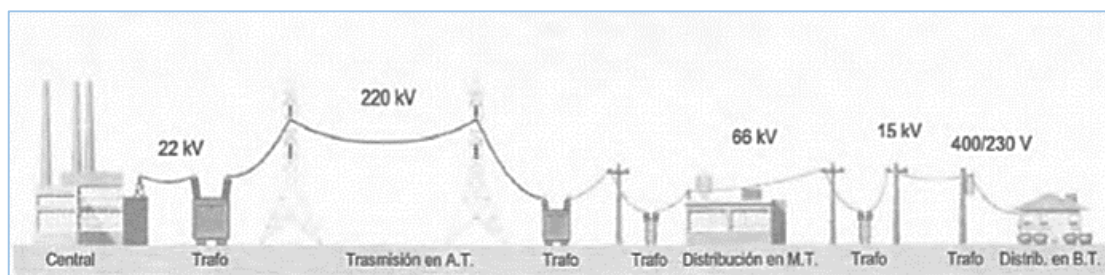


Figura 3. 1 Sistema Eléctrico

Fuente. *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje*

Se pueden formar por las siguientes partes, figura 3.2:

1. **Producción de energía eléctrica.** Se realiza en las centrales generadoras.
2. **Transporte de energía eléctrica.** La misión es el transporte de energía a grandes distancias desde los centros de producción. Las tensiones frecuentes de transporte son, 220, 380, 730 kV. Las líneas de transporte se conectan con las centrales eléctricas a través de las estaciones transformadoras elevadoras.

3. Distribución de energía eléctrica. Cabe fundamentalmente hablar de dos niveles de tensión: un nivel con redes que, generalmente en malla, cubren una gran superficie de consumo (gran ciudad, grandes zonas industriales, etc.) uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, desde donde parte la red de distribución en baja tensión, y un segundo nivel, que alimenta directamente a los distintos receptores, constituyendo el último escalón en la distribución de la energía eléctrica. [2]

- **Primer nivel. Red de distribución en alta tensión (A.T.).** Formadas por las redes de distribución primarias y secundarias. Las redes de reparto o de distribución primaria parte de una subestación transformadora (S.E.T.) con una salida de 45 a 132 kV y alimenta las estaciones transformadoras de distribución (E.T.D.) en los grandes núcleos poblacionales e industriales. De las E.T.D. parten a su vez, las líneas de distribución secundaria de 3 a 20 kV; a esta distribución se le suele llamar distribución en media tensión (M.T.), que terminan en los centros de transformaciones (C.T.). [2]
- **Segundo nivel. Red de distribución en baja tensión (B.T.).** La red de distribución en B.T. enlaza los C.T. con los usuarios, con una tensión de 400/230 V. A veces parten directamente de las E.T.D. [2]

4. Utilización de la energía eléctrica. En las viviendas, comercios, industrias, etc. Por otra parte, el suministro de energía eléctrica a los usuarios, por parte de la empresa distribuidora, puede hacerse en A.T. o en B.T. [2]

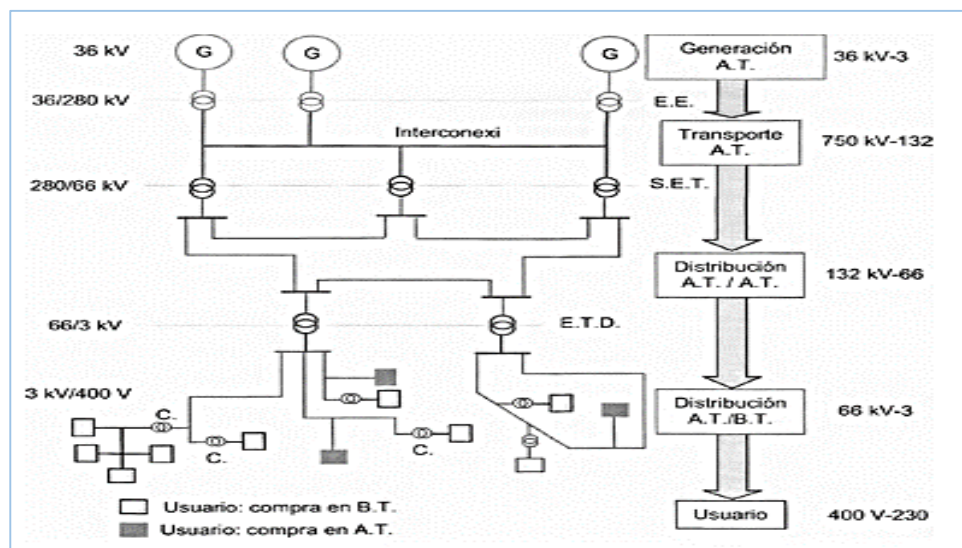


Figura 3. 2. Sistema Eléctrico - esquema

Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

3.2. DEFINICIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

[3] Juan Yebra, *Sistemas Eléctricos de Distribución*, 1era Ed. México: Editorial Reverte, 2009. Un sistema de distribución de energía eléctrica es un conjunto de elementos encargado de conducir la energía desde una subestación de potencia hasta el usuario. Básicamente, la distribución de energía eléctrica comprende las líneas primarias de

distribución, los transformadores de distribución, las líneas secundarias de distribución, acometidas y medidores.

Un sistema de distribución forma parte de un sistema eléctrico, ya que este comprende la generación, transmisión y distribución. Debido a la complejidad que han alcanzado los sistemas eléctricos de potencia y de distribución, prácticamente en todo el mundo existe una separación en el estudio de ambos. Por una parte, se trata la generación y la transmisión y por otra la distribución.

3.3. OBJETIVO DE LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

[3] Juan Yebra, *Sistemas Eléctricos de Distribución*, 1era Ed. México: Editorial Reverte, 2009. La distribución de energía eléctrica debe realizarse de tal manera que el cliente reciba un servicio continuo, sin interrupciones, con un valor de tensión adecuado que le permita operar sus aparatos eficientemente, y que la forma de onda senoidal sea pura, es decir que esté libre de armónicos. La distribución de energía debe llevarse a cabo con redes bien diseñadas que soporten el crecimiento propio de la carga, y que además sus componentes sean de la mejor calidad para que resistan el efecto de campo eléctrico y los efectos de la intemperie a los que se verán sometidos durante su vida útil. Las redes eléctricas deben ser proyectadas y construidas de manera que tengan la flexibilidad suficiente para ampliarse progresivamente con cambios mínimos en las construcciones existentes, y así asegurar un servicio adecuado y continuo para la carga presente y futura al mínimo coste de operación.

3.4. REDES DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN

[1] José Sanz y José Toledano, *Instalaciones de Distribución, Electricidad – Electrónica*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2010. Se denomina red de distribución al conjunto de conductores con todos sus accesorios, sus elementos de sujeción, protección, etc., que une una fuente de energía con las instalaciones interiores o receptores.

[2] Antonio Colmenar y Juan Hernández, *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Ra - Ma, 2007. Las redes de distribución en B. T. están formadas por conductores que, procedentes de centros de transformación (C. T.), alimentan las distintas acometidas que van encontrando a su paso.

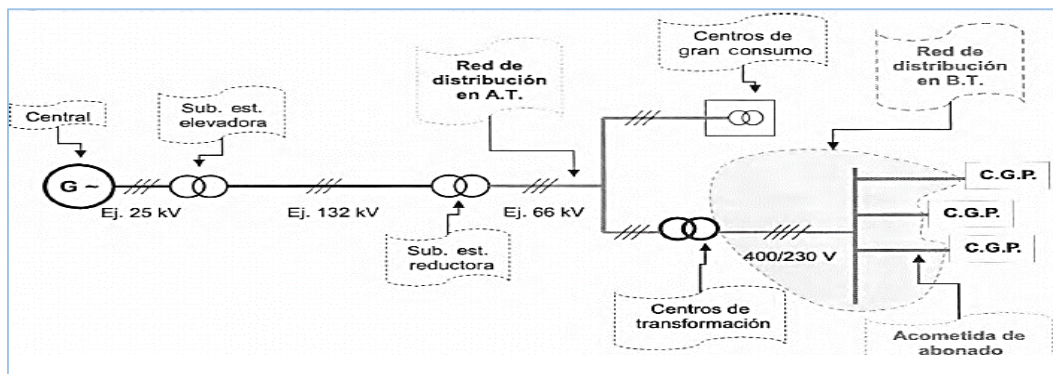


Figura 3. 3.Red de Distribución en A.T. y B.T.
Fuente. *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje*

Se denomina **acometida** a la parte de la instalación comprendida entre la red de distribución y la caja general de protección (C.G.P.), o la caja de protección y medida (C.P.M.) cuando alimenta a un solo usuario. De la C.G.P se deriva la línea general de alimentación (L.G.A.), que llega al cuadro de contadores (C.C.), desde donde parten las derivaciones individuales (D.I.) a cada una de las viviendas o locales, llegando cada una de ellas al cuadro de mando y protección de la vivienda o local (C.M.P.) del que parten, a su vez las instalaciones interiores (I.I.).

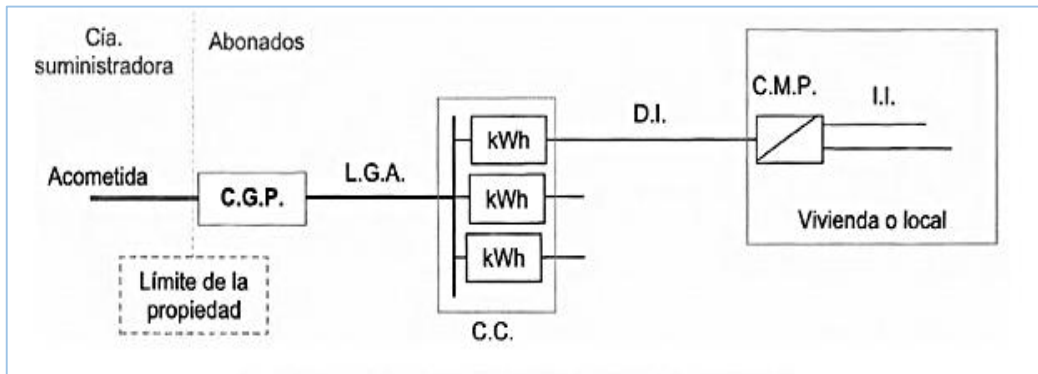


Figura 3. 4. Acometidas e instalaciones de enlace

Fuente. *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje*

3.4.1. Tensiones de Distribución Secundaria

[4] Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Electricidad, *Código Nacional de Electricidad*, Sistema de Distribución, Tomo IV. Los niveles de tensión aprobados para los sub-sistemas de distribución secundaria e instalaciones de alumbrado público que abastecen servicios públicos, son los indicados en la tabla siguiente:

TENSIÓN NOMINAL Red Trifásica (V)	Red Monofásica (V)
220	220
380/220	440/220

Tabla 3. 1. Tensiones Nominales - MEM

Fuente. *Ministerio de Energía y Minas*

Las tensiones que se emplearán serán tales que permitan adoptar los siguientes sistemas de corriente alterna de 60 Hz.

- ✓ 220 V, trifásico, 3 conductores (activos)
- ✓ 380/ 220 V, trifásico, 4 conductores (3 conductores activos y un conductor neutro con puesta a tierra múltiple).
- ✓ 220V, monofásico, 2 conductores (activos).
- ✓ 440/220V, monofásico, 3 conductores (dos conductores activos y un conductor neutro con puesta a tierra múltiple).

En la Norma de Tensiones DGE respectiva, se establecen las disposiciones específicas que deben tenerse en cuenta en el proyecto y obras de distribución secundaria.

3.4.2. Tipos de Redes de Distribución

[1] José Sanz y José Toledano, *Instalaciones de Distribución, Electricidad – Electrónica*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2010. Las redes de distribución de energía pueden ser ejecutadas de la siguiente manera:

- ✓ Líneas aéreas.
- ✓ Líneas Subterráneas
- ✓ Líneas mixtas (algunos tramos aéreos + otros subterráneos).

3.4.2.1. Líneas Aéreas

[1] José Sanz y José Toledano, *Instalaciones de Distribución, Electricidad – Electrónica*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2010. Son aquella en que los conductores van instalados por encima del suelo. Para que éstos puedan mantenerse en el aire deberemos utilizar apoyos, pudiendo ser estos de madera, hormigón o de celosía metálica. Sobre estos apoyos se montarán los diferentes elementos o herrajes, que servirán posteriormente de sujeción a los conductores.

El montaje de dichos conductores podrá realizarse en montaje sobre red posada o red tensada. Se denomina red posada, la instalación realizada en fachada o muros, en la que los conductores quedan sometidos a esfuerzos mecánicos a excepción de su propio peso.

En cambio, en red tensada, es la que los conductores se instalan normalmente sobre apoyos, con una tensión mecánica predeterminada, mediante dispositivos de anclaje o suspensión. Las líneas aéreas presentan ventajas importantes sobre las subterráneas, ya que el coste inicial de montaje es reducido y el mantenimiento posterior de las mismas es relativamente fácil.

3.4.2.1.1. Estructuras de apoyo.

[1] José Sanz y José Toledano, *Instalaciones de Distribución, Electricidad – Electrónica*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2010. Los apoyos que normalmente se utilizan en la actualidad son de hormigón armado y de celosía o chapa metálica. Los apoyos deben estar sometidos a los apoyos: fuerzas debidas a los conductores, fuerzas debida al viento, fuerza debida al hielo, etc., y a las zonas donde vayan a ser instalados.

3.4.2.1.2. Elementos y accesorios de fijación

[1] José Sanz y José Toledano, *Instalaciones de Distribución, Electricidad – Electrónica*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2010. Los elementos utilizados para fijar los conductores a los apoyos son básicamente de dos tipos: elementos de suspensión y de amarre.

3.4.2.1.3. Conductores

[1] José Sanz y José Toledano, *Instalaciones de Distribución, Electricidad – Electrónica*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2010. Los conductores en las redes aéreas podrán ser de cobre, aluminio o de otros materiales o aleaciones que posean características eléctricas y mecánicas adecuadas y serán preferentemente aislados.

- **Con conductores desnudos.** De cobre o aluminio – acero. Los conductores van sujetos a los aisladores, a través de los herrajes, colocados en las crucetas en los postes que la mantienen alejados del suelo. Los conductores de aluminio – acero están compuestos de varios alambres de aluminio, de igual o diferente diámetro nominal, y de alambres de acero galvanizado. Los alambres van cableados en capas concéntricas, los alambres centrales son de acero y las capas exteriores la forman alambres de aluminio. [2]
- **Con conductores trenzados.** De aluminio y de aluminio – acero. Reemplaza en las líneas aéreas los conductores desnudos. El cable trenzado está constituido por tres o cuatro cables unipolares aislados individualmente y trenzados (**cables posados**), o cableados sobre un núcleo central formado por una cuerda portante de acero (**cables tensados**). [2]
- **Con conductores aislados.** De cobre o aluminio. Es un cable adecuado para líneas aéreas sobre aisladores, pero no para la derivación de una línea aérea al interior de un edificio. [2]

3.4.2.2. Líneas subterráneas

[1] José Sanz y José Toledano, *Instalaciones de Distribución, Electricidad – Electrónica*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2010. Se entiende por línea subterránea aquella línea que van enterrada, bien de forma directa, en el interior de tubo o conducto, o de galería, estando situado ésta por debajo del terreno.

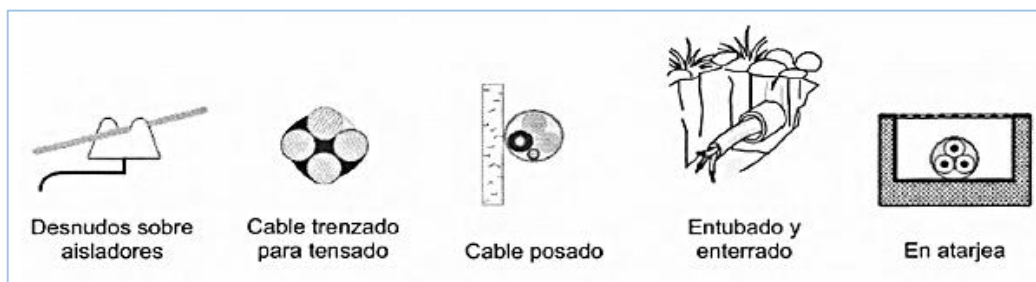


Figura 3. 5. Tipos de canalización en B.T.

Fuente. *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje*

3.5. SISTEMAS ELECTRICOS RURALES

En la casi totalidad de los países del mundo, la estrategia más utilizada para dar acceso a la electricidad es la extensión de la red eléctrica. Sin embargo, esta estrategia es poco factible cuando se trata de llegar a zonas alejadas, de difícil acceso y con baja densidad de población.

Los Sistemas Eléctricos Rurales (SER) son aquellos sistemas eléctricos de distribución desarrollados en zonas rurales, localidades aisladas, de frontera del país, y de preferente interés social, que se califiquen como tales por el Ministerio de Energía y Minas.

La electrificación rural, tiene como propósito concentrar la igualdad de los derechos ciudadanos, en particular el de acceso al servicio básico de electricidad a la vivienda, resolviendo así las enormes brechas existentes en infraestructura entre las zonas urbanas y las áreas rurales y de frontera del país, incorporando a sus beneficiarios al mercado, al consumo y al desarrollo, logrando así su inclusión social con la finalidad de reducir la pobreza.

El Ministerio de Energía y Minas, a través de la Dirección Ejecutiva de Proyectos (DEP), es competente en materia de electrificación rural, para lo cual coordina con los gobiernos regionales y locales, empresas concesionarias de distribución eléctrica y de electrificación rural, y demás entidades y programas del Gobierno Nacional, relacionadas con la ejecución de obras de electrificación rural y su administración, operación o mantenimiento.



Figura 3. 6. Sistemas eléctricos rurales
Fuente: www.regioncajamarca.gob.pe

La electrificación rural en el Perú presenta características especiales como son: la lejanía y poca accesibilidad de sus localidades, el consumo unitario reducido, poblaciones y viviendas dispersas, bajo poder adquisitivo de los habitantes.

Por otro lado, no existe suficiente infraestructura vial, encontrándose aislados. Tampoco cuentan con infraestructura social básica en salud, educación, saneamiento, vivienda,

obras agrícolas, etc, esto en la actualidad no se puede representar para todas pequeñas comunidades en su totalidad, pero si en gran parte.

3.5.1. Marco Legal

[5] Dirección General de Electrificación Rural, “*Plan Nacional de Electrificación Rural PNER 2015 - 2024*, Ministerio de Energía y Minas, Gobierno del Perú, Part. I y II, diciembre 2014. La electrificación rural en el Perú se rige por su actual norma, Ley N° 28749, “Ley General de Electrificación Rural” de fecha 01 de Junio de 2006, y su Reglamento aprobado con Decreto Supremo N° 025-2007-EM de fecha 03 de Mayo de 2007. Dicha ley tiene como objetivo establecer el marco normativo para la promoción y el desarrollo eficiente y sostenible de la electrificación de zonas rurales, localidades aisladas y de frontera.

También la Ley y el Reglamento promocionan la participación de la inversión privada en proyectos de electrificación rural considerados en el Plan Nacional de Electrificación Rural, cuya ejecución sería financiada por el privado y subsidiada en parte por el Estado. [5]

3.5.2. Evolución y comportamiento de la Electrificación Rural

La cobertura eléctrica de acuerdo con los resultados del censo del año 1993 fueron: Nacional 54,9%, Urbano 77% y Rural 7,7%. [5]

De acuerdo con los resultados del censo del año 2007 se tienen los siguientes valores: Nacional 74,1%, Urbano 89,1% y Rural 29,5%. [5]

Al finalizar el año 2014, se han estimado las siguientes coberturas: Nacional 92% y Rural 75,2%. [5]



Figura 3. 7. Sistemas Eléctricos Rurales - Zona Selva
Fuente: www.minem.gob.pe

El Estado a través del Ministerio de Energía y Minas ha venido ejecutando el programa de electrificación rural, utilizando para ello diversas tecnologías aplicables a esa realidad, sobre la base de una selección de fuentes de energía, las mismas que consideran en primer término la extensión de redes del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y/o

la de los Sistemas Aislados (SSAA), a partir de las cuales se desarrollan los Sistemas Eléctricos Rurales (SER's). [5]

La imposibilidad o inconveniencia técnica y/o económica de conectarse a los grandes sistemas eléctricos, determina priorizar el uso de fuentes de energía solar como la segunda alternativa tecnológica para la solución de las necesidades de electrificación rural vía la implementación de los Sistemas Fotovoltaicos (SF) de uso doméstico o comunal, en áreas geográficas con potenciales solares como en las zonas de sierra y selva. [5]

Como tercera alternativa tecnológica para la solución de las necesidades de electrificación rural está la energía hidráulica a través de la construcción de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH's). [10]

Finalmente, la fuente de energía eólica es la cuarta alternativa cuya aplicación se viene evaluando para fines de electrificación rural, en zonas preferentemente que se ubican en los valles intermedios y en las cercanías del litoral de la costa. [5]

A nivel de Usos Productivos, se promueve el uso más intensivo de la electricidad en áreas rurales del país, en actividades productivas, negocios rurales, difundiendo los beneficios de la energía eléctrica, para contribuir a incrementar la productividad y mejorar las condiciones de vida en las comunidades rurales. [5]

Con la electrificación rural se busca orientar las inversiones hacia las zonas con menor cobertura eléctrica y las de mayor índice de pobreza, con el fin de acelerar su desarrollo.

3.5.3. Tipos de Sistemas Eléctricos Rurales

Existen dos tipos de Sistemas Eléctricos Rurales, los cuales son bien diferenciados, y de los cuales, su diseño, construcción, montaje y mantenimiento guardan una relación cercana. A continuación, se detallan los sistemas:

- 3.5.3.1. **Redes Primarias:** Son aquellos sistemas por el cual circula la energía desde un punto de conexión de una red ya existente, o también de un Subestación propia, hasta las localidades o comunidades que van a ser energizadas. Este es el primer sistema que se construye, de aquí parte todo el proceso de electrificación rural, claro está, luego de haberse desarrollado el estudio de ingeniería.

Estos sistemas son en su totalidad Aéreos, las tensiones con la cual se trabaja en electrificación Rural son las de 22,9 kV y 22,9/13.2 kV, de tal manera se garanticen los niveles mínimos de seguridad para las personas y propietarios, ya que son sistemas aislados. Además, estos sistemas pueden ser monofásicos o trifásicos.

- 3.5.3.2. **Redes Secundarias:** Son aquellos sistemas del cual parte desde una subestación que se ha proyectado en el sistema de Redes Primarias. Este tipo de red es con la cual se llega al usuario o propietario, por medio de estructuras más cortas y menos complejos.

Estos sistemas también constituyen la iluminación de la localidad, por medio de luminarias, que estas dispuestas en los postes, lo cuales también son de dimensiones menores a los de las redes primarias.

Estos sistemas también son en su totalidad aéreos, debido a que por ser localidades alejadas, no cuentan con planos catastrales adecuados, y esto podría generar un problema para el sistema eléctrico si se construyera de forma subterránea, cuando se construyan pistas, veredas, etc. Estos sistemas manejan tensiones de 380 – 220 V y 440 – 220 V con conductor autoportante.

El diseño de Líneas y Redes Primarias comprende también etapas previas al diseño propiamente dicho, el cual consiste la determinación de la Demanda Eléctrica (o mercado eléctrico) del Sistema (que define el tamaño o capacidad), Análisis y definición de la Configuración Topológica del Sistema, Selección de los Materiales y Equipos. El diseño propiamente se efectúa cuando se ha definido la topografía, tanto de las Líneas Primarias como de las Redes. El diseño comprende: Cálculos Eléctricos, Cálculos Mecánicos, Cálculo de Cortocircuito y Coordinación de Protección, Cálculo de Puesta a Tierra, Cálculo de la Cimentación. Estos Análisis forman parte de los Cálculos Justificativos del Diseño de las Líneas y Redes Primarias, para los Proyectos Eléctricos denominados “Pequeños Sistemas Eléctricos”, que en algunos casos incluyen Subestaciones de Potencia.

3.6. EL CONDUCTOR ELÉCTRICO

[2] Antonio Colmenar y Juan Hernández, *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Ra - Ma, 2007. En una línea eléctrica el conductor tiene la función de canalizar la corriente. Los materiales utilizados son el cobre, aluminio y el aluminio-acero. En la tabla 3.2 se muestran las características fundamentales para cada una de ellas.

MATERIAL	RESISTIVIDAD $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	DENSIDAD kg/dm^3	CARGA DE ROTURA kg/mm^2	TEMP. DE FUSIÓN $^{\circ}\text{C}$	CALOR ESPECÍFICO: $\text{kcal}/\text{kgf}^{\circ}\text{C}$
Cobre	0,0176	8,9	25	1.083	0,093
Aluminio	0,0260	2,7	15	657	0,214
Acero	0,0350	7,8	42	1.480	0,114

Figura 3. 8. Características fundamentales de los materiales
Fuente. *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje*

Los conductores pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios:

- ✓ Según su forma, pueden ser:
 - Hilo o alambre. Es una varilla de gran longitud en relación a su peso.

- Cable. Conductor formado por un grupo de hilos trenzados de forma conjunta.
- Barra de Cu. Normalmente de perfil rectangular, se utilizan en cuadros eléctricos, estaciones transformadoras, etc.

✓ Según su aislamiento, figura 3.9, puede ser:

- Conductor desnudo. No dispone de ningún tipo de aislamiento, de uso habitual en líneas aérea.
- Conductor aislado. Dispone de un aislamiento que evita el contacto del conductor con otros conductores y con el exterior. Se utiliza en líneas aéreas, subterráneas e instalaciones de interior. Este tipo de conductor, a su vez figura 3.10, puede ser:
 - Unipolar, si está formado por un solo conductor.
 - Multipolar, cuando están formados por dos (bipolar), tres (tripolar) o más conductores.

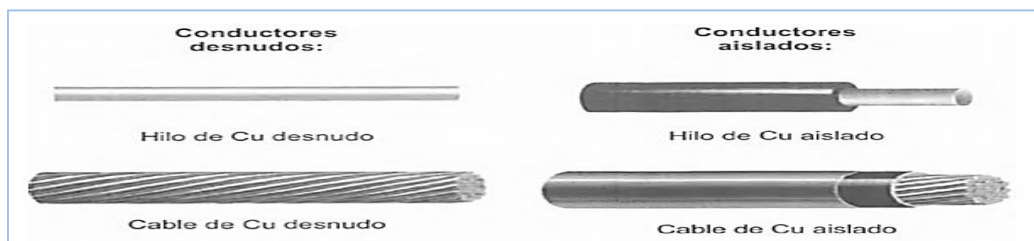


Figura 3. 9. Tipos de conductores II

Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

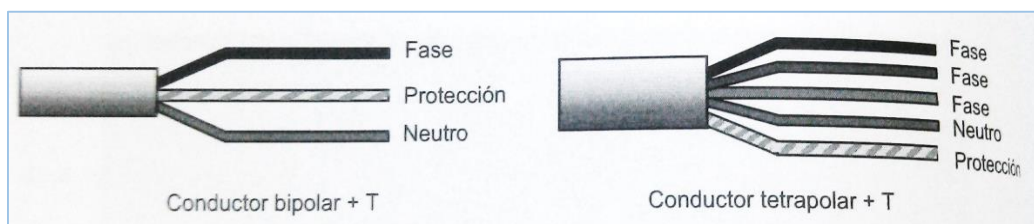


Figura 3. 10. Conductores multipolares.

Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

3.6.1. Conductores aislados

En general, un cable eléctrico aislado, figura 3.10, se puede distinguir tres partes perfectamente diferenciadas:

- El conductor**, es la parte del cable que se encarga de conducir la energía eléctrica.

b) **El aislamiento**, su función es aislar eléctricamente al conductor de otros conductores y del exterior. El aislamiento debe ser de un material flexible que permita la disposición del cable en rollos, tubos, zanjas, etc. En los cables eléctricos en B.T. se utilizan fundamentalmente dos tipos de aislamiento:

- Aislamiento termoplástico. Tienen la propiedad que se reblandecen con el calor y se vuelven rígidos y quebradizos con el frío, lo que impide su tendido a bajas temperaturas, ejemplo el PVC (policloruro de vinilo) y el PE (polietileno termoplástico).
- Aislamiento termoestable. Mantienen una adecuada flexibilidad en el rango de las temperaturas de utilización, ejemplo el XLPE (polietileno reticulado) y el EPR (goma etileno-propileno).

c) **La protección**, tiene la función de proteger al conductor de posibles agresiones externas, mecánicas, químicas, etc. En general, se tiene tres tipos distintos de protección:

- Armaduras. Protegen el cable contra agresiones mecánicas, como golpes, esfuerzos de tracción, roedores, etc.
- Pantallas. Su función es confirmar y homogenizar los campos eléctricos y magnéticos y derivar a tierra posibles corrientes de defecto.
- Cubiertas. Es el elemento aislante exterior del cable que lo protege a gentes exteriores.

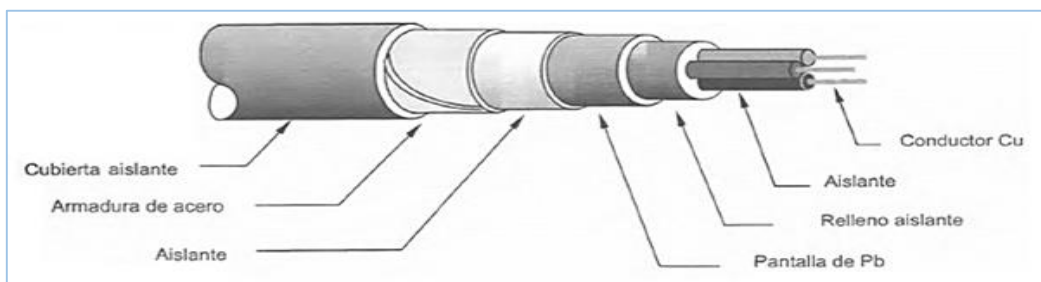


Figura 3. 11. Conductor aislado.

Fuente. *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje*

3.7. ECUACIÓN DE UN CABLE TENDIDO ENTRE DOS PUNTOS. CATENARIA. VANO. FLECHA

[2] Antonio Colmenar y Juan Hernández, *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Ra – Ma. Un conductor de peso uniforme, sujeto entre dos apoyos por los puntos A y B situados a la misma altura, adopta la forma de una curva llamada **catenaria**. La distancia f entre el punto más bajo situado en el centro de la curva y la recta AB, que une los apoyos, recibe

el nombre de **flecha**. Se llama **vano** a la distancia “a” entre los dos puntos de amarre A y B. Figura 3.12.

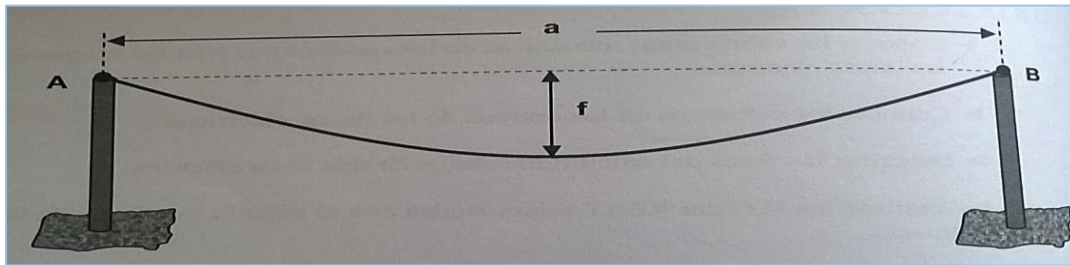


Figura 3. 12. Catenaria, vano y flecha de una línea aérea
Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

En la práctica, como la ecuación de la catenaria es una formula compleja se utiliza la aproximación parabólica. Las características del conductor tendido serán:

- S: Sección del conductor.
- Pp: Peso propio por unidad de longitud.
- T: Tensión mecánica en el punto A y en el punto B.
- Tv: Tensión en el vértice de la catenaria (punto más bajo).

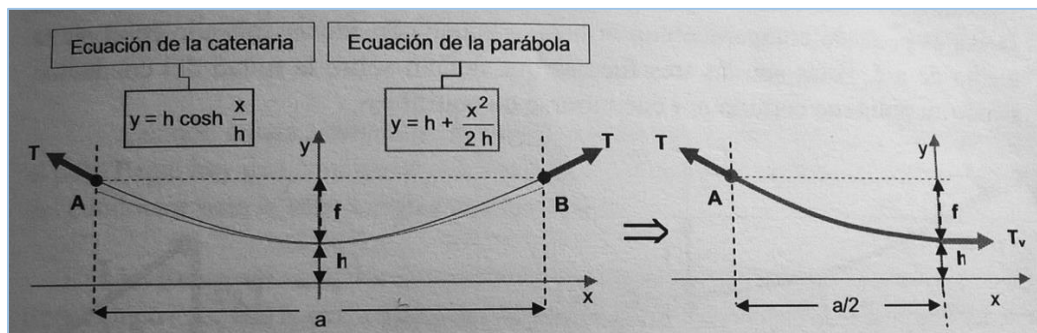


Figura 3. 13. Catenaria
Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

	Ecuación	Parámetro de la curva	Longitud conductor	Flecha	Tensión en los extremos A y B
Catenaria	$y = h \cosh \frac{x}{h}$	$h = \frac{T_v}{\frac{P_p}{S}}$	$L = 2 h \operatorname{senh} \frac{a}{2 h}$	$f = h \left(\cosh \frac{a}{2 h} - 1 \right)$	$T = T_v + \frac{P_p}{S} f$
Parábola	$y = h + \frac{x^2}{2 h}$	$h = \frac{T_v}{\frac{P_p}{S}}$	$L = a + \frac{a^3 P_p^2}{24 T^2}$	$f = \frac{a^2 P_p}{8 T_v}$	$T = T_v$

Figura 3. 14. Ecuaciones de la Catenaria y Parábola.
Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

3.7.1. Sobrecargas en los cables

[2] Antonio Colmenar y Juan Hernández, *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Ra – Ma. La forma en que adopta un conductor tendido entre dos puntos se debe únicamente a la acción de su propio peso (Pp.). Pero se debe tener en cuenta que una vez tendido el conductor,

queda sometido a la acción de los agentes atmosféricos que modifican los parámetros de tendido, y como consecuencia la tensión y la flecha del conductor.

3.7.1.1. Sobrecarga de Viento

El viento ejerce sobre los conductores una fuerza, sobrecarga de viento, que se considera perpendicular al conductor. Figura 3.15. [2]

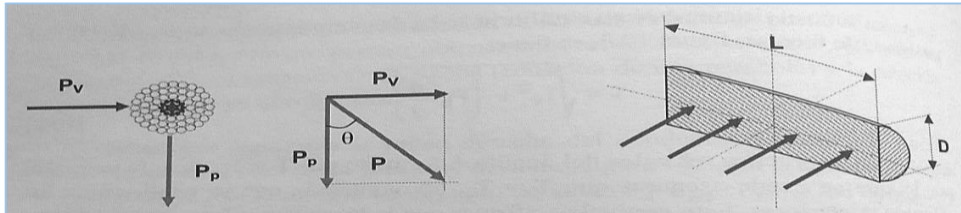


Figura 3. 15. Sobrecarga de viento.

Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

La fuerza (F_v) se obtiene de multiplicar la presión del viento en el conductor (p_v), por la sección rectangular (S) del mismo:

$$F_v = p_v \cdot S = p_v \cdot D \cdot L \quad [3.1]$$

La fuerza por unidad de longitud (P_v) tiene valor de:

$$P_v = \frac{F_v}{L} = p_v \cdot D \quad [3.2]$$

Una fuerza se suma debido al propio peso del conductor P_p , dando una fuerza resultante por unidad de longitud P , sobre el mismo valor:

$$P = \sqrt{P_p^2 + P_v^2} \quad [3.3]$$

La acción del viento fuerza al conductor a situarse en un plano oblicuo, inclinándolo un ángulo θ respecto del plano sin viento.

$$\text{tag} \theta = \frac{P_v}{P_p} \quad [3.4]$$

3.7.1.2. Sobrecarga de Hielo

Existen zonas por donde transcurre la línea en las que las condiciones metrológicas y la temperatura determinan la formación de un manguito de hielo alrededor de los conductores. Tienen doble efecto, por una parte, el peso del conductor se incrementa con el peso P_H de dicho manguito, peso por unidad de longitud, y por otra, aumenta el diámetro de la superficie batida por el viento. Figura 3.17. [2]

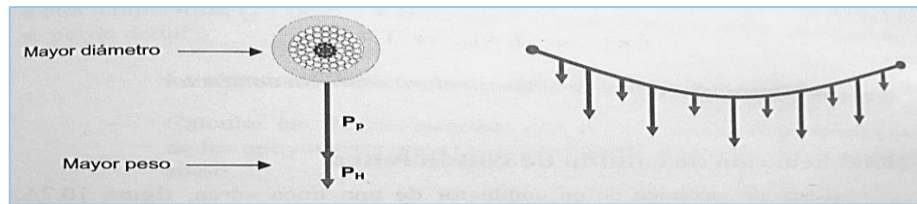


Figura 3. 16. Sobre carga de Hielo.

Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

3.7.1.3. Cambio de Temperatura

Los cambios de temperatura, figura 3.18, afectan a los conductores de la siguiente manera:

- *La temperatura aumenta.* La longitud de los conductores aumenta (dilatación), con lo que **aumenta la flecha** y por lo tanto disminuye la tensión. Por lo tanto, es preciso asegurarse en el cálculo de que, en caso de producirse la temperatura máxima, la flecha no supere un valor máximo, que podría generar que los conductores y el suelo fuese menor que el límite establecido por reglamento. [2]
- *La temperatura disminuye.* La longitud de los conductores disminuye (contracción), con lo que disminuye la flecha y por lo tanto aumenta la tensión. En este caso debemos asegurar que la tensión máxima que se pueda producir no supere la tensión máxima a la que puede estar sometida el conductor. [2]

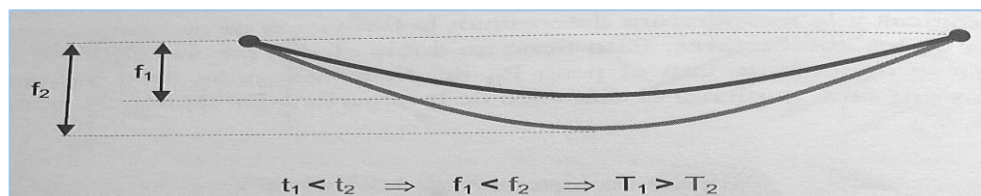


Figura 3. 17. Efectos de la temperatura sobre un conductor

Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

3.7.2. Ecuación de cambio de condiciones

- **La tensión-flecha de tendido** para que, en los casos más desfavorables, el conductor mantenga la adecuada distancia de seguridad con el suelo y la tensión máxima que pueda adquirir no sea superior a la tensión de rotura del conductor. [2]
- **La flecha máxima** que pueda tomar el conductor, que permita el cálculo de la altura de los apoyos con el fin de asegurar la adecuada distancia del conductor con el suelo. [2]

- **La tensión máxima** que pueda adquirir con objeto de que no sea superior a la tensión de rotura del conductor dividida por un coeficiente de seguridad, y además, permite determinar las características mecánicas de los apoyos. [2]

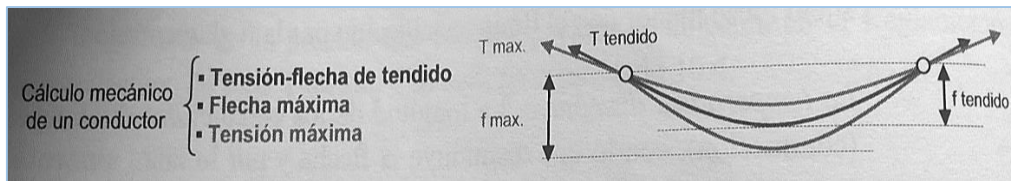


Figura 3. 18. Cálculo mecánico de un conductor.

Fuente. *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje*

3.8. APOYOS: TIPOS DE APOYOS

[2] Antonio Colmenar y Juan Hernández, *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Ra – Ma. Los apoyos son elementos que soportan los conductores y demás componentes de una línea aérea separándolas del suelo. Figura 3.19.



Figura 3. 19. Poste de Hormigón con retenida, luminaria y acometida.

Fuente. www.regioncajamarca.gob.pe

Atendiendo a su función de línea, los apoyos se clasifican en:

- ✓ Apoyos de alineación
- ✓ Apoyos de anclaje
- ✓ Apoyos de ángulo
- ✓ Apoyos de fin de línea
- ✓ Apoyos de derivación
- ✓ Apoyos especiales (Anclaje y/o derivación)

Los postes de hormigón armado vibrado o centrifugado, o también los postes de madera tratada, son los que usualmente se utilizan hoy en día, por lo cual en este estudio se plantea el diseño de un poste armable que utilice un material alternativo como el de maderas plásticas.

3.8.1. Esfuerzos en los apoyos

Los apoyos se han de calcular para que resistan, además de los esfuerzos debidos a los conductores, el peso de los aisladores, crucetas, ferretería, y la sobrecarga debido al viento sobre estos elementos y sobre el propio apoyo (la acción del viento sobre el propio apoyo la puede considerar el fabricante para dar el valor del esfuerzo nominal del apoyo, en este caso, no hay que tenerla en cuenta, nuevamente, para el cálculo). [2]

Los posibles esfuerzos sobre los apoyos debido a los **conductores** se pueden ver esquemáticamente en la figura 3.20.

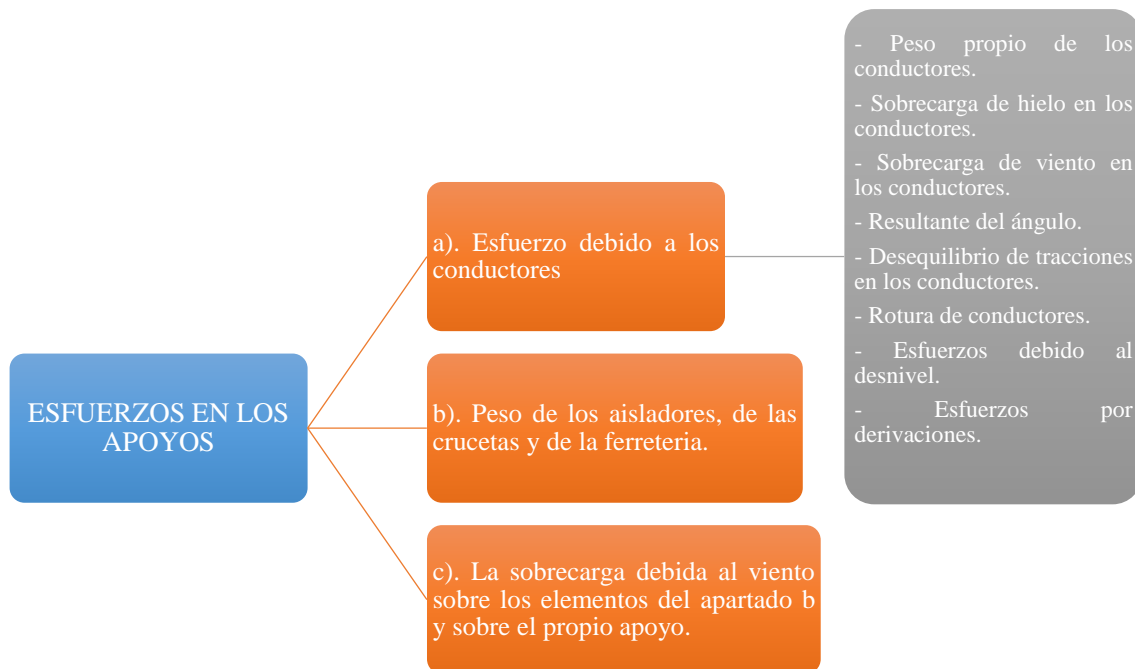


Figura 3. 20. Esfuerzos en apoyos.
Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

- **Peso propio del conductor.** Es una carga vertical que da lugar a *fuerzas de compresión* en los apoyos.
- **Sobrecarga de hielo.** Debida al posible manguito de hielo, es una carga vertical que se suma a la anterior, aumentando la *fuerza de compresión* en el apoyo.
- **Carga de viento en el conductor.** La acción del viento en los conductores da lugar a fuerzas normales a la línea que originan *momentos flectores* en el apoyo en una dirección transversal a la línea.
- **Resultante de ángulo.** Cuando se produce un cambio de dirección β en una línea, figura 3.21, las tensiones T de cada vano no se anulan, y su resultante R_A (si las tensiones a ambos lados son iguales) por conductor o haz tienen por valor: [2]

$$R_A = 3 \cdot T \cdot \text{sen} \frac{\beta}{2} \quad [3.5]$$

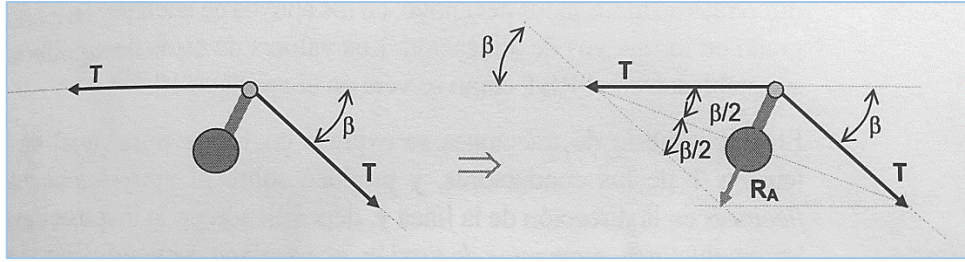


Figura 3. 21. Apoyo de ángulo.

Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

La resultante R_A produce sobre el apoyo un *momento flector* en el plano de la bisectriz del ángulo formado por los vanos anteriores y posteriores al apoyo.

- **Desequilibrio de tracciones.** Se produce debido a que solo existe tracción en un lado, en los apoyos de fin de línea, o por ser las tensiones diferentes a ambos lados del apoyo, en los apoyos de anclaje y en menor grado en los apoyos de alimentación. [2]
- **Rotura del Conductor.** Los posibles esfuerzos debido a esta causa son los mismos que los debidos a desequilibrio de tracciones, pues la rotura de un conductor supone un desequilibrio máximo. Siempre se ha de considerar la rotura del conductor que produzca el mayor esfuerzo sobre el apoyo, figuras 3.22 y 3.23. El momento de torsión M , si el conductor descompensa tiene una tensión T y dista una distancia d del apoyo, tiene por valor: $M_T = T.d$ [2]
- **Esfuerzos debidos al desnivel.** Si los apoyos se encuentran al mismo nivel, figura 3.23, si se hace el polígono de las fuerzas que actúan sobre el conductor, que ha de ser cerrado por estar en equilibrio, se observa que cada apoyo, desde el punto de vista de la compresión, está sometido a una fuerza de valor $P/2$ ($T_{1y} = T_{2y} = P/2$). [2]

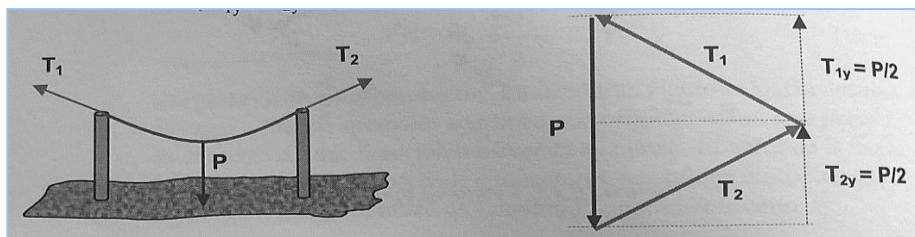


Figura 3. 22. Apoyos al mismo nivel.

Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

Si los apoyos se encuentran desnivelados, figura 3.23, la fuerza de compresión en los apoyos, T_{1y} y T_{2y} es diferente, aumentado en el apoyo que está a más altura y disminuye en el apoyo que se encuentra más bajo (pudiendo ser de tracción), como se parecía en el polígono de fuerzas del conductor. [2]

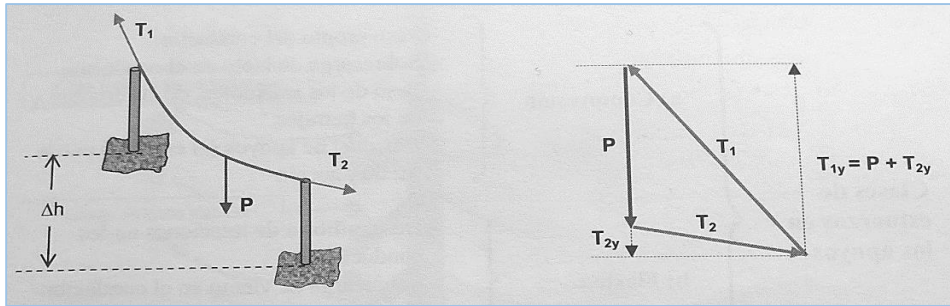


Figura 3. 23. Apoyos al mismo nivel.
 Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

En todas las cargas anteriores se ha de tener en cuenta el tipo de línea, conductores desnudos o aislados unipolares, o conductores trenzados en haz, para hallar la carga total.

Resumiendo, los apoyos pueden estar sometidos a las clases de esfuerzos que se muestran en la figura 3.24.

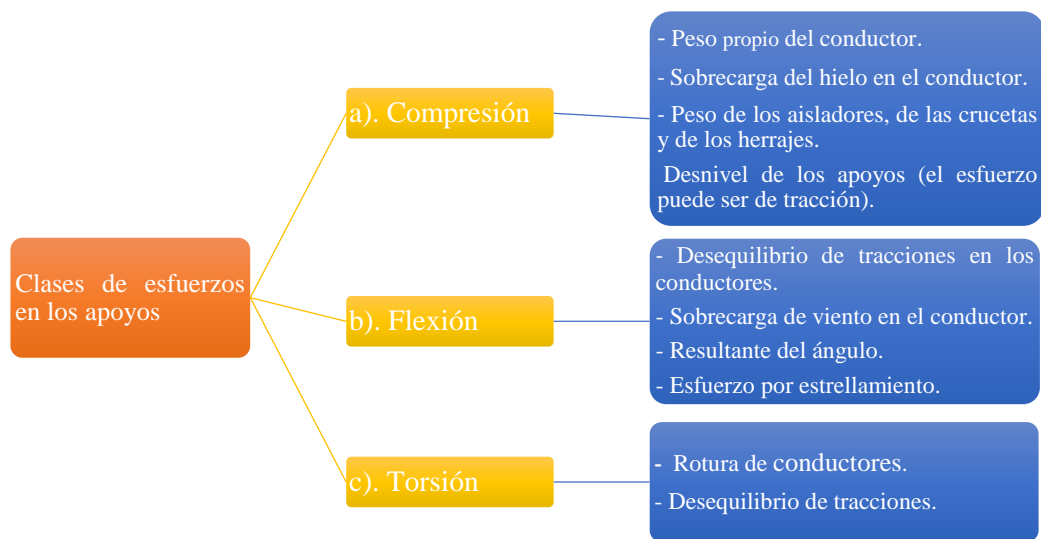


Figura 3. 24. Clases de esfuerzos en los apoyos.
 Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

Se representan todos los esfuerzos en las figuras 3.25 y 3.26. Aunque en BT es cada vez menos frecuentes la disposición de conductores que se representa en el apoyo de la figura 3.25 (por la sustitución de los cables desnudos por cables trenzados) se ha creído conveniente hacerlo de esta manera, de tal manera se entienda mejor los diferentes esfuerzos a los que pueden estar sometidos los apoyos. [2]

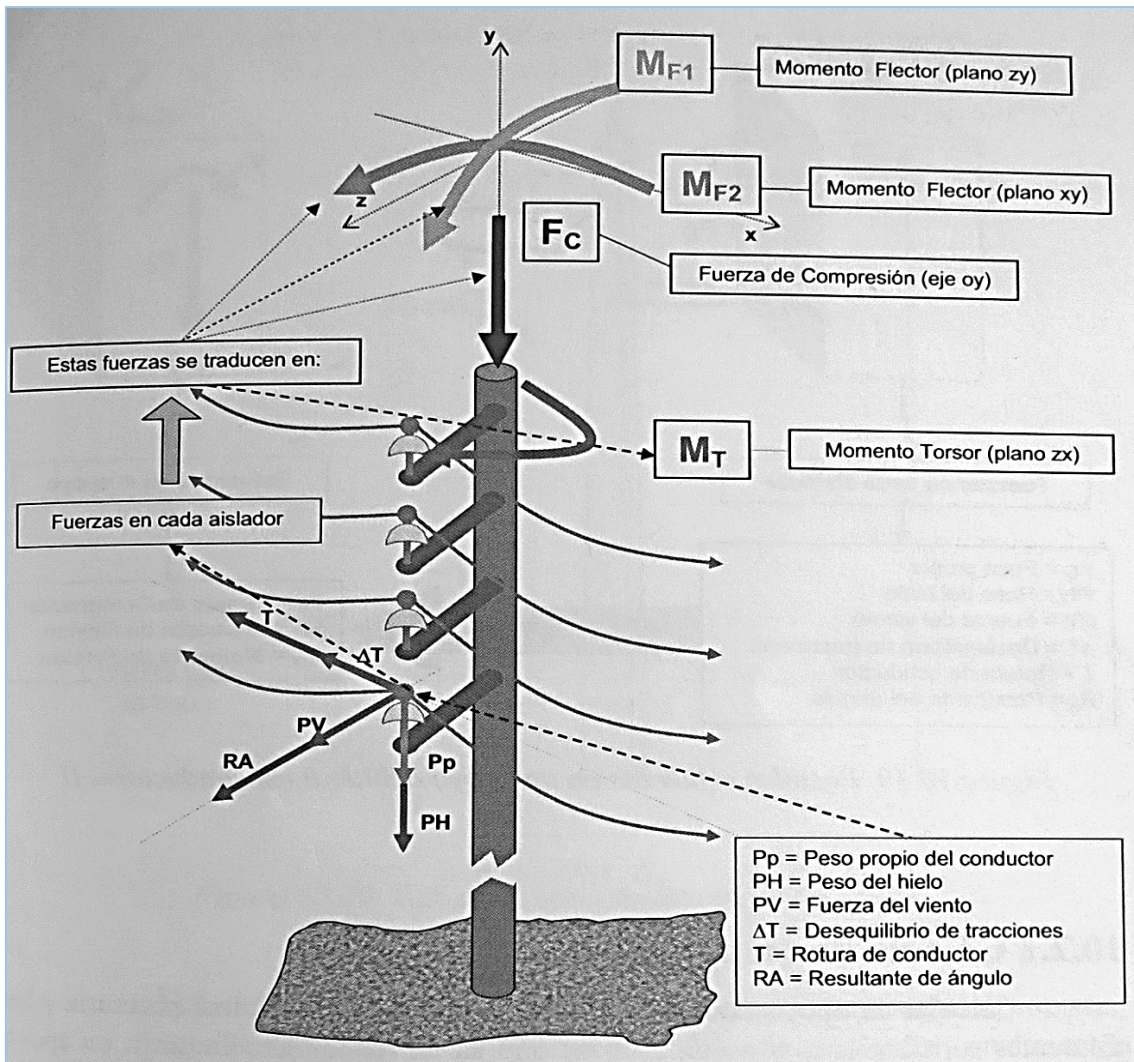


Figura 3. 25. Posibles esfuerzos en un apoyo debido a los conductores I.
 Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

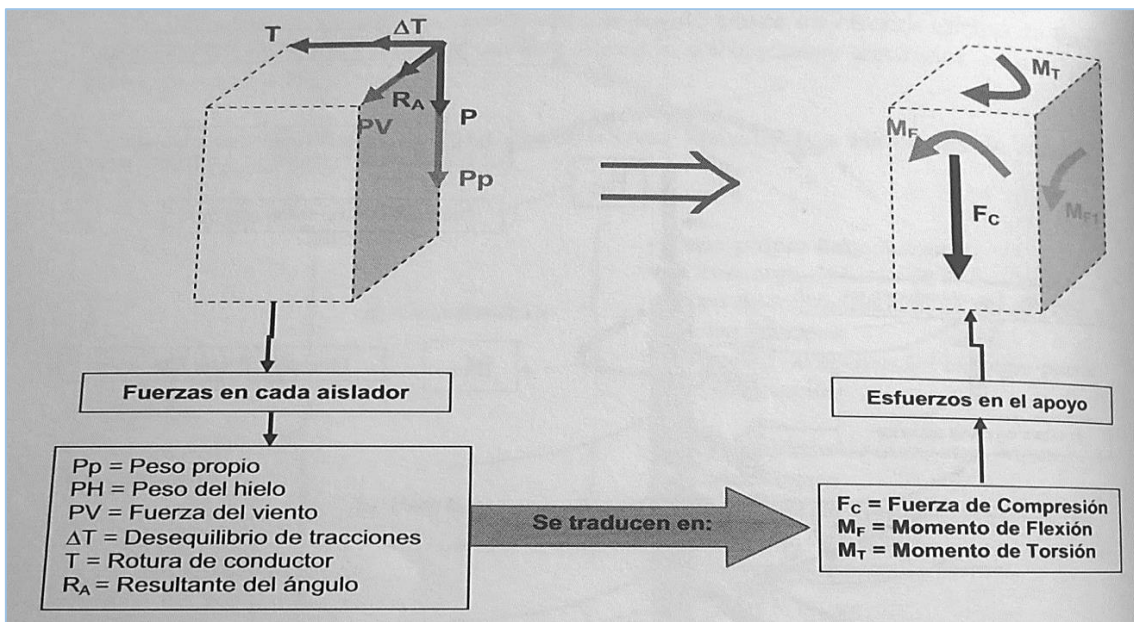


Figura 3. 26. Posibles esfuerzos en un apoyo debido a los conductores II.
 Fuente. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje

3.8.2. Cálculo en un apoyo

Calcular un apoyo consiste en determinar su altura mínima necesaria y las diferentes solicitaciones mecánicas a las que ha de responder. Es decir, un apoyo queda definido por su: [2]

- Altura
- Resistencia a la compresión: fuerza de compresión.
- Resistencia a la flexión: momento de flexión.
- Resistencia a la torsión: momento de torsión.

Una vez realizados estos cálculos se ha de elegir uno que tenga la altura y, como mínimo, las diferentes resistencias mecánicas obtenidas. Entre los fabricantes de postes, puede variar la designación de esfuerzos y puntos de aplicación de los mismos. Es frecuente, figura 3.27, dar los esfuerzos más característicos de los apoyos en la siguiente forma: [2]

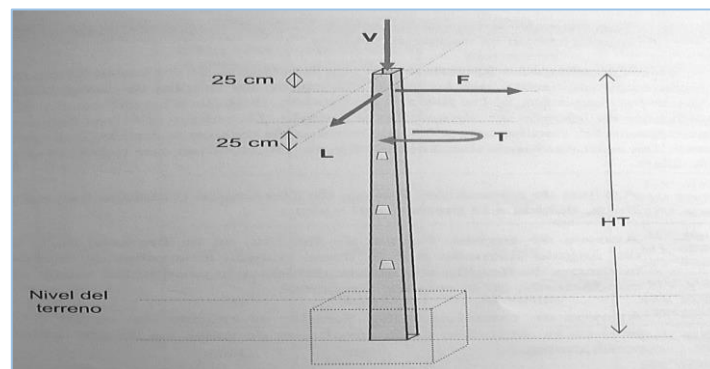


Figura 3. 27. Esfuerzos característicos de un apoyo.

Fuente. *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje*

- **Esfuerzo nominal F.** Es la sollicitación mecánica que es capaz de soportar, considerándola aplicada a 25 cm por debajo de la punta y en dirección normal a su eje vertical (normalmente, después de haber aplicado un coeficiente de seguridad y haber tenido en cuenta la acción del viento). Se le conoce también con el nombre de esfuerzo libre disponible. [2]
- **Esfuerzo secundario L.** Es la sollicitación mecánica que es capaz de soportar, considerándola aplicada a 25 cm por debajo de la punta y en dirección normal a la del esfuerzo nominal pero sin tener en cuenta la acción del viento. [2]
- **Resistencia a la torsión T.** Momento de torsión que el apoyo es capaz de resistir en un plano perpendicular a su eje (se puede dar en forma de momento o fuerza, indicando en este caso la distancia al eje del apoyo). [2]
- **Resistencia a la compresión V.** Fuerza de compresión longitudinal que el apoyo es capaz de resistir. [2]

En los cálculos de los apoyos de BT, en la práctica, en los vanos de uso frecuente, no se suele tener en cuenta, por su poca influencia, las fuerzas de compresión, debida a las cargas permanentes, ni las fuerzas de flexión, debidas a las diferencias de tensión del conductor en apoyos de alineación y ángulo. Debido a la forma frecuente en la que se disponen los conductores, los momentos de torsión son nulos o despreciables. Por tanto, las solicitaciones mecánicas, figura 3.25, a las que deben responder los apoyos son: [2]

- *Apoyos de alineación.* Es el apoyo que soporta a los conductores en los tramos rectos de línea. Para la norma peruana este tipo de apoyo se representa por E1. de acuerdo con la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas.
- *Apoyo de cambio de sección.* Es el apoyo que soporta a los conductores en los puntos que se modifican la sección de los conductores y/o el número de ellos. Para la norma peruana este tipo de apoyo se representa por E2, de acuerdo con la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas.
- *Apoyos de extremo de línea.* Es el apoyo que constituye el punto final de la línea o de un tramo de la misma. Para la norma peruana este tipo de apoyo se representa por E3, de acuerdo con la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas.
- *Apoyos de extremo de línea con derivación.* Es el apoyo que constituye el punto final de la línea o de un tramo de la misma, pero que a su vez cambia de dirección a la línea o conductor. Para la norma peruana este tipo de apoyo se representa por E4, de acuerdo con la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas.
- *Apoyos de alineación con derivación.* Es el apoyo que soporta a los conductores en los tramos rectos de línea, pero que a su vez tiene una derivación de la línea, o que dirige al sistema en otra dirección. Para la norma peruana este tipo de apoyo se representa por E5. de acuerdo con la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas.
- *Apoyos de anclaje y/o derivación.* Es el apoyo que constituye un refuerzo de la línea, además de cambiar de dirección de la misma. Para la norma peruana este tipo de apoyo se representa por E6. de acuerdo con la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas.

3.8.3. Retenida inclinada o vertical

Son elementos que se utilizan para, en algunos casos, reforzar los apoyos, de ángulo y fin de línea especialmente, figura 3.28 – 3.29. Si para ello se utilizan un cable, de acero grado Siemens Martin, en cual se incluyen accesorios como pernos angulares, aisladores de tracción tipo Nuez, además de mordazas preformadas para sujetar la unión del acero con los otros elementos, y de ser una retenida vertical se le agrega una contrapunta de acero. Inicialmente se excava un hoyo de 0.90m x 0.90m x 2.20m, para colocarle una varilla de

anclaje y un bloque de concreto, el cual finalmente tapado y compactado permite que la estructura y/o apoyo quede seguro y no pueda ceder con el esfuerzo del conductor.

- **Retenida inclinada:**

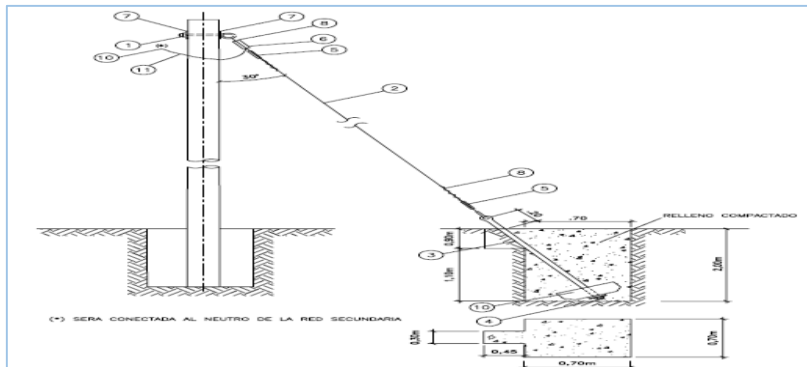


Figura 3. 28. Lamina de detalle de retina inclinada.
Fuente. Ministerio de Energía y Minas – Dirección Ejecutiva de Proyectos – “Armados de Estructuras”

- **Retenida inclinada:**

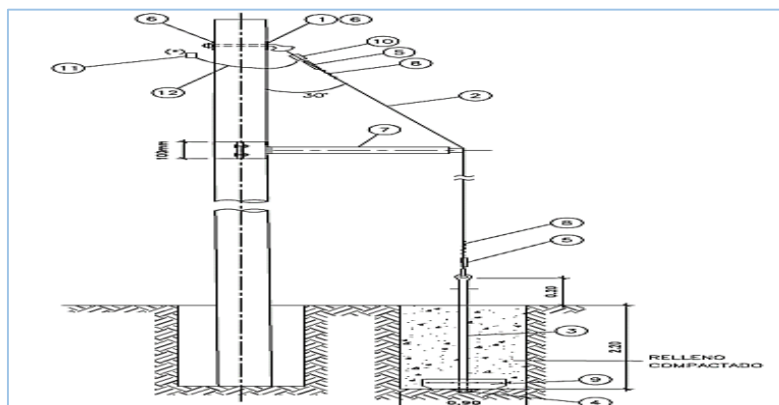


Figura 3. 29. Lamina de detalle retenida vertical
Fuente. Ministerio de Energía y Minas – Dirección Ejecutiva de Proyectos – “Armados de Estructuras”

3.9. REGIÓN ALTO ANDINA

La región andina es llamada también alto andinas o la mal llamada Sierra, lo ríos perfilan valles interandinos. Ocupa la región central del territorio peruano, en la cual se extienden los andes. Esta región se extiende entre picos, nevados, cimas abruptas, variedad de valles, lagos, lo que hacen un accidentado relieve.

La región conocida como Sierra abarca la porción más alta de la Cordillera de los Andes, sobre los 2.000 msnm, lo que la caracteriza como una región escarpada con climas entre templado, frío y gélido, de semiárido a sub-húmedo.

La región andina, es una zona agrícola por excelencia. Además, la naturaleza montañosa de su suelo convierte a la sierra en una región minera. Por estas razones es llamada la despensa del Perú. La población se encuentra en su mayor parte entre los 2,000 y 3,500 m.s.n.m. por ser ésta zona más propicia para el desarrollo de las actividades

agroeconómicas. Por encima de los 4,000 m.s.n.m. se encuentra la meseta alto andina denominada Puna, zona de extracción minera y de pastoreo del ganado auquénido.

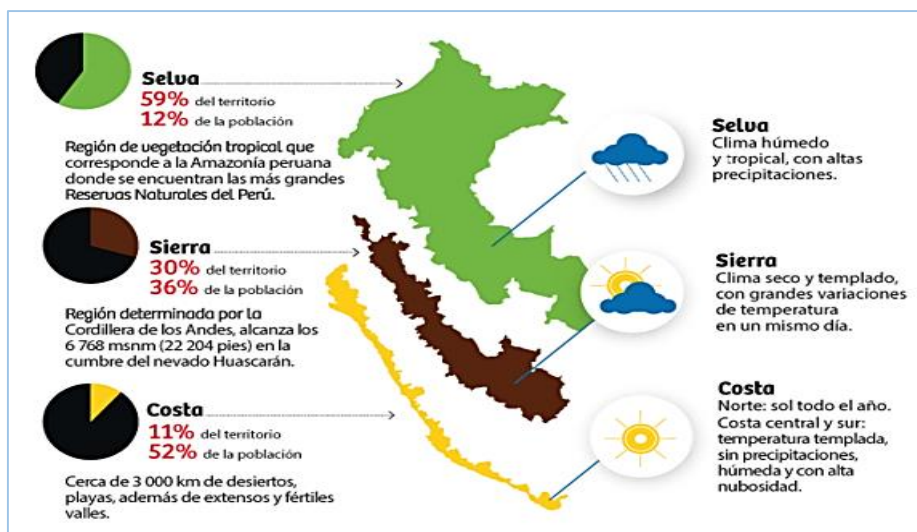


Figura 3. 30. Mapa característico del clima de Perú.
Fuente: www.peru.travel/ubicacion-geografia-y-clima.aspx

[6] Ecosistemas del Perú, “Los climas del Perú”, SF, [Online] Disponible: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/handle/minam/1776/BIV01547.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Debido a la topografía andina y a las diferencias de altitud, en espacios cortos es posible encontrar variaciones de temperatura entre, por ejemplo, el fondo de un cañón (que puede superar los 20 a 25°C) y las frías alturas sobre 4.000 metros (temperatura bajo cero).

En su Relieve encontramos varios pisos altitudinales como son:

- ✓ **Piso cálido:** (1.000 a 2.000 m.s.n.m.), la vertiente occidental, la aridez es general de La Libertad a Tacna. Hacia el sur, la aridez situada puede llegar a 2.500 m.s.n.m. en Arequipa, Moquegua y Tacna. En la vertiente occidental, las temperaturas medias están entre 17y 19°C. [6]

Sin embargo, se han observado mínimas de 4,4°C en julio, en Majes (Arequipa), a solo 1.433 m.s.n.m., y máximas de 32°C. Esta baja temperatura tiene su origen en la escasa humedad del aire, la alta insolación y la gran transparencia de la atmósfera. [6]

- ✓ **Piso Templado:** (2.000 a 3.500 m.s.n.m.), la temperatura media es de 10 a 16°C, pero las máximas oscilan en 29°C por la mayor exposición al Sol de algunos lugares, y las mínimas entre 7 y 4,4°C bajo cero, de junio a agosto.

A partir de 3.000 m.s.n.m., donde las temperaturas medias se encuentran entre 11 y 12°C, se inicia el fenómeno de las heladas, es decir, de la presencia de masas de aire frío y seco que se forman después de días con sol y cielo sin nubes.

- ✓ **Piso Templado Frío:** (3.500 a 4.000 m.s.n.m.), se localiza, tanto en la vertiente occidental como oriental, en los límites superiores de las punas, que en los Andes Centrales y del Sur corresponden al límite superior de cuencas de ríos que nacen en la alta montaña andina, como el Rímac, el Pativilca, el Santa y el Marañón. [6]

Su temperatura media está comprendida entre 7 y 10°C, mientras las máximas oscilan entre 19 y 22,5°C. La ciudad de Puno, por influencia del Titicaca, tiene una temperatura media de 8,4°C con máximas de 16,4°C, mínimas de -1,3°C, y una amplitud térmica de 18°C. [6]

Las lluvias se concentran en verano, pero varían según la vertiente. En la vertiente occidental son siempre superiores a 600 milímetros, pero menores a 1.000 milímetros anuales. En la vertiente oriental son superiores a 400 milímetros e inferiores a 1.000 milímetros anuales. [6]

- ✓ **Piso Frío:** (4.000 a 5.000 m.s.n.m.), el clima es frío, con alta sequedad atmosférica y variaciones térmicas. La temperatura media anual es superior a 3°C e inferior a 6°C.

Las temperaturas diurnas son siempre positivas y la insolación es alta. Pero en las noches las temperaturas descienden a 0°C, ocasionando congelación en pantanales y arroyos, que al amanecer se descongelan.

- ✓ **Piso Muy Frío:** (5.000 a 6.746 m.s.n.m.), sus temperaturas se pueden comparar con las que caracterizan a las zonas polares periféricas.

Se trata de un clima frío o polar en una zona tropical, aunque los glaciares son fenómenos extrazonales, no tipificados en las zonas tropicales. Si bien persisten el hielo y la nieve, la zona recibe insolación todo el año. [6]

3.10. MADERAS PLÁSTICAS

Se obtiene reciclando los residuos sólidos urbanos, en su mayoría plástico de diferente tipo. La madera plástica es también un material ecológico que se compone por fibras naturales de madera y polímeros o plásticos o solo plásticos. Es un material 100% ecológico puesto que procede de elementos 100% reciclados y reciclables.



Figura 3. 31. Madera plástica
Fuente. www.maderaplasticamedellin.blogspot.pe

3.10.1. Definición

[7] Información Educativa, Madera Plástica España. “*Maderas Plásticas*”, noviembre 2015. [online]. Available: <http://www.maderaplastica.es/madera-plastica/definicion-madera-plastica.pdf>. La madera plástica es un material fabricado a partir de residuos de madera (opcional) y plástico 100% reciclados, seleccionados de alta calidad, de forma que se aprovechan las ventajas estéticas y calidez de la madera natural pero mejorando sus propiedades al incorporar las ventajas del plástico: alta durabilidad, sin mantenimiento. Los productos finales pueden ser empleados de la misma manera que la madera natural, principalmente para uso en exteriores, ambientes salinos y con alta humedad.



Figura 3. 32. Usos de la madera plástica
Fuente: www.revistacreareambientes.blogspot.pe

Se caracteriza por ser un material 100% reciclado y reciclable, que procede de la reutilización de residuos y evita la tala de árboles, por lo que es más ecológico. [7]

[8] Emerson Pérez Mendez, “Análisis De Las Propiedades Físico Mecánicas Para Un Sustituto De Madera Natural Elaborado A Base De Plásticos Reciclados”, Ing. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010. Los plásticos más utilizados para la fabricación de envases son:

PET (tereftalato de polietileno): este se utiliza mayormente en la fabricación de bebidas suaves y refrescos.

HDPE (polietileno de alta densidad): una gran cantidad de productos son elaborados de este tipo de plástico.

Nombre	Abreviatura (opcional)
Polietilentereftato	PET o PETE
Polietileno de alta densidad	PEAD o HDPE
Policloruro de vinilo o vinilo	PVC o V
Polietileno de Baja densidad	PEDB o LDPE
Polipropileno	PP
Poliestireno	PS

Tabla 3. 2. Clasificación de los distintos tipos de plástico
Fuente: “Análisis De Las Propiedades Físico Mecánicas Para Un Sustituto De Madera Natural Elaborado A Base De Plásticos Reciclados” [8]

3.10.2. Importancia del Reciclado del Plástico

Se puede mencionar como referencia que en Uruguay cada año se ponen en circulación, unos 700 millones de bolsas de plástico de todo tipo. Nada, si se compara con China, país que utiliza por año la cantidad de 1.095.000.000.000 de bolsas (más de un billón). Para fabricarlas, aquella inmensa nación consume unos 37 millones de barriles de petróleo cada año. En el país de China se comparte el mismo drama. [8]

El plástico es tan masivo que es de gran importancia reciclarlo. Algunos envases de plástico tardan cientos de años en degradarse en la naturaleza. La demanda creciente de este tipo de envase lleva a que la producción se incremente año a año. Así las cosas, todas las iniciativas en ese sentido deben ser alentadas. [8]

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, realizó un estudio en el que fotografió y analizó miles de millas de mares y océanos del planeta. La conclusión es terrible: en cada kilómetro cuadrado de agua salada hay 18 mil restos plásticos flotando. [8]

Los plásticos tienen una reducida degradación lo que causa un deterioro del paisaje, además estos son un derivado del petróleo, una materia prima agotable. Por ello, el depósito de plásticos en los vertederos está siendo eliminado, se está reflexionando sobre la recuperación, es decir, en **RECICLAR EL PLÁSTICO**.

Las ventajas que se obtienen del reciclaje son las siguientes:

- Se ahorra energía.
- Se reduce el volumen de los residuos sólidos.
- Se conserva el ambiente y se reduce la contaminación.
- Se alarga la vida útil de los sistemas de relleno sanitario.
- Hay remuneración económica en la venta de reciclables.
- Se protegen los recursos naturales renovables y no renovables.
- Existe ahorro de materia prima en la manufactura de productos nuevos con materiales reciclables.
- Por cada kg de plástico reciclado el ahorro es de 1,5 kg en emisiones de CO₂.
- Por una tonelada métrica de plástico reciclado ahorra 12 barriles de petróleo.

3.10.3. Descripción

[9] Empresa - Producción, Ecolaminados S.A. de C.V. “*Maderas Plásticas - descripción*”, *noviembre 2015*. [online]. Available: <http://www.ingenieroscivilesloja.com.ec/CICL/images/stories/Caracteristicas%20de%200la%20madera%20plastica.pdf>

- ✓ **Fibras naturales:** Se pueden utilizar una gran variedad de fibras naturales para la elaboración de madera plástica, entre las cuales se pueden destacar

la fibra de coco, fibra de algodón, fibra de caña, fibra de bambú, fibra de agave, fibra de trigo, aserrín, etc.

- ✓ **Polímeros o plásticos:** El origen de los plásticos utilizados puede ser de plásticos vírgenes nunca antes procesados o de plásticos reciclados o recuperados de otras industrias que se reciclan para darles un nuevo uso.

3.10.4. Productos utilizados para la fabricación de maderas plásticas

Para la fabricación de la madera plástica se requiere como materia prima básicamente la mezcla de polietileno, polietileno, pvc, termoplástico, estirenos y polipropileno. [8]

3.10.4.1. **Polietileno (PE):** Este material es químicamente el polímero más simple. Su unidad repetitiva $(CH_2-CH_2)_n$. Es el más barato, siendo el plástico más común. Se utiliza en bolsas de todo tipo, también es base de pañales desechables, tubos y pomos.

3.10.4.2. **Poliestireno (PS):** Polímero termoplástico obtenido de la polimerización del estireno. Existen cuatro tipos principales: PS cristal (transparente, rígido, quebradizo), PS alto impacto (resistente y opaco), PS expandido (muy ligero), PS extrusionado (Similar al expandido, pero más denso – impermeable).

3.10.4.3. **PVC:** Polímero termoplástico. Reblandece a los 80 °C y se descompone a sobre los 140 °C. Tiene muy buena resistencia eléctrica y a la llama. Existen dos tipos: Flexible (envase, tuberías que reemplazan al hierro), Flexible (fabricación de cables, juguetes, calzados).

3.10.4.4. **Termoplástico:** Sus propiedades físicas cambian gradualmente si se fundes y moldean varias veces.

3.10.4.5. **Estireno:** Es un producto manufacturado. Es un líquido incoloro de aroma dulce que se evapora con facilidad. Se disuelve en algunos líquidos, pero difícilmente con el agua, se utiliza para producir caucho, plásticos, material aislante, cañerías, etc.).

3.10.4.6. **Polipropileno (PP):** Polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Utilizado en aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipos de laboratorio, componentes automotrices. Resistente a solventes químicos, así como ácidos. [8]

Es transformado por moldeo de inyección, también por medio de moldeo soplado, termoformado, producción de fibras (tejidas como no tejidas), extracción de perfiles. [8]

3.10.5. Propiedades de la madera plástica

3.10.5.1. **Propiedades mecánicas:**

Determinan la capacidad para resistir fuerzas externas. Por fuerza externa se entiende cualquier carga aplicada por un agente no propio del material que puede alterar su tamaño, dimensión o lo deforme.

El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera plástica se obtiene a través de la experimentación que han realizado algunas universidades, como también nuevas industrias, mediante ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida. [8]

- ✓ **Resistente a fuerzas de tensión:** Material resistente a esfuerzos de tracción. [8]
- ✓ **Resistente a fuerzas de compresión:** Material resistente a carga axial que pueda soportar un pequeño segmento de este material. [8]
- ✓ **Resistente a fuerzas de corte:** es el efecto que se produce por una fuerza que actúa en sentido tangencial a su superficie. Es importante saber que el límite de resistencia al corte suele ser menor que el de la resistencia a la tracción y compresión.[8]
- ✓ **Resistente a fuerzas flexión:** propiedad que tienen algunas maderas de poder ser dobladas o ser curvadas en su sentido longitudinal, sin romperse debido a una carga transversal. Si estas son elásticas recuperan su forma original cuando cesa la fuerza que las ha deformado. [8]
- ✓ **Resistencia a fuerzas de impacto:** Durabilidad, dureza y resistencia; más resistente que la madera vegetal, el concreto y otros. Ideales para el trabajo duro. [10]

La dureza está relacionada con la densidad, de tal manera que las maderas más duras son las de mayor densidad. [8]

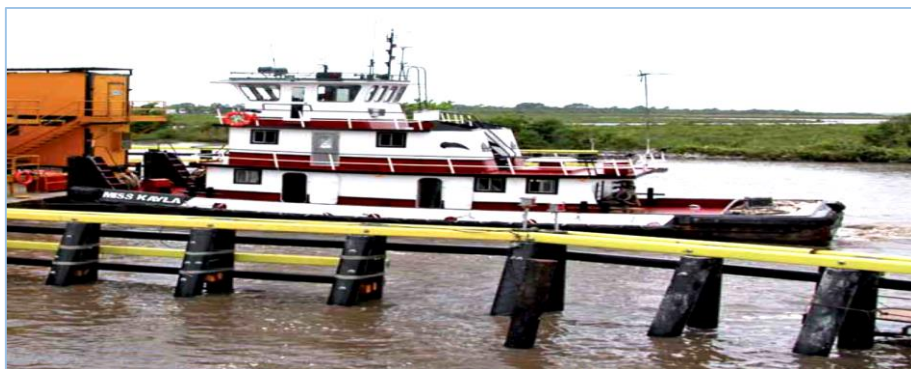


Figura 3. 33. Uso de maderas plásticas en muelles. EE. UU.
Fuente: www.plasticboards.com – Bedford Technology

3.10.5.2. Propiedades Físicas

- ✓ **Densidad:** Propiedad definida como la cantidad de masa por unidad de volumen. En el caso de la madera plástica se puede decir que su densidad puede tener un rango de variación, ya que en proceso de fabricación quedan atrapados vacíos que en algunos casos no pueden ser evitados. [8]
- ✓ **Impermeables, no se oxidan.** Resistente al agua (incluso salada). Ideales en zonas húmedas y debajo del mar porque no generan oxido, ni almacenan humedad, por lo tanto, no se pudre, no se hincha, agrieta o deforma. [10]
- ✓ **Tenacidad:** capacidad para resistir cargas repentinas (golpe o choque). [10]
- ✓ **Resistente a factores atmosféricos:** Aislantes térmicos, acústicos y eléctricos. Resistente al frío y calor, disminuye ruido, no transmite la electricidad. [10]



Figura 3. 34. Cruceta hecha de madera plástica para líneas eléctricas trifásicas.
Fuente: www.maderplast.com/ Materiales Eléctricos.

3.10.5.3. Propiedades Químicas

- ✓ **No Inflamable.** [10]
- ✓ **Aislantes térmicos, acústicos y eléctricos.** [10]
- ✓ **Resistente al frío y calor** [10]
- ✓ **Material Dieléctrico.** [10]
- ✓ **Piro resistencia.** Retardante al fuego.

3.10.5.4. Otras propiedades

[10] Información Educativa, Ingenieros Civiles - Loja. “*Maderas Plásticas - propiedades*”, noviembre 2015. [online]. Available: <http://www.ingenieroscivilesloja.com.ec/CICL/images/stories/Caracteristicas%20de%20la%20madera%20plastica.pdf>

- ✓ **Producto ecológico.** Elaborado con mezcla principalmente de los principales tipos de plásticos mencionados en el apartado 3.8.4. los cuales son obtenidos del reciclado.
- ✓ **Antiadherente.** Nos se le pega nada, fácil de lavar, no se mancha.
- ✓ **Higiénicos e inmune.** Inmunes de por vida a roedores, hongo, bacterias, insectos y humedad.



Figura 3. 35. Perfiles de madera plástica en muelles. EE. UU.
Fuente: www.plasticboards.com – Bedford Technology

3.10.6. Tipos

- ✓ **Plastic Lumber;** madera 100% de plástico reciclado obtenida de la recolección de HDPE (polietileno de alta densidad) y otros materiales termoplásticos. Tiene la apariencia de la madera con todas las propiedades del plástico: no se pudre, no se enmohece, no lo atacan los insectos y el material resiste intacto bajo condiciones climatológicas extremas. [7]
- ✓ **Wood Plastic Composite (WPC):** Combinación de restos de madera y plásticos 100% reciclados. Su vida útil es mayor que los productos de madera natural ya que combina las calidades y apariencias de la madera con las ventajas de durabilidad y resistencia del plástico. [7]



Figura 3. 36. Puente Construido con maderas plásticas.
Fuente: www.noticias.masverdedigital.com (Construyen puente en Escocia).

3.10.7. Métodos de Fabricación

La fabricación de madera plástica tiene lugar mediante un proceso limpio, sin problemas medioambientales, que comienza con la recolección del plástico reciclado en las plantas de reciclaje, donde se separan los termoplásticos, se trituran, se mezclan homogéneamente y se funden en un proceso de extrusión a alta temperatura. Este compuesto sale tintado de fábrica, donde se le añaden aditivos para mejorar la resistencia del material frente al envejecimiento y la intemperie. [7]

- *Recolección de material reciclado:* primer paso para la fabricación de madera plástica, se localizan empresas encargadas de recolección y/o personal idóneo para realizar la recolección de la materia prima en la ciudad.
- *Punto de acopio:* paso en el cual se almacena toda la materia recolectada necesaria o requerida, aquí es el punto donde el plástico deja de convertirse de un elemento de uso doméstico o urbano a ser un material pulverizado.
- *Pulverización de la materia:* proceso en el cual la materia recolectada que presenta diferentes tipos de formas, será pulverizada por maquinaria específica, para convertirse en un material más uniforme en cuanto a forma, además de ser más maleable, este proceso también incluye lavado y secado de la materia.
- *Procesos de producción:* la materia que ha sido pulverizada (molida) será llevada a procesos que consistirán en termo-compresión, extracción y moldeado por inyección, procesos que dependerán de la necesidad o pieza que se esté produciendo. En este proceso también se le agregan agentes químicos, que complementaran y mejoraran las condiciones de trabajo, resistencia del material, el cual se está produciendo.
- *Producto final:* luego de haber pasado los procesos de fabricación, el elemento quedara listo para ser utilizado en las necesidades que el cliente y/o industria que haya requerido lo crea por conveniente.

3.10.8. Aplicaciones

- ✓ La madera plástica es un material versátil, usado ampliamente en numerosas aplicaciones durables en condiciones atmosféricas adversas. [7]
- ✓ Entre las aplicaciones más comunes de la madera de plástico reciclado se encuentra el mobiliario urbano, elementos para exteriores, ya que no necesita mantenimiento y presenta alta durabilidad. [7]
- ✓ Entre las aplicaciones más comunes se destacan Vial (Puentes), Mobiliario (bancos, papeleras, paneles), Elementos para Jardín (pérgolas, jardineras), Ganadero (pisos para caballerizas, corrales, establos). [7]
- ✓ **Pilotes de protección:** Se utilizan ampliamente como defensas verticales establecidas frente de un infante de estructura marina. Durante el atraque de un barco, los pilotes actúan como un amortiguador para absorber y disipar la energía de impacto de la nave. También proporcionan una barrera para impedir que los buques vayan debajo del muelle. [13] Bedford Technology, Plastic Marine Solution, *SeApile & SeaTimber*, Bedford Technology, 2013.

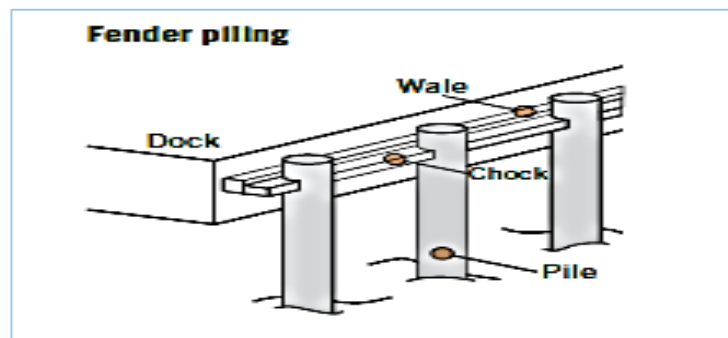


Figura 3. 37. Esquema de Pilotes de maderas plásticas.

Fuente: Plastic Marine Solution, *SeApile & SeaTimber*. Bedford Technology.

- ✓ **Pilotes estructurales:** Se utilizan para soportar las cargas de muelles ligeros y muelles de trabajo continuo. Pilotes estructurales generalmente utiliza refuerzos entre las pilas para aumentar la fuerza y la rigidez de la base para la estructura. [13]

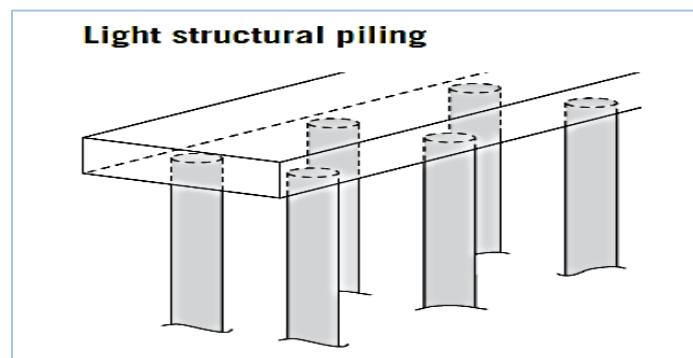


Figura 3. 38. Pilotes estructurales, Bedford Technology

Fuente: Plastic Marine Solution, *SeApile & SeaTimber*. Bedford Technology.

Otra aplicación que se está investigando en el presente proyecto es el uso de la madera plástica para la fabricación de un poste armable para Sistemas Eléctricos Rurales en Baja Tensión, para lo cual plantearemos una propuesta de diseño de este tipo de poste utilizando como material la madera plástica.



Figura 3. 39. Crucetas utilizadas en redes eléctricas. Colombia
Fuente: www.maderplast.com/ Materiales Eléctricos.

3.11. MECÁNICA DE MATERIALES

[11] J. M. Gere, *Mecánica de Materiales*, 6ta Ed. Mexico: Thomsom, SF. Es una rama de la mecánica aplicada que estudia el comportamiento de los cuerpos sólidos sometidos a diversas cargas. El objetivo principal es determinar los esfuerzos, deformaciones unitarias y desplazamientos en estructuras y en sus componentes, debido a las cargas que actúan sobre ellos. Si se pueden determinar esas cantidades para todos los valores de las cargas, hasta llegar a los valores que causan la falla, tendremos una imagen completa del comportamiento mecánico de esas estructuras. Es fundamentalmente entender el comportamiento mecánico en el diseño de todo tipo de estructura, sean de aviones, antenas, edificios y puentes, máquina y motores o barcos.

3.11.1. Tensión, compresión y cortante

3.11.1.1. Esfuerzo y deformación unitaria normales

Estos conceptos se pueden ilustrar en su forma más elemental imaginando una barra prismática sometida a fuerzas axiales. Una barra prismática es un miembro estructural recto que tiene la misma sección transversal en toda su longitud, y una

fuerza axial es una carga dirigida a lo largo del eje del miembro, puede causar tensión (o tracción) o compresión. [11]

De acuerdo a la figura 3.40 al trazar el diagrama de cuerpo libre no se toma en cuenta el peso de la barra, y se supone que las fuerzas activas son las fuerzas axiales P en los extremos. A continuación se consideran dos vistas de la barra, la primera que muestra la misma *antes* de aplicarle las cargas (figura 3.40a) y la segunda que la muestra después de que se aplicaron las cargas (figura 3.40b). La longitud de la barra original se representa con la letra L y que el aumento de longitud debido a las cargas se representa por la letra griega δ (delta). Las acciones internas en la barra quedan al descubierto si hacemos un corte imaginario que atraviese la barra en la sección mn (figura 3.40c). Esta sección se toma perpendicular al eje longitudinal de la barra, se llama **sección transversal o corte transversal**. [11]

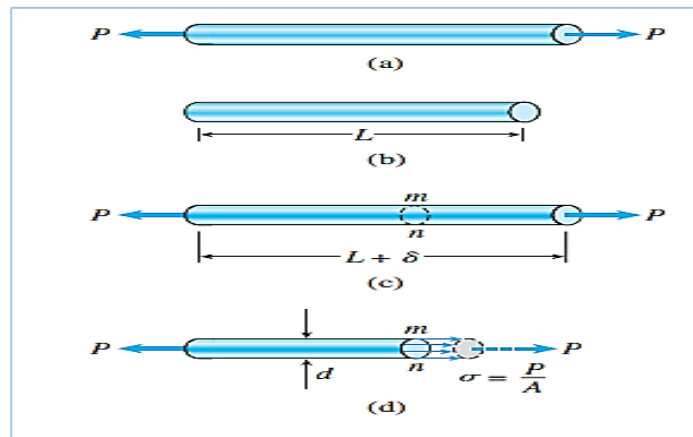


Figura 3. 40. Barra prismática en tensión.
Fuente: Mecánica de materiales. (7ma Ed.).

El **esfuerzo** tiene unidades de fuerza por unidad de área y se representa con la letra σ (sigma). En general, los esfuerzos σ que actúan sobre una superficie plana pueden ser uniformes en el área o pueden variar de intensidad de un punto a otro. Supongamos que los esfuerzos que actúan sobre el corte transversal mn (figura 3.40d) están *uniformemente distribuidos* en el área. Entonces, la resultante de esos esfuerzos debe ser igual a la magnitud del esfuerzo multiplicada por el área transversal A de la barra; esto es $P = \sigma A$. la ecuación para determinar la magnitud de los esfuerzos será la siguiente: [11]

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad [3.6]$$

Las unidades del esfuerzo σ son de *fuerza por unidad de área*, en unidades inglesas, esfuerzo en libras por pulgada cuadrada (lb/pulg²) o en kips por pulgada cuadrada (klb/pulg²). Cuando se usa el sistema internacional, la fuerza se expresa en newtons (N) y el área en metros cuadrados (m²), en consecuencia las unidades del esfuerzo son newtons por metro cuadrado (N/m²) o pascuales (Pa). Cuando la barra se estira debido a las fuerzas P , los esfuerzos son **esfuerzos de tensión** o

esfuerzos de tracción; si las fuerzas tienen dirección contraria y hacen que la barra se comprima, se trata de **esfuerzos de compresión**. Siempre que los esfuerzos actúen en una dirección perpendicular a la superficie de corte, se llaman **esfuerzos normales**. [11]

- ✓ **Deformación unitaria normal:** una barra recta cambia de longitud cuando se carga axialmente y se alarga cuando está en tensión y se comprime cuando está en compresión. La elongación de un segmento es igual a su longitud dividida entre la longitud total L y multiplicado por el alargamiento total δ . Una unidad de longitud de la barra tendrá una elongación igual a $1/L$ por δ . A esta cantidad se le llama **deformación unitaria** y se representa con la letra griega ϵ (épsilon). Se expresa con la ecuación: [11]

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad [3.7]$$

La deformación unitaria en tensión representa un estiramiento o alargamiento del material. Si la barra está en compresión, la deformación unitaria es una deformación unitaria en compresión y la barra se acorta. [11]

3.11.1.2. Elasticidad lineal, ley de Hooke y relación de Poisson

Materiales estructurales diversos, incluyendo la mayor parte de metales, madera, plásticos y cerámicos, se comportan tanto de manera elástica como lineal cuando se cargan por primera vez. Cuando un material se comporta elásticamente y también presenta una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación unitaria se dice que es **linealmente elástico**. Este comportamiento es muy importante en ingeniería, debido que al diseñar estructuras y máquinas evitamos deformaciones permanentes debidas a la fluencia plástica. [12] J. M. Gere, B. J. Goodno; *Mecánica de Materiales*, 7ta Ed. México: CENGAGE Learning Editores, 2009.

3.11.1.2.1. Ley de Hooke

La relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria para una barra en tensión o compresión simple se expresa por la ecuación [12]

$$\sigma = E\epsilon \quad [3.8]$$

Donde σ es el esfuerzo axial, ϵ es la deformación unitaria axial y E es una constante de proporcionalidad conocida como el **módulo de elasticidad** del material. Las unidades de E , son las mismas que las del esfuerzo (psi o ksi en unidades inglesas, o pascuales en unidades SI). El módulo de elasticidad con frecuencia se llama **módulo de Young**. [12]

3.11.1.2.2. Relación de Poisson

Cuando una barra prismática se somete a tensión, la elongación axial va acompañada de una contracción lateral (es decir, contracción normal a la dirección de la carga aplicada). La figura 3.41 donde en la parte (a) se muestra la barra antes de la carga y en la (b) después de la carga. En la parte (b), las líneas discontinuas representan la forma de la barra antes de la carga. [12]

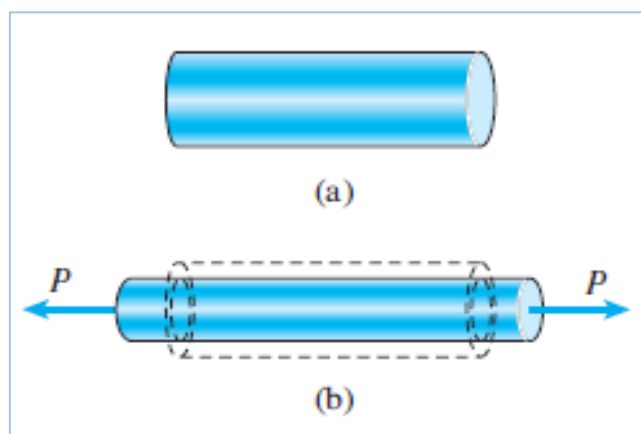


Figura 3. 41. Alargamiento axial y contracción lateral de una barra prismática en tensión.
Fuente: *Mecánica de materiales*. (7ma Ed.).

La **deformación unitaria lateral** ϵ' en cualquier punto en una barra es proporcional a la deformación unitaria axial ϵ en el mismo punto si el material es linealmente elástico. La relación de esas deformaciones unitarias es una propiedad del material conocida como **relación de Poisson**. Esta **relación adimensional**, que en general se denota por la letra griega ν (**nu**), se puede expresar mediante la ecuación: [12]

$$\nu = \frac{\text{deformación unitaria lateral}}{\text{deformación unitaria axial}}$$

$$\nu = -\frac{\epsilon'}{\epsilon} \quad [3.9]$$

El signo negativo de la ecuación es para compensar el hecho de que las deformaciones unitarias lateral y axial por lo general tienen signos opuestos. La deformación unitaria axial en una barra en tensión es positiva y la deformación unitaria lateral es negativa (debido a que el ancho de la barra disminuye). [12]

La ecuación para encontrar la longitud de aumento δ (delta), debido a la aplicación de esfuerzos en una barra prismática, se puede encontrar a partir de la ley de Hooke: [12]

$$\sigma = E\epsilon$$

Entonces despejando la deformación unitaria resultaría:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{P}{AE}$$

Y la ecuación de deformación unitaria:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Reemplazando se obtiene:

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad [3.10]$$

3.11.1.3. Esfuerzos y cargas permisibles

Los factores que se deben considerar en el diseño incluyen funcionalidad, resistencia, apariencia, economía y efectos ambientales. Sin embargo el estudiar mecánica de materiales, nuestro interés principal de diseño es la **resistencia**, es decir, *la capacidad del objeto para soportar o transmitir cargas*. [12]

3.11.1.3.1. Factores de seguridad

Se debe evitar la falla estructural, las cargas que una estructura debe soportar deben ser mayores a las cargas a que se someterá cuando está en servicio. Como la *resistencia* es la habilidad de una estructura para resistir cargas, el criterio anterior se debe plantear como sigue: *la resistencia real de una estructura debe ser mayor que la resistencia requerida*. La razón entre la resistencia real y la resistencia requerida se denomina **factor de seguridad n**: [12]

$$\begin{aligned} & \textbf{Factor de seguridad } n \\ & = \frac{\textbf{resistencia real}}{\textbf{resistencia requerida}} \quad [3.11] \end{aligned}$$

Para evitar la falla el factor de seguridad debe ser mayor que 1.0. Dependiendo de las circunstancias, se utiliza factores de seguridad un poco mayores que 1.0 y hasta de 10. La incorporación de factores de seguridad en el diseño no es un asunto simple, porque tanto la resistencia como la falla pueden tener significados distintos. [12]

3.11.1.3.2. Esfuerzos permisibles

Los factores de seguridad se definen e implantan de diversas maneras. Para muchas estructuras, es importante que el material permanezca dentro del rango elástico a fin de evitar deformaciones permanentes cuando se remuevan las cargas. En estas condiciones el factor de seguridad se establece con respecto a la fluencia de la estructura. La fluencia inicia cuando el esfuerzo de fluencia se alcanza en *cualquier* punto dentro de la estructura. Por tanto, al aplicar un factor de seguridad con respecto al esfuerzo de fluencia (o resistencia a la fluencia), obtenemos un **esfuerzo permisible** (o *esfuerzo de trabajo*) que no se debe rebasar en la estructura. Por tanto, [12]

$$\text{Esfuerzo permisible} = \frac{\text{resistencia a la fluencia}}{\text{factor de seguridad}} \quad [3.12]$$

3.11.1.3.3. Carga permisible.

O también llamada carga segura, es igual al esfuerzo permisible por el área sobre la que actúa: [12]

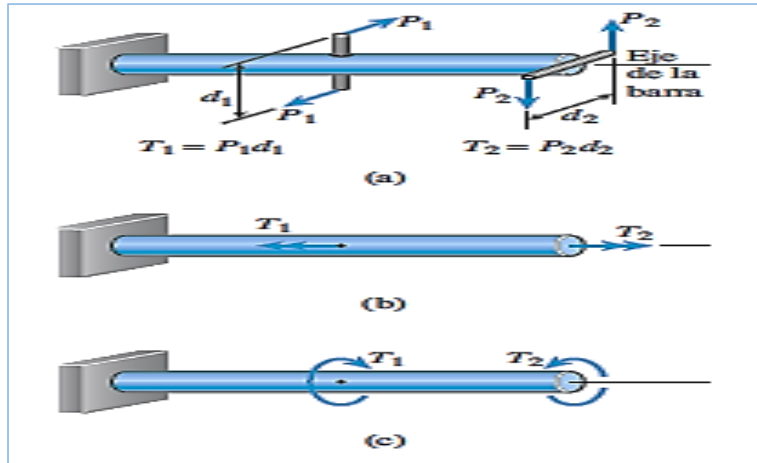
$$\begin{aligned} \text{Carga permisible} \\ = (\text{Esfuerzo permisible})(\text{Área}) \end{aligned} \quad [3.13]$$

Para barra en *tensión y compresión* directa (sin pandeo), esta ecuación se convierte en:

$$P_{perm} = \sigma_{perm} * A \quad [3.14]$$

3.11.2. Torsión

Se refiere al torcimiento de una barra recta al ser cargada por momentos (o pares de torsión) que tienden a producir rotación con respecto al eje longitudinal de la barra. Un caso ideal de carga torsional se representa en la figura 3.42a donde se muestra una barra recta soportada en un extremo y cargada por dos pares de fuerzas iguales y opuestas. El primer par consiste en las fuerzas P_1 que actúan cerca del punto medio de la barra y el segundo par consiste en las fuerzas P_2 que actúan en el extremo. Cada par de fuerza tiende a torcer la barra respecto a su eje longitudinal. El momento de **par de torsión** es igual al producto de una de las fuerzas y la distancia perpendicular entre las líneas de acción de las fuerzas; por tanto los pares de torsión serán $T_1=P_1d_1$ y $T_2=P_2d_2$. Las unidades en sistema inglés son libra-pie (lb-ft) y la libra-pulgada (lb-in). La unidad en el SI para el momento es el newton metro (N.m). [12]



3. 42. Barra circular sometida a torsión por los pares de torsión T_1 y T_2
 Fuente: *Mecánica de materiales*. (7ma Ed.).

Una representación de un par de torsión se puede representar por un **vector** en forma de flecha con cabeza doble (figura 3.42b), la dirección o sentido del momento se indica mediante la *regla de la mano derecha* para vectores momento. Una representación alternativa del momento es una flecha curva que actúa en el sentido de la rotación (figura 3.42c). [12]

3.11.2.1. Formula de torsión

Se considera un elemento de área dA ubicado a una distancia radial ρ desde el eje de la barra figura 3.43. La fuerza cortante que actúa sobre este elemento es igual a τdA , donde τ es el esfuerzo cortante a un radio ρ . El momento de esta fuerza con respecto al eje de la barra es igual a la fuerza multiplicada por su distancia desde el centro, o $\tau\rho dA$. [12]

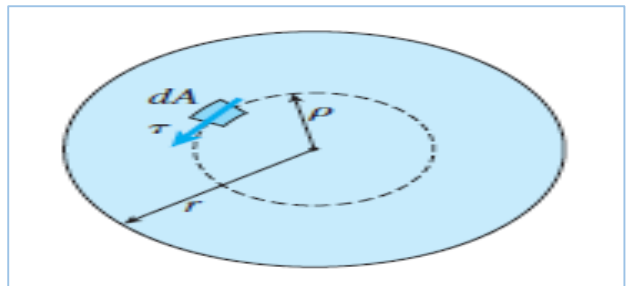


Figura 3. 43. Determinación de la resultante de los esfuerzos cortantes que actúan sobre una sección transversal.
 Fuente: *Mecánica de materiales* (7ma Ed.).

Sustituyendo el valor del esfuerzo cortante τ dada por la ecuación 3.38b, podemos expresar este momento elemental como

$$dM = \tau\rho dA = \frac{\tau_{m\acute{a}x}}{r} \rho^2 dA$$

El momento resultante (igual al par de torsión T) es la suma a lo largo de toda el área de la sección transversal de todos los momentos elementales: [12]

$$T = \int dM = \frac{\tau_{\text{máx}}}{r} \int_A \rho^2 dA = \frac{\tau_{\text{máx}}}{r} I_P \quad [3.15]$$

Es el **momento polar de inercia** de la sección transversal circular. Para un **círculo** con radio r y diámetro d , el momento polar de inercia es: [12]

$$I_P = \frac{\pi r^4}{2} = \frac{\pi d^4}{32} \quad [3.16]$$

Es posible obtener una expresión para el esfuerzo cortante máximo reacomodando la ecuación anterior 3.16.

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{Tr}{I_P} \quad [3.17]$$

La ecuación de torsión suele expresarse en el Sistema Internacional en newton metro (N.m), el radio r en metros (m), el momento de inercia I_P en metros a la cuarta potencia (m^4) e el esfuerzo cortante τ en pascales (Pa). Se utilizan unidades inglesas, T se expresa en libra-pies (lb-ft) o libra-pulgadas (lb-in), r en pulgadas a la cuarta potencia (in^4) y τ en libras por pulgada cuadrada (psi). [12]

Sustituyendo $r=d/2$ e $I_P=\pi d^4/32$ en la fórmula de la torsión, obtenemos la ecuación siguiente para el esfuerzo máximo:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad [3.18]$$

Esta ecuación sólo se aplica a barra con *sección transversal circular sólida*, en tanto que la fórmula de la torsión ecuación 3.42, se aplica en barras sólidas como a tubos circulares. [12]

3.11.2.2. Ángulo de torsión

De la fórmula de la torsión obtenemos

$$\theta = \frac{T}{GI_P} \quad [3.19]$$

Donde θ tiene unidades en radianes por unidad de longitud. Esta ecuación muestra que la razón de torsión θ es directamente proporcional al par de torsión T e inversamente proporcional al producto GI_P , conocida como la **rigidez torsional** de la barra. [12]

Para una **torsión pura**, el ángulo de torsión ϕ total, igual a la razón de torsión multiplicada por longitud de la barra (es decir, $\phi=\theta L$), es:

$$\phi = \frac{TL}{GI_P} \quad [3.20]$$

3.11.2.3. Tubos circulares

Los tubos circulares resisten con más eficiencias las cargas torsionales que las barras sólidas. Los esfuerzos cortantes en una barra circular sólida son máximos en el borde exterior de la sección transversal y cero en el centro. Los esfuerzos cerca del centro de la sección transversal tienen un brazo de momento menor ρ a tomar en cuenta en la determinación del par de torsión. [12]

En un tubo hueco común la mayor parte del material está cerca del borde exterior de la sección transversal donde los esfuerzos cortantes y los brazos de momento son mayores (figura 3.44). [12]

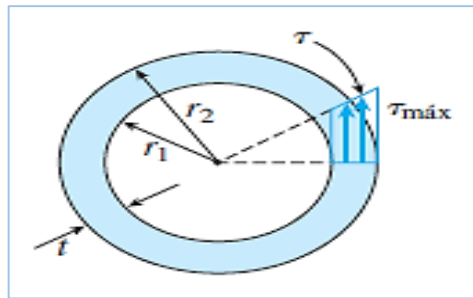


Figura 3. 44. Tubo circular en torsión.
Fuente: Mecánica de materiales (7ma Ed.).

El análisis de torsión de un tubo circular es casi idéntico al de una barra sólida. La distancia radial ρ está limitada al intervalo r_1 a r_2 , donde r_1 es el radio interior y r_2 es el radio exterior de la barra. La relación entre el par de torsión T y el esfuerzo máximo está dada por la ecuación (3.39), pero los límites en la integral para el momento polar de inercia (3.40) son $\rho = r_1$ y $\rho = r_2$. El momento polar de inercia del área de la sección transversal de un tubo es: [12]

$$I_P = \frac{\pi}{2}(r_2^4 - r_1^4) = \frac{\pi}{32}(d_2^4 - d_1^4) \quad [3.21]$$

Las expresiones anteriores también se pueden escribir en las siguientes formas:

$$I_P = \frac{\pi r t}{2}(4r^2 - t^2) = \frac{\pi d t}{2}(d^2 - t^2) \quad [3.22]$$

En donde r es el radio promedio del tubo, igual a $(r_1+r_2)/2$; d es el diámetro promedio, igual a $(d_1+d_2)/2$ y t es el espesor de la pared (figura 3.55), igual a r_2-r_1 . [12]

3.11.3. Fuerzas cortantes y momentos flexionantes

Los elementos estructurales suelen clasificarse de acuerdo con los tipos de cargas que soportan. Una *barra cargada axialmente* soporta fuerzas con sus vectores dirigidos a lo largo del eje de la barra y una *barra en torsión* soporta pares de torsión que tiene sus vectores momentos dirigidos a lo largo del eje. [12]

La viga que se muestra en Fig.3.45 se clasifica como *estructuras planares* debido a que yacen en un solo plano. Si todas las cargas actúan en ese mismo plano y si todas las deflexiones (indicadas por las líneas discontinuas) también ocurren en ese plano, entonces nos referimos a éste como el **plano deflexión**.

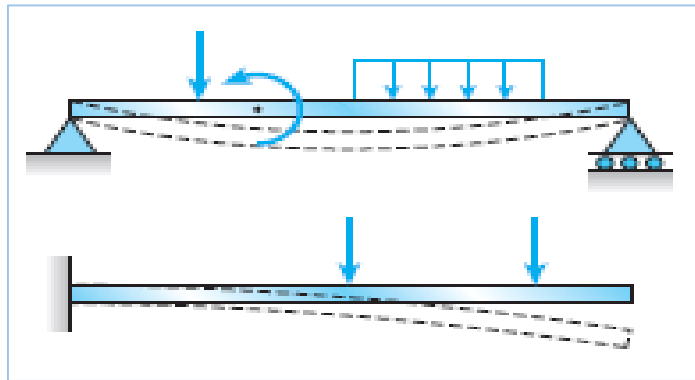


Figura 3. 45. Ejemplos de vigas sometidas a cargas laterales.
Fuente: Mecánica de materiales (7ma Ed.).

3.11.3.1. **Viga en apoyo fijo**

La viga que se muestra en la figura 3.46 que está fija en un extremo y libre en el otro, se denomina **viga en voladizo**. En el apoyo fijo (o apoyo empotrado) la viga no puede trasladarse ni girar, en tanto que en el extremo libre pueda hacer ambas cosas. En el apoyo empotrado pueden existir tanto reacciones de fuerza como de momento.

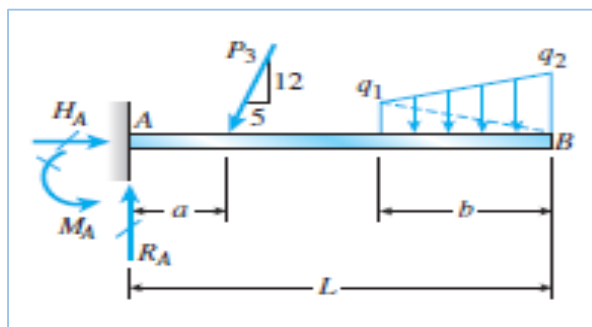


Figura 3. 46. Tipo de viga en voladizo.
Fuente: Mecánica de materiales (7ma Ed.).

Un ejemplo (figura 3.69) es un poste metálico soldado a una placa base que está anclada a un pilar de concreto empotrado profundo en el suelo. Como la base del poste está completamente restringida contra la traslación y la rotación, se representa como un apoyo fijo. [12]

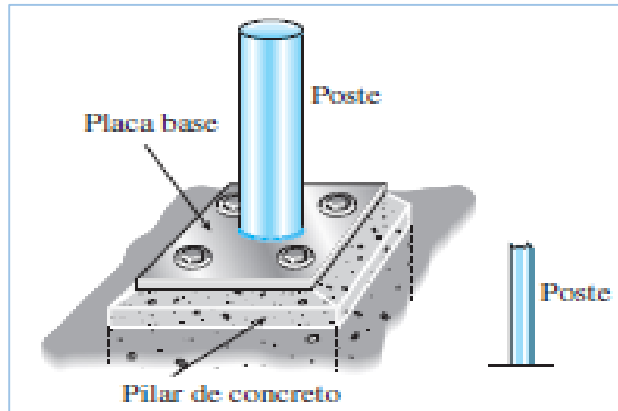


Figura 3. 47. Poste anclado a un pilar de concreto: construcción real y representación como un apoyo fijo.
Fuente: Mecánica de materiales (7ma Ed.).

3.11.3.2. Fuerzas cortantes y momentos flexionantes

Cuando una viga se carga con fuerzas o pares, se desarrollan esfuerzos y deformaciones unitarias en todo su interior. Para determinar estas cantidades internas, se considera una viga en voladizo AB cargada por una fuerza P en su extremo libre (Figura. 3.48a). Cortamos a través de la viga en una sección transversal mn ubicada a una distancia x del extremo libre y aislamos la parte izquierda de la viga como un diagrama de cuerpo libre (figura 3.48b). [12]

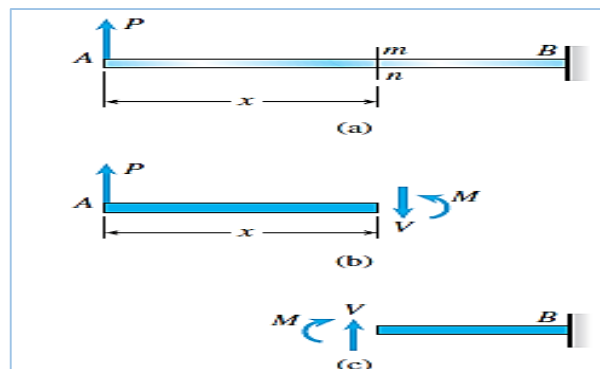


Figura 3. 48. Fuerza cortante V y momento flexionante M en la viga.
Fuente: Mecánica de materiales (7ma Ed.).

El diagrama de cuerpo libre se mantiene en equilibrio por la fuerza P y por los esfuerzos que actúan sobre la sección transversal cortada. Estos esfuerzos representan la acción de la parte derecha de la viga sobre la parte izquierda. En este punto de nuestro análisis no conocemos la distribución de los esfuerzos que actúan sobre la sección transversal; todo lo que sabemos es que la resultante de dichos esfuerzos debe mantener el equilibrio del cuerpo libre. [12]

De la estática sabemos que la resultante de los esfuerzos que actúan sobre la sección transversal se puede reducir a una **fuerza cortante V** y a un **momento flexionante M** (figura 3.48b). Como la carga P es transversal al eje de la viga, no existe fuerza axial en la sección transversal. Tanto la fuerza cortante como el momento flexionante actúan en el plano de la viga, es decir, el vector para la fuerza

cortante se encuentra en el plano de la figura y el vector para el momento es perpendicular al plano de la figura. Las fuerzas cortantes y los momentos flexionantes, al igual que las fuerzas axiales en barras y los pares de torsión internos en ejes, son las resultantes de esfuerzos distribuidos sobre la sección transversal. Por lo que a estas cantidades se les conoce colectivamente como resultantes de esfuerzo. Sumando fuerzas en la dirección vertical y también tomando momentos con respecto a la sección cortada, obtenemos: [12]

$$\sum F_{vert} = 0$$

$$P - V = 0 \quad o \quad V = P$$

$$\sum M = 0$$

$$M - Px = 0 \quad o \quad M = Px$$

Donde x es la distancia desde el extremo libre de la viga hasta la sección transversal donde se van a determinar V y M. Así, utilizando un diagrama e cuerpo libre y dos ecuaciones de equilibrio, podemos calcular la fuerza cortante y el momento flexionante sin dificultad. [12]

3.12. INGENIERÍA DEL DISEÑO

[13] Alcaide, J., Diego J., y Artacho, M., *Diseño de un Producto, el proceso de diseño*. (2001). Valencia: Ediciones UPV. El diseño consiste en pensar (idear) y describir una estructura que aparece como una portadora de características deseada (funciones); el diseño como proceso consiste en transformar información de las condiciones, necesidades y requisitos a la descripción de una estructura que las satisfaga. El individuo que diseña, es un medio de transformación de información, que proviene inicialmente del cliente, pero que se alimenta también de conocimiento propio del diseñador, y conocimiento adquirido durante el proceso, para dar lugar a una estructura imaginada que una vez hecha realidad, confirma las características con las que se pensó. El diseño es una ciencia que reconoce la interacción de un conjunto de decisiones, creatividad, búsqueda, evolución, aprendizaje, negociación, conocimiento, optimización, organización, satisfacción de necesidades, todos ellos necesarios, pero no suficientes solos.

3.12.1. Concepto de “diseño”

Diseño en castellano tiene un significado limitado a lo formal o adjetivado, hasta el punto que se habla de “objeto de diseños” haciendo referencia a las características externas (formas, texturas, colores, etc.) del artefacto, pero no al artefacto en su conjunto. En cambio el termino anglosajón “design” hace referencia a toda la actividad de desarrollo de una idea de producto, lo cual se entiende como el conjunto de planteamientos y acciones necesarias para llevar a cabo y hacer realidad una idea. [13]

[14] Pugh, S., *Total design. Integrated Methods for Successful Product Engineering*. (1990) Wokingham, England: Addison-Wesley Pub. Co. Define el término “diseño total”

como la actividad sistemática desarrollada para satisfacer una necesidad y que cubre todas las etapas desde la identificación de la necesidad hasta la venta del producto.

[15] Dym, C., y Little, P. *El proceso de diseño de ingeniería. Cómo desarrollar soluciones efectivas*. (2000). México: Limusa Wiley. Propone la definición de diseño de la siguiente manera: “es la generación y evaluación sistemática e inteligente de especificaciones para artefactos cuya forma y función alcanzan los objetivos establecidos y satisfacen las restricciones especificadas”.

Se podrían tomar otras definiciones sobre el concepto de diseño, pero de acuerdo a las expuestas conllevan a tener una idea general, y mencionar que el diseño busca la satisfacción de una necesidad, lo cual es abordar la solución de una situación problema. También es importante que para lograr obtener una solución se debe tener en cuenta el entorno en el que se aplicará y las interrelaciones entre sus componentes, enfoque sistemático, la cual implica una actuación multidisciplinaria y la consideración de todo el ciclo de vida del producto. Otra consideración refleja el tema de las limitaciones impuestas por factores externos de orden físico, económico, social y funcional, las cuales se denominan restricciones. El diseño se entiende como el desarrollo de una estructura o un sistema que sea portador de características deseadas (particularmente funciones) y que se logra básicamente por la transformación de información sobre condiciones, necesidades, demandas, requisitos y exigencias en la descripción de una estructura capaz de satisfacer esas demandas, que pueden incluir no solo deseos del cliente, sino también requisitos de todo el ciclo de vida del producto.

3.12.2. Metodologías de diseño

[16] Lloyd, P., Roozenburg N., y van del Lugt R., *Design Methodology Group*. (2004). [online] Available: www.io.tudelft.nl/dmg/aboutus.html. Nigel Cross define metodología de diseño como “el estudio de los principios, prácticas y procedimientos de diseño en un sentido amplio. Su objetivo central está relacionado con el cómo diseñar, e incluye el estudio de cómo los diseñadores trabajan y piensan; el establecimiento de estructuras apropiadas para el proceso de diseño; el desarrollo y aplicación de nuevos métodos, técnicas y procedimientos de diseño, y la reflexión sobre la naturaleza y extensión del conocimiento del diseño y su aplicación a problemas de diseño”.

Método hace referencia a la manera cómo una persona (un ingenio de diseño), realiza su tarea (diseñar); las técnicas son las herramientas que utiliza tal persona para aplicar su método; el modelo es la forma de representar el método. De esta manera, mientras que las técnicas son herramientas para el método, el modelo es para la metodología.

3.12.2.1. Métodos de diseño

Modo de decir o hacer con orden una cosa (modo de obrar o proceder). El enfoque de la complejidad aborda tratando de entender la forma cómo los diseñadores abordan el proceso tradicional de diseño, para lo cual se recurre desde entrevistas abiertas hasta laboratorios controlados. El enfoque de los métodos de diseño cambió, a un enfoque filosófico del diseño, que busca comprender y asimilar las experiencias obtenidas. [16]

3.12.2.2. Modelos del diseño:

Se entiende como modelo de diseño la forma de representación del proceso que desarrolla el diseñador en su labor. Los modelos y métodos de diseño pueden enmarcar dentro del campo que los expertos califican como “investigación en diseño” cuyo objetivo genérico es establecer nuevas formas o recomendaciones que potencien la eficiencia en el diseño.

[17] Cross, N., *Métodos de diseño. Estrategias para el diseño de productos.* . (1999) México: Limusa Wiley. Clasifica los modelos de diseño en dos grupos: descriptivos y prescriptivos. [18] Takeda, L., *Modeling Design Process.* (1990) Al Magazine 11, pp. 37 – 48. Adiciona dos más: cognitivos y computacionales. Los modelos descritos muestran la secuencia de actividades que ocurren en diseño. Existen otros como los prescriptivos, lo cuales prescriben un patrón de actividades de diseño. Los cognitivos explican el comportamiento del diseñador y los computacionales, expresan la forma en que un ordenador podría desarrollar la tarea de diseño.

3.12.2.2.1. Modelos descriptivos del diseño

El modelo lineal del proceso de diseño, permite identificar las fases del diseño que son comúnmente aceptadas por los investigadores. En la primera fase se buscan conceptos o principios de solución al problema identificado, se sintetizan una o varias posibles soluciones y se evalúan con respecto a restricciones (especificaciones) impuestas. [17]

En la primera fase se generan principios de solución, pero no se obtienen estructuras de solución lo suficientemente válidas como para materializar la respuesta. Se caracteriza por la incertidumbre del éxito y por la dinámica de la evolución hacia estructuras válidas. [17]

En la fase de diseño preliminar se avanza en la concretización de una solución al problema, determinando componentes e interacciones con el suficiente grado como para poder evaluar objetivamente. Se obtienen formas específicas, materiales propuestos y planos de conjunto de dimensiones generales, que representan al producto como un conjunto organizado de piezas, componentes, enlaces y acoplamientos. [17]

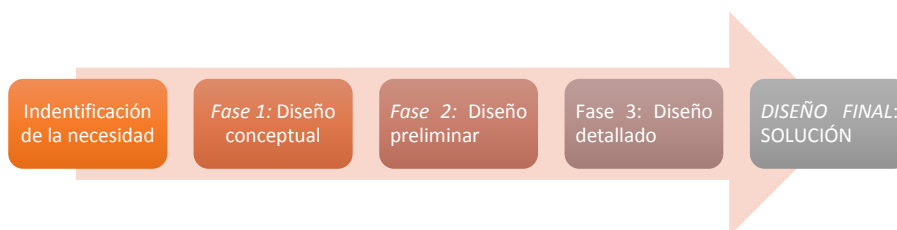


Figura 3. 49. Modelo descriptivo lineal del diseño.

Fuente: Cross, N., *Métodos de diseño. Estrategias para el diseño de productos.* . (1999) México: Limusa Wiley.

En la fase de detalle corresponde a la generación de todas las especificaciones necesarias para la producción de producto-solución. La elaboración de planos detalle, la determinación de etapas de fabricación, la identificación de proveedores, etc., son típicas actuaciones en esta fase, que es la mejor desarrollada a nivel empresarial, dado su interés particular y su organización orientada a materializar soluciones.

3.12.2.2.2. Modelos prescriptivos

Estos modelos aparte de describir, dan pautas para desarrollar cada una de las fases y etapas del proceso de diseño. El modelo denominado “Total Design” propuesto por Pugh (1990) está basado en un núcleo descriptivo del proceso, compuesto de actividades genéricas tales como: análisis de mercado, diseño conceptual, diseño de detalle, fabricación y venta. Las *especificaciones de diseño* son aquellas características particulares que rodean al caso concreto que se esté abordando y que delimiten al campo de actuación del núcleo del diseño. La característica principal de este modelo son: la necesaria interacción de tantas disciplinas como sea necesario para resolver el problema, sean técnicas o no; las cuales serán tenidas en cuenta en todo el proceso. [14]

3.12.2.2.3. Modelos cognitivos

Los modelos cognitivos buscan hacer una descripción formal de la forma de actuación del conocimiento del individuo que diseña. Algunos trabajos buscan identificar los procesos cognitivos del proceso de diseño. La representación del proceso de diseño será siempre incompleta, y estará enmarcada en los dos niveles más simples de modelación (figura 3.50).

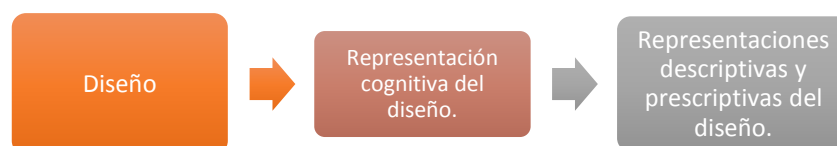


Figura 3. 50. Tres niveles de la modelación del diseño.

Fuente: Feijó, B., y Bento, J. *A Framework for cognitive modelsof design*. (1991). Centro de Mecánica E Engenharia Estruturais da Universidade Técnica de Lisboa Wokingham, Lisboa.

[19] Feijó, B., y Bento, J. *A Framework for cognitive modelsof design*. (1991). Centro de Mecánica E Engenharia Estruturais da Universidade. Técnica de Lisboa Wokingham, Lisboa. La dificultad de construir modelos que representen la actividad cognitiva del diseñador obedece, a que el diseñador es una clase de aprendizaje en la que las habilidades y las capacidades son adquiridas después de aprender técnicas, de asimilar conocimiento específico y general, y de inspeccionar experiencias exitosas del pasado, tales habilidades y capacidades suelen ser tácitas y ni aun los diseñadores más experimentados son conscientes de las acciones cognitivas que hay detrás de sus trabajos.

3.12.2.2.4. Modelos computacionales

Se divide en dos categorías de procesos mentales y de acciones: el análisis y la síntesis. El desarrollo de herramientas informáticas para el diseño se ha centrado en particular en los procesos de análisis, mientras que la síntesis ha tenido muy poco desarrollo. La Teoría General de Diseño (GTD) como una formulación del proceso de diseño para explicar cómo se desarrolla en términos de manipulación de conocimiento y sobre la cual se construye una propuesta de modelo computacional, que utiliza el modelo cognitivo de deducción - circunscripción. [18]

El GTD se basa en tres axiomas y siete teoremas, y explica el diseño como el proceso de transformación o mapeo entre un espacio función y un espacio de atributos, donde la especificación de diseño corresponde a un punto del primer espacio y la solución de diseño a un punto del segundo. [18]

3.12.3. Diseño conceptual

[20] David, G., Ullman, *The Mechanical Desing Process*. (4 Ed.) (2010) New York: Mc Graw Hill. Los diseñadores utilizan los resultados de la identificación de la necesidad para generar y evaluar conceptos para el producto o productos cambios. Cuando nosotros generamos conceptos, los requisitos del cliente sirven como base para el desarrollo de un modelo funcional del producto. Evaluamos conceptos, el objetivo es comparar los conceptos generados a los requisitos desarrollados durante Definición del producto y tomar decisiones.

La forma sigue a la función. Por lo tanto debemos primero entender la función de un dispositivo, antes de diseñar su forma. **El diseño conceptual se centra en la función.**

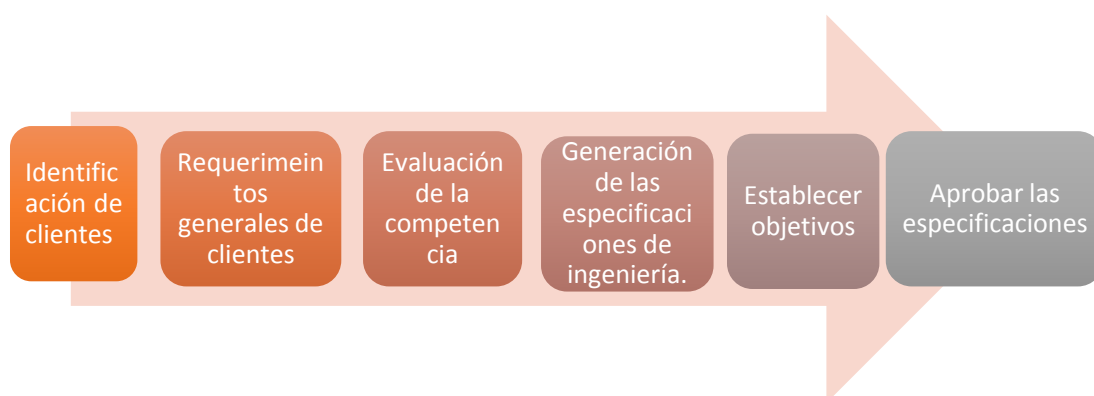


Figura 3. 51. Diseño conceptual.
Fuente: *The Mechanical Desing Process*, David G. Ullman. (4 Ed.).

Uno de los objetivos de diseño conceptual es la elección de las mejores alternativas con el menor gasto de tiempo y otros recursos necesarios para ganar ventaja del Conocimiento. Técnicas de votos en la evaluación de concepto y la toma de decisiones.

3.12.4. Desarrollo del producto

[20] Después de los conceptos que se han generado y evaluado, es el momento de redefinir la mejor de ellos en productos reales. Muchos de los proyectos de diseño comienzan aquí, sin el beneficio de la especificación previa o el desarrollo de conceptos. Este enfoque de diseño a menudo conduce a productos de baja calidad y en muchos casos las causas de cambios finales en el proceso de diseño son costosos. Al final de la fase de desarrollo del producto, el producto se libera para producción. En este momento, la documentación técnica que define la fabricación, montaje, control de calidad y las instrucciones deben ser completos y listos para la compra, fabricación y montaje de componentes.

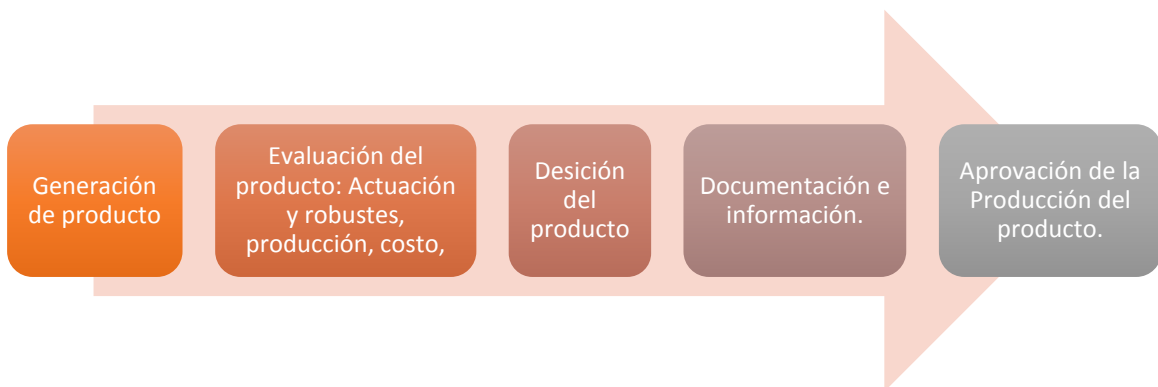


Figura 3. 52. Desarrollo del producto.

Fuente: *The Mechanical Design Process*, David G. Ullman. (4 Ed.).

3.12.5. Soporte del producto

[20] La responsabilidad del ingeniero de diseño no puede terminar con la liberación a la producción. A menudo no se continúa la necesidad de fabricación y soporte de montaje, el soporte para los vendedores, y ayuda en la introducción del producto al cliente.

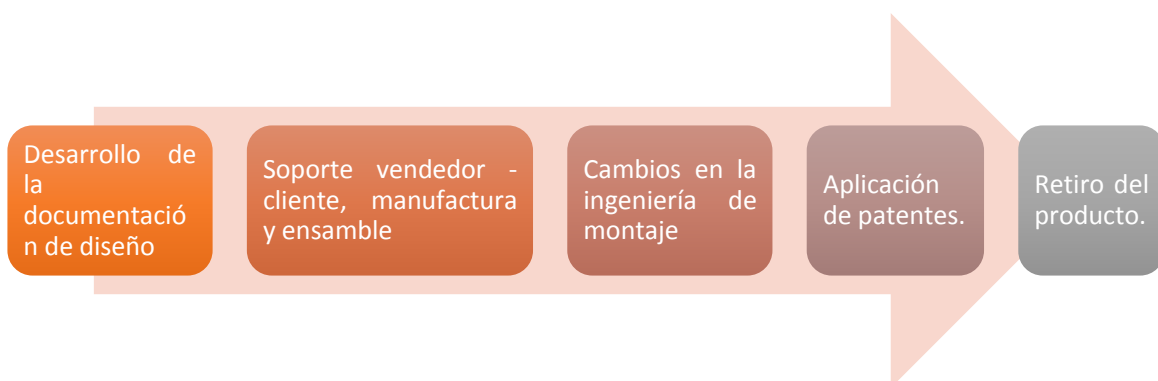


Figura 3. 53. Soporte del producto.

Fuente: *The Mechanical Design Process*, David G. Ullman. (4 Ed.).

IV. ANÁLISIS Y MÉTODOS

CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA PLÁSTICA, CONCRETO, METAL Y MADERA EN POSTES

El presente proyecto tiene por finalidad el diseño de un poste armable para redes de distribución rural en baja tensión en una región alto andina teniendo como material base las maderas plásticas, para lo cual se hará un comparativo de las características del material seleccionado para esta investigación frente a concreto, metal y madera que son materiales normalmente utilizados en la fabricación de estos elementos.

En este análisis comparativo nos centraremos en las propiedades y/o características de cada material para trabajar en redes de distribución rurales en baja tensión donde interactúan con medio ambientales variables.

Maderas plásticas

A. Propiedades y efectos agravantes

Resistente a fuerzas de tensión: propiedad de resistencia a esfuerzos de tracción con el fin de determinar la resistencia a la rotura. [8]

Resistente a fuerzas de compresión: la madera plástica resiste cargas axiales en cada segmento de este material. [8]

Resistente a fuerzas de corte: es el efecto que se produce por una fuerza que actúa en sentido tangencial a su superficie. Es importante saber que el límite de resistencia al corte suele ser menor que el de la resistencia a la tracción y compresión.[8]

Resistente a fuerzas de flexión: La madera plástica es resistente a ser dobladas o ser curvadas en su sentido longitudinal, sin romperse debido a una carga transversal. [8]

Densidad: En el caso de la madera plástica se puede decir que su densidad puede tener un rango de variación, ya que en proceso de fabricación quedan atrapados vacíos que en algunos casos no pueden ser evitados. [8]

Resistente a fuerzas de impacto: Durabilidad, dureza y resistencia; más resistente que la madera vegetal, el concreto y otros. Ideales para el trabajo duro. [10]

Impermeables: no se oxidan. Resistente al agua (incluso salada). Ideales en zonas húmedas y debajo del mar porque no generan oxido, ni almacenan humedad, por lo tanto, no se pudre, no se hincha, agrieta o deforma. [10]

Tenacidad: capacidad para resistir cargas repentinas (golpe o choque). [10]

Resistente a factores atmosféricos: Aislantes térmicos, acústicos y eléctricos. Resistente al frío y calor, disminuye ruido, no transmite la electricidad. [10]

Piro resistencia. Retardante al fuego. [10]

Resistente a la intemperie, a diferencia de la madera vegetal, el concreto. [8]

Higiénicos e inmune. Inmunes de por vida a roedores, hongo, bacterias, insectos y humedad. [8]

No requiere mantenimiento. [8]

Reciclable, ahorro de materias primas vírgenes. [10]

B. Valores de esfuerzos mecánicos

Para obtener los valores de esfuerzos mecánicos de las maderas plásticas, continuamente se han hecho distintas pruebas, evaluaciones con el fin de lograr obtener un material muy resistente y que tenga buenas características para el trabajo, y que puede reemplazar a los materiales convencionales y sobre todo se busca una nueva visión que se dirija a la reutilización de materiales plásticos ya utilizados, ya que estos no son de difícil degradación.

Distintas universidades y empresas se han dedicado al estudio de este material a un joven en el mercado, para esto tomare los valores de estos esfuerzos que he obtenido de empresas, los cuales varían de acuerdo a la composición y la forma de trabajo con las que lo fabrican, pero en general cumple con sus mismas propiedades. Cabe mencionar que no todas las empresas dan al detalle estos esfuerzos, se desconoce la razón, estas empresas son en su totalidad extranjeras, ya que en sus países tienen otra política respecto a la reutilización de materiales plásticos, y en Perú aún no se está desarrollando esta tendencia de fabricar maderas plásticas.

Estos esfuerzos permitirán realizar el diseño, cálculo, y simulación en varios escenarios, tanto en una zona de esfuerzo mínima, media y alta. A continuación detallo los esfuerzos del material con las que empresas dedicadas a este rubro trabajan:

- ✓ **Industria RPI (Recycled Plastics Industries)**, manufactura de madera plástica reciclada de polietileno de alta densidad, la creación de una alternativa ecológica duradera a la madera tradicional. Madera plástica reciclada no incorpora ningún relleno tal como fibra de madera o harina de madera que puede absorber la humedad y causar la degradación del material y la pérdida de color. [21] Recycled Plastics Industries, “Product Data: Manufacturing Plastic Lumber”, 2012. [online] Available: www.rpi2.com/data.html.

Los materiales utilizados en el reciclaje de la madera de construcción de plástico son inflamables, pero no combustible, HDPE es difícil de encender la llama y lo hará normalmente auto extinción. Punto de inflamabilidad; 330 ° C (700 ° F) (ASTM E138) [21]

Propiedades Mecánicas 70 °F	Método de ensayo	Valor promedio
Densidad	ASTM D6111	0.0237 – 0.0249 libras/pulgada cubica
Módulo de elasticidad (1% de deformación)	ASTM D6109	111,700 – 113,950 psi
Tensión de flexión máxima (3% de tensión)	ASTM D6109	2,250 – 2,325 psi
Esfuerzo de flexión permisible	ASTM D6109	1,200 psi
Esfuerzo de compresión longitudinalmente (3%)	ASTM D6108	3,300 – 3,650 psi
La retirada del tornillo, n° 10, de 1 1/2”	ASTM D61177	325 libras
La absorción de agua, 11 semanas	ASTM D570	0.01% 24 hrs.
Coefficiente de expansión termal	ASTM D6341	0.00007 in/ °F

Tabla 4. 1. Propiedades mecánicas, madera plástica RTI
Fuente: <http://www.rpi2.com/data.html> - Web oficial RTI

- ✓ **BETFORD Technology**, produce plásticos compuestos avanzados con propiedades superiores a la madera, el acero y el hormigón para muchas estructuras marinas y aplicaciones pesadas. Fabricado a partir de una matriz de plástico reciclado con barras únicas de refuerzo de fibra de vidrio, la rigidez de los productos Multi-X puede ser variada y controlada para adaptarse a cada proyecto. [22]

PROPIEDADES FÍSICAS	VALOR
Módulo de compresión	3585kg/cm2
Módulo de flexión (1% deformación)	6744 kg/cm2
Módulo de elasticidad	3469 MPa
PROPIEDADES TÉRMICAS	VALOR
Punto de inflamabilidad	340 °C
Absorción de humedad	0.06 % peso
PROPIEDADES MECÁNICAS	VALOR
Esfuerzo a flexión	95kg/cm2
Fuerza de compresión	100 kg/cm2
Fuerza compresiva	45 kg/cn2
Tornillo promedio	293 kg
Rigidez	1118 kN-m2
Límite elástico	69.8 MPa

Tabla 4. 2. Esfuerzos Mecánicos. Madera plástica – Betford
Fuente: <http://www.plasticboards.com/recycled-plastic-products/multi-x-plastic-product/>

- ✓ **MADERPLASTIC (Compromiso Verde, con ciencia Ecológica)**, es una empresa especializada en la fabricación de productos de **madera plástica**, ubicada en la ciudad de Cali, Colombia. Tiene su proceso de producción utilizamos materias primas recicladas provenientes de desechos industriales y urbanos, logrando **productos totalmente ecológicos** que contribuyen a proteger y mejorar el medio ambiente. [23] MADERPLASTIC, “Producto: Línea de construcción”, 2014. [online] Available: www.maderplastic.com.

Polipropileno y polietileno de alta y baja densidad reciclados. La presentación (color, textura) puede variar de acuerdo al producto plástico original. [23]

<i>PROPIEDADES FÍSICAS</i>	<i>VALOR</i>
Densidad	0.85g/cm ³
Resistencia a la tensión en el punto de deformación	250kg/cm ²
Módulo de flexión	1000 kg/cm ²
Resistencia al impacto	20 kg/cm ²
Temperatura de ablandamiento	124°C
Temperatura de Fragilidad	- 70°C
<i>PROPIEDADES TÉRMICAS</i>	<i>VALOR</i>
Máxima Temperatura de Servicio	75°C
Punto de reblandecimiento	130 °C
Máxima resistencia a baja temperatura (HMWPE)	-75°C
<i>PROPIEDADES MECÁNICAS</i>	<i>VALOR</i>
Dureza shore	65
Esfuerzo a tensión	30.3 Mpa
Elongación para la Ruptura	800%
Módulo de Tensión	0.93 Gpa
Módulo de Flexión	0.97 Gpa
Resistencia al impacto	525 Kgs/m ²

Tabla 4. 3. Propiedades madera - MADERPLASTIC
Fuente: MADERPLASTIC – www.maderplastic.com

Concreto:

[22] Oswaldo Seminario Vega, “Evaluación De La Corrosión En Postes De Concreto Armado De La Urbanización Los Tallanes”, tesis Universidad de Piura, Piura, Perú, 2003. El concreto es una mezcla, en proporción requerida, de cemento, agregado fino, agregado grueso, agua, aire (como resultado de las operaciones propias del proceso de puesta en obra), y eventualmente aditivos.

Es un material temporalmente plástico que puede colarse o moldearse y, más tarde, se convierte en una masa compacta (concreto endurecido) por acción química entre el cemento y el agua. [22]

A. Propiedades y efectos agravantes

- ✓ **Durabilidad:** Mantiene sus condiciones de resistencia y servicio. Varía de acuerdo a la mezcla, colado y curado. Una durabilidad inadecuada se manifiesta inmediatamente, a través del deterioro físico y químico de la estructura de concreto.

Factores mecánicos causa daño por el impacto de elementos duros, erosión o cavitación, la acción de las heladas en zonas frías que puede dañar gravemente el concreto, debido a la expansión del agua al congelarse generando fisuras en la estructura.

El fenómeno más dañino desde el punto de vista de la durabilidad, es el de la corrosión de las armaduras, de origen electroquímico, incapacidad del concreto para proteger las barras de acero.

La durabilidad se ve afectada por la forma y los moldes de la estructura, que influyen en el humedecimiento y el secado, así como por la variación de la temperatura, en operaciones de centrifugado y curado.

- ✓ **Resistencia:** Relación agua/cemento (a/c); es la de mayor influencia en la resistencia del concreto; cuanto mayor sea esta proporción menor será la resistencia.

Tipo de cemento; afecta la manera en que se desarrolla la resistencia y la resistencia final. Condiciones del curado; son vitales para el desarrollo de la resistencia del concreto. [22]

- ✓ **Permeabilidad:** tiene efectos en la durabilidad (entre menos permeable sea el hormigón, los fenómenos de transporte son más lentos, incrementándose la vida útil de la estructura).

- ✓ **Facilidad en el Trabajo:** Es la facilidad o dificultad de mezclarse los materiales, manejarse, transportarse, centrifugarse y de dar un buen acabado con poca pérdida de homogeneidad. Es una propiedad importante del concreto fresco.

- ✓ **Cambios de volumen:** La expansión debido a las reacciones químicas entre los ingredientes del concreto pueden ocasionar pandeo y contracción, al secarse pueden ocasionar grietas. La expansión también se debe al calor de hidratación del cemento y a las elevadas temperaturas ambientales. [22]

- ✓ **Deformación elástica:** Es una deformación que ocurre con carga constante durante un largo tiempo. La deformación del concreto continúa, pero con una rapidez que disminuye con el tiempo.

- ✓ **Peso propio:** El concreto con arena y grava de peso normal aproximadamente, tiene una densidad de 2300 Kg/m^3 y, por lo tanto, se le debe considerar en el diseño de estructuras
- ✓ **Corrosión en el concreto y sus armaduras:** El concreto confiere al acero una protección de doble naturaleza: por un lado, es una barrera física que lo separa del medio ambiente y por otro, el líquido encerrado en los poros del concreto.

El fenómeno de la corrosión del acero de refuerzo es causa frecuente de que las estructuras de concreto se deterioren prematuramente.

- ✓ **Alta relación resistencia – costo.**
- ✓ **Alta resistencia al fuego y a la penetración del agua.**
- ✓ **Confortable al calor.**
- ✓ **Propiedades estéticas.**
- ✓ **Baja relación resistencia – peso.**
- ✓ **Transporte es muy costoso.**
- ✓ **Traslado a zonas rurales peligroso:** por el propio peso del poste, ocasiona que el traslado zonas que no tengas vías habilitadas sea peligroso tanto para el poste, como para el personal.



*Figura 4. 1. Poste de Concreto Armado centrifugado en mal estado
Fuente: www.skyscrapercity.com*

Acero Galvanizado

El acero es una aleación de hierro carbono donde el porcentaje de carbono no supera el 2%. Se alea con otros minerales para obtener las características buscadas. Galvanizar es recubrir con zinc fundido la superficie del acero para protegerlo de la corrosión. El zinc

es el recubrimiento metálico más utilizado por su capacidad de sacrificio para proteger el acero base.

A. Propiedades y efectos agravantes

- ✓ **Resistencia a la abrasión:** Capacidad de resistir el desgaste superficial.
- ✓ **Resistencia a la corrosión.**
- ✓ **Protección integral de las piezas (interior y exteriormente).**
- ✓ **Triple Protección:**
 - *Barrera física:* El recubrimiento posee mayor dureza y resistencia que cualquier otro tipo de recubrimiento.
 - *Protección electroquímica:* Con el paso del tiempo se forma una fina capa de óxido de zinc que actúa como aislante del galvanizado.
 - *Autocurado:* Ante raspaduras superficiales, se produce un taponamiento por reacción química de la superficie dañada.
- ✓ **No necesita mantenimiento.**
- ✓ **Fácil de pintar y proteger**
- ✓ **Uniformidad y homogeneidad**
- ✓ **Durabilidad**
- ✓ **Rapidez de construcción**
- ✓ **Reciclable**
- ✓ **Costo elevado para un sistema eléctrico rural:** especialmente para Baja Tensión.
- ✓ **Métodos de fabricación contaminantes.**
- ✓ **Tiende a comportarse como un conductor eléctrico por sus características.**
- ✓ **Conductividad térmica:** Es la facilidad que presenta un material para dejar pasar a través de él una cantidad de calor.
- ✓ **Dureza:** Resistencia que ofrece para dejarse penetrar.
- ✓ **Oxidación:** Tienen la capacidad de oxidarse si se exponen al aire y al agua simultáneamente y se puede producir corrosión del material si se trata de agua salina, por lo que se debe controlar.

- ✓ Es posible utilizar un material aislante encima del acero, para mejorar la protección eléctrica.
- ✓ Se utilizan mayormente para sistemas eléctricos de alta tensión.



*Figura 4. 2. Torres de celosía con acero galvanizado.
Fuente: www.estructuraslago.com/trabajos/1/*

Madera

Por ser un Material Orgánico la madera tiene menor durabilidad que otros materiales. La madera es porosa, combustible, higroscópica (absorbe agua en forma líquida o de vapor) y deformable por los cambios de humedad ambiental, sufre alteraciones químicas por efectos del sol, y es atacable por mohos, insectos y otros seres vivos. La madera que se utiliza para postes de sistemas eléctricos es tratada para mejorar su durabilidad, pero termina siendo afectada por los agentes ambientales y organismos vivos durante su vida útil.

A. Propiedades y efectos agravantes

- ✓ La Madera es aislante térmico y eléctrico
- ✓ Es un Material renovable, biodegradable y reciclable.
- ✓ **Flexibilidad:** es la facilidad para ceder en el sentido de su longitud, sin romperse ni deformarse hasta un límite.
- ✓ **Dureza o resistencia al corte:** que dependerá de la mayor o menor cohesión entre sus fibras.
- ✓ **Material Poroso absorbe la humedad:** pero no en su estado natural, lo que provoca su propio deterioro y podrirse.
- ✓ **Bajo costo.** Debido a la ligereza de la madera, se ahorran energías en los procesos de elaboración.
- ✓ **Ecológica:** La madera puede considerarse como el único material de construcción totalmente renovable y reciclable (biodegradable). Si se respetan normas ambientales.

- ✓ **Densidad:** Cuanto más tiene la madera es más resistente.
- ✓ **Radiación ultravioleta:** Su acción se centra en la superficie, quedando fibrosa y deshilachada. Así resulta más susceptible al ataque de la humedad.
- ✓ **Predisposición al Fuego:** La madera es un elemento altamente combustible. Sin embargo, su modo de combustión tiene características muy particulares y por su relación fuego/masa. Es relativamente fácil de apagar
- ✓ **Lluvia y la humedad:** La lluvia aumenta el contenido de humedad en la superficie, que será mayor a la del interior.
- ✓ **Moho:** Se alimentan de las materias almacenadas en el interior de las células de la madera (lumen). No alteran las propiedades mecánicas, pero crean las condiciones necesarias para el desarrollo de los hongos de pudrición
- ✓ **Insectos:** Es importante diferenciar entre los que atacan a la madera en el bosque (en pie o muertos) y los que atacan la madera ya cortada o colocada en obra.
- ✓ **Aves:** Algunas especies de aves, suelen hacer sus nidos en los postes de madera (pájaro carpintero).
- ✓ **Desgaste Mecánico:** Cuando la madera se encuentra sometida a condiciones de movimiento está expuesta al deterioro por desgaste mecánico.
- ✓ **Necesitan de mantenimiento, durante su vida útil.**



Figura 4. 3. Poste de madera deteriorado por cambios climatológicos.
Fuente: Gerencia de Operación y Mantenimiento. Red de Energía del Perú S.A.

Ahora que se ha detallado las propiedades de cada material, se realizarán cuadros comparativos de los diferentes tipos de materiales, utilizando las principales propiedades de trabajo en una red de distribución rural en baja tensión, con lo que se desea que los resultados sean favorables para la madera plástica y ésta tenga más ventajas sobre los otros materiales, debido a que los otros materiales son de uso convencional, y se ha visto ya alguna de sus deficiencias, en cambio la madera plástica es un material nuevo, además de ser material con el cual se está realizando el diseño del poste armable para redes de distribución rural en baja tensión en una zona alto andina.

4.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA MADERA PLÁSTICA FRENTE AL CONCRETO, METAL Y MADERA

De acuerdo con los cuadros comparativos desarrollados a continuación, y considerando las diferentes propiedades, características, como también sus cualidades de cada material, y realizando un análisis comparativo, analizaremos si la madera plástica material base para esta investigación cumple con las especificaciones requeridas para el diseño de un poste y tiene mejores cualidades frente a los otros materiales; debido a que estas mejorarían los montajes electromecánicos en redes de distribución rural en baja tensión, los análisis se detallan a continuación:

4.1.1. Respecto a características mecánicas

Madera plástica	Concreto	Acero	Madera convencional
<ul style="list-style-type: none"> - Resistente a la tensión: Soporta fuerzas a tracción. - Resistente a fuerzas de Compresión. - Resistente al corte, fuerzas en sentido tangencial. - Resistente a fuerzas de flexión. - Muestra una buena densidad. - Resistente al impacto. - Tenaz, soporta cargas repentinas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Durable, mantiene sus condiciones de resistencia. - Factores mecánicos causan daños por el impacto, generando erosión. - Un buen funcionamiento puede ser afectado por el mal centrifugado. - Su resistencia depende de la relación agua/cemento. - Tiene la ventaja para trabajarlo por su resistencia a fuerzas de tracción y compresión. - La expansión debido a cambios químicos puede generar pandeos y contracciones. - Baja relación resistencia – peso. - Buena estabilidad en el trabajo. - Longitudes de 3 – 13m. 	<ul style="list-style-type: none"> - Resistente a la abrasión, capaz de resistir desgaste superficial. - Resistente a fuerzas de tracción y compresión. - Resisten a fuerzas de flexión con límites de fuerzas. - Uniformidad y homogeneidad. - Durabilidad. - Presenta una buena dureza. - Son utilizados generalmente para sistemas eléctricos de alta tensión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Material flexible. - Duro y resistente al corte. - Material con buena densidad. - Tiende al desgaste mecánico. - No hay variedad de Longitudes, se requiere a longitudes solicitadas. - Resistente a fuerzas de tracción, y compresión.

Tabla 4. Cuadro comparativo de diferentes materiales.
Fuente: Creación propia – Data: documentos citados en la Bibliografía.

- ✓ **Análisis 01:** de acuerdo al cuadro comparativo de características de los cuatro tipos de materiales considerados en este análisis, se refleja que estos poseen buenas propiedades mecánicas, es decir sus esfuerzos de flexión, de tracción, compresión y dureza son recomendables para el trabajo en una red de distribución rural de baja tensión, los valores específicos dependerán de cada fabricante que los manufacture, pero estos se mantienen dentro del estándar requeridos en la norma DGER/MEM.

Por tanto la madera plástica de acuerdo al análisis 01, es un material apto debido a que tiene las mismas características que los materiales convencionales, por lo que es factible que este material sea estudiado y analizado, para posteriormente utilizarlo para propuestas de diseño de un poste, para el caso de este proyecto de investigación, valga la redundancia un poste armable (modular) para redes de distribución rural en baja tensión.

4.1.2. Respecto a factores con el entorno

Madera plástica	Concreto	Acero	Madera convencional
<ul style="list-style-type: none"> - Impermeable, no se oxida, 0.01% 24 horas. - Resistente a factores atmosféricos. - Inmune a roedores, insectos, hongos. - Ideal para zonas húmedas. - No le penetra la humedad. - Material ecológico. - Resistente al contacto con algunos agentes químicos. - Puede usarse en zonas húmedas, como cálidas. 	<ul style="list-style-type: none"> - La acción de heladas en zonas frías puede generar fisuras. - Con el tiempo, y por el ambiente se corroen sus estructuras. - La expansión debido a cambios químicos puede generar pandeos y contracciones. - La corrosión genera daños internos, y afectan a la estructura. - Alta resistencia al fuego y penetración de agua. - Confortable al calor. - Apto para zonas cálidas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Resistente a la corrosión, previo tratamiento, y pintura. - Debe hacer un baño electrolítico el cual protege sus piezas interiores y exteriores. - Autocurado: Ante raspaduras superficiales, se produce un taponamiento por reacción química de la superficie dañada. - Debe primero darse un baño de pintura protectora en algunos casos. - Buen conductor térmico. - Puede tender a oxidarse. - Uso recomendable en zonas con poca humedad. 	<ul style="list-style-type: none"> -Material poroso, absorbe agua, tiende a pudrirse. -Material con buena densidad. - Se afecta por la radiación ultravioleta, aumentado disposición a la humedad. - Predisposición al fuego. - La lluvia y humedad afectan su resistencia. - Tendencia al moho, insectos, aves. - Uso más adecuado en zonas cálidas.

Tabla 4. 5. Cuadro comparativo de diferentes materiales.

Fuente: Creación propia – Data: documentos citados en la Bibliografía.

- ✓ **Análisis 02:** visto el cuadro adjunto y respecto a factores con el entorno, el **concreto** trabaja muy bien en climas cálidos, templados, pero por la humedad en zonas frías puede afectar sus estructuras (armadura) internas por la corrosión la cual perjudicaría su resistencia, además podría generar fisuras y empezar a caer

partes del concreto; con ello no se quiere manifestar que no trabaja adecuadamente en zonas húmedas, solo que de cierta manera se afecta sus propiedades. Por otro lado el **Acero Galvanizado** presenta buenas características para trabajar en ambientes húmedos, no se corroe, pero previo protección, el cual eleva su costo, y esto afectaría finalmente al desarrollo de un proyecto, en cambio la **madera convencional** pierde efectividad de trabajo por tender a acumular humedad, lo cual perjudica su estructura, además de ser afectado por insectos, hongos, y utilizarlo en zonas húmedas no es muy conveniente, aclarando que los postes de madera convencional trabajan relativamente bien, pero el paso del tiempo perjudica sus características. Finalmente la **madera plástica** es un buen material, es resistente a la humedad, por ser en su totalidad o en 85% material plástico, además de ser impermeable, no se puede oxidar, también está la característica que no le afectan organismos propios del medio, en este caso la *madera plástica lleva la ventaja.*

4.1.3. Respecto a función de aislante eléctrico

Madera plástica	Concreto	Acero	Madera convencional
<ul style="list-style-type: none"> - Buen aislante eléctrico, debido a que está constituido de materiales plásticos y en algunos casos con porcentajes de fibra de vidrio y/o fibras de madera natural, lo que genera que el material sea dieléctrico por su composición. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiene la ventaja de tender a trabajar como un material aislante por su composición. - No inflamable. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiende a comportarse como un conductor eléctrico. - Buen conductor térmico. - Debe protegerse para no ser un conductor eléctrico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Buen aislante térmico y eléctrico debido a su composición. - Inflamable.

Tabla 4. 6. Cuadro comparativo de diferentes materiales.

Fuente: Creación propia – Data: documentos citados en la Bibliografía.

- ✓ **Análisis 03;** el **acero galvanizado** debe ser inicialmente protegido por una pintura o un aditamento adecuado para no tender a comportarse como un conductor eléctrico, sin embargo el **concreto** se comporta con un elemento aislante, al igual que la **madera convencional** que es un gran aislante eléctrico y no requiere de ningún agente químico adicional para serlo, además estos dos materiales son aislantes térmicos lo cual es óptimo para una red de distribución rural, asimismo las **maderas plástica** son bastante buenas para no conducir electricidad y también como aislante térmico, de acuerdo a las cualidades de los tres últimos materiales analizados, el trabajar como aislante dieléctrico es de suma importancia debido a que en una zona rural en una región alto andina están presentes continuamente las lluvias, y por ende las descargas eléctricas, las cuales pueden afectar a un usuario, si esté sin intención se apoya en un momento dado en los postes. En este análisis *tres materiales son los que trabajan adecuadamente.*

4.1.4. Respecto al mantenimiento

Madera plástica	Concreto	Acero	Madera convencional
- Requiere de un mantenimiento sencillo durante su tiempo de trabajo.	- No requiere mantenimiento durante el tiempo de trabajo.	- No necesita mantenimiento continuo durante su trabajo a la intemperie.	- Necesita mantenimiento. - Cuando presenta deterioro, el mantenimiento no puede ser muy útil.

Tabla 4. 7. Cuadro comparativo de diferentes materiales.

Fuente: Creación propia – Data: documentos citados en la Bibliografía.

- ✓ **Análisis 04:** el **acero galvanizado y concreto** no requieren de un mantenimiento frecuente, por lo que es una gran ventaja, en cambio la **madera convencional** si requiere de un control y mantenimiento adecuado y regular, ya que de presentar deterioro puede en algunos casos ser solucionado antes de su incrementar su gravedad, la forma de mejor esto es por lo general con un cambio de estructura que en algunos casos puede ser perjudicial para el sistema eléctrico; sin embargo la **madera plástica** no requiere de un mantenimiento o es casi nulo, ya que las características de su entorno de trabajo no lo afectan, *esta es una ventaja más para este material.*

4.1.5. Respecto a montaje y transporte

Madera plástica	Concreto	Acero	Madera convencional
- Bajo peso para transporte (23-33 kg/m). - Variedad de longitudes de este material plástico (1 - 16 m) - Fácil de transportar, y de no complicado montaje.	- Por su composición se vuelve muy pesado. - Transporte costoso, por su peso. - Traslado a zonas rurales, peligroso por su propio peso. - Longitudes de 3 – 13m. - Su montaje es peligroso si no se tiene las medidas de seguridad necesarias.	- Rapidez de montaje, cuando se cuenta con alguien capacitado. - No muy económico para un sistema rural. - Son utilizados generalmente para sistemas eléctricos de alta tensión. - Su transporte puede ser no muy complicado, dependiendo de la zona. - El montaje se realiza en bajo tiempo. - Uso recomendable en zonas con poca humedad.	- Por sus longitudes su traslado puede ser dificultoso en zonas rurales. - Su montaje requiere de mucho cuidado.

Tabla 4. 8. Cuadro comparativo de diferentes materiales.

Fuente: Creación propia – Data: documentos citados en la Bibliografía.

- ✓ **Análisis 05:** para un poste de **concreto**, su traslado es peligroso, su peso hace que sea una dificultad, costoso su transporte y de acuerdo a un proyecto podría ser

costoso su montaje, en cambio el **acero galvanizado** es más liviano, lo que mejora en parte, pero lo que no le favorece es que no es muy usado en redes de distribución rural en baja tensión debido a su costo y características de trabajo con el entorno, por otro lado la **madera convencional** disminuye su dificultad de traslado frente al concreto y hace también más fácil su montaje por ser un material más liviano, pero aún sigue teniendo un peso considerable e inevitablemente hace dificultoso su traslado, en cambio la **madera plástica** es más liviana, y su montaje podría ser más rápido así como también su traslado, y se lograría hacer más simple con el diseño de poste armable, el mismo que cumplirá con los requisitos necesarios. Existen postes modulares, y postes de acero galvanizado, pero esto mejora quizás un poco el traslado de un poste de concreto, pero aún sigue siendo de un peso considerable, y se tiene que tener mucho cuidado para no provocar fisuras o pequeñas grietas, en cambio en el poste de acero galvanizado su costo es el que no lo hace favorable para un proyecto rural en baja tensión. *Esta es una ventaja que favorece a la madera plástica.*

4.1.6. Respecto a su cimentación

Madera plástica	Concreto	Acero	Madera convencional
- No requiere cimentación, pero de utilizarse mejora sus características de trabajo.	- Requiere de cimentación en su montaje, para un adecuado trabajo posterior.	- Necesita cimentación, para su montaje, para de este modo ganar estabilidad durante el tiempo de trabajo.	-No requiere cimentación, pero de requerirla mejorara sus características de trabajo.

Tabla 4. 9. Cuadro comparativo de diferentes materiales.

Fuente: Creación propia – Data: documentos citados en la Bibliografía.

- ✓ **Análisis 06**, el **concreto y acero galvanizado** necesitan cimentación, para favorecer a su protección en la base, además de protegerlos con otros aditamentos necesarios para proteger sus características internas, pero está claro en decir que un poste de concreto puede ser izado con o sin cimentación de acuerdo a los metrados de algún proyecto, en cambio los postes de acero galvanizado necesariamente tiene que ser izados con una cimentación adecuada, en cambio para la **madera convencional y madera plástica** no es necesario utilizar la cimentación, ya que a estos materiales interactúan de mejor manera con la superficie, pero de realizarse el izado con cimentación, estas mejorarán aún más sus características de trabajo. Cabe señalar que los postes de manera también se pueden ver afectados por la humedad del terreno una vez izados, lo que a la larga afectaría sus propias características de trabajo. *De acuerdo a este análisis el material más adecuado en un poste sería el de la madera plástica.*

4.1.7. Respecto a ser un material ecológico

Madera plástica	Concreto	Acero	Madera convencional
<ul style="list-style-type: none"> - Material reciclado, ahorro de materias vírgenes. - Se fabrica con materiales a base de plásticos domésticos y/o industriales. - Genera una conciencia de reciclado. - Después de su uso, termina como un material nuevamente reciclable. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere de materias primas para su fabricación. - Lo materiales que se utilizan en su fabricación son generados en muchos de los casos ocasionando daños ambientales. - No utiliza materiales reciclados, tienen que ser necesariamente nuevos. - Al finalizar su uso, este material pocas veces es reciclable. 	<ul style="list-style-type: none"> - Debe hacer un baño electrolítico, más generación de agentes químicos. - Procesos de fundición caros y Contaminantes. - Se fabrica con materias primas, pero no es materiales reciclados, luego de su uso se convierte si en un material Reciclable. 	<ul style="list-style-type: none"> -Bajo costo para Su fabricación. - Después de su uso es un material reciclable para algunos usos, ya que ha sido tratada químicamente antes. - Ecológico, cuando su producción respeta estándares de responsabilidad ambiental.

Tabla 4. 10. Cuadro comparativo de diferentes materiales.

Fuente: Creación propia – Data: documentos citados en la Bibliografía.

- ✓ **Análisis 07**, para el **acero galvanizado** su manufactura presenta grados de contaminación, más fuertes que para el resto de materiales, por otro lado el **concreto** para su producción, en especial para sus componentes necesita de materias primas, que son sacadas de montañas rocosas, minas de hierro y ya de alguna manera se afecta o deteriora el ambiente, para la **madera convencional**, puede ser un material ecológico, pero no es del todo, debido a que para producirlo se deben talar árboles, y hoy en día la tala no controlada de árboles es una causa de perjuicio para nuestro ecosistema, en cambio para la **madera plástica**, en su fabricación se está usando materiales (plásticos) ya usados que ahora son nuevamente reutilizados y procesados por medios no contaminantes o en menos escala que los anteriores, sin embargo es una nueva manera de preservar nuestro ambiente y darles una nueva forma de fin a estos materiales que eliminamos y no son fáciles de degradarse. Utilizar maderas plásticas es también generar una conciencia ambiental sobre el uso no controlado del plástico, la cual ahora nos puede ser muy útil, no solo para usarlo en fabricación de postes, sino también otros elementos útiles en nuestra vida, y reciclar es un factor importante en la preservación de nuestro ecosistema. *Esto es una nueva ventaja para la madera plástica.*

*De los análisis que se han realizado, se puede definir que la madera plástica es un material muy competente con los materiales convencionales para las fabricaciones de postes para redes de distribución rural en baja tensión, debido a que sus características mecánicas y físicas son adecuadas e incluso en algunas circunstancias mejores a otros materiales utilizadas actualmente. Para el caso de este proyecto de investigación en el cual se realiza la propuesta de diseño de un poste armable, a partir de la utilización de **maderas plásticas**, se realizará el análisis y simulación respectivo para generar una nueva alternativa de fabricación de postes a base de este material nuevo y poco convencional, buscando finalmente que las madera plástica se convierta una nueva y*

mejor alternativa para la fabricación de postes armables para redes de distribución rural en baja tensión, y permita mejorar tiempos y costos en los trabajos de montajes electromecánicos. También se busca que esta investigación pueda ser el punto de partida para estudios posteriores referente a no solo redes eléctricas en baja tensión, sino también en media tensión, y finalmente formar una planta de producción de maderas plásticas en la Región Lambayeque.

En general con lo analizado o mencionado líneas arriba no se está intentando dar una información con la cual se pretenda dejar de utilizar postes fabricados a partir de materiales convencionales citados anteriormente, debido a que estos postes durante años posteriores y actualmente son de mucha utilidad para llevar energía eléctrica a grandes ciudades, como también a pequeñas localidades. Por lo que este proyecto de investigación busca que la madera plástica sea una nueva alternativa como material de fabricación de postes, y que el diseño de un poste armable fabricado con este material busque mejorar los trabajos de traslados y montajes electromecánicos de estas estructuras en zonas rurales, las mismas que beneficiaran a los pobladores de comunidades alejadas de la zona urbana que luchan por poder obtener el derecho de contar con energía eléctrica y mejorar finalmente su calidad de vida. También sin dejar de mencionar que este tipo nuevo de estructura, desarrollara una mejora en los tiempos de trabajo que desenvuelven las empresas en la ejecución de proyectos rurales.

4.2. DEFINIR LOS PARÁMETROS MECÁNICOS DE TRABAJO DE LOS POSTES DE REDES DE DISTRIBUCIÓN RURAL EN UNA REGIÓN ALTO ANDINA

Para poder definir los parámetros mecánicos de trabajo de los postes en redes de distribución en baja tensión, se ha tenido que revisado la base informativa de normas y especificaciones que ha desarrollado la Dirección General de Electricidad – Ministerio de Energía y Minas, para el Sector de Electrificación Rural en el Perú. Asimismo también se ha revisado el Código Nacional de Electricidad, Tomo IV – Sistema de Distribución.

En esta definición de parámetros mecánicos, se debe precisar también los elementos influyentes en sistemas de distribución, además dichos parámetros serán considerados en base a normas de postes de madera, debido a la semejanza del material con la madera plástica:

- ✓ **Red de Distribución Secundaria.** Incluye los elementos de las redes secundarias aéreas y subterráneas tales como conductores, cables, postes, aisladores, retenidas, acometidas y distancias mínimas de seguridad. [4]
- ✓ **Red de Alumbrado Público.** Incluye las exigencias relativas al alumbrado y a su instalación en vías expresas, arterias principales, vías colectoras, calles, locales, cruces, plazas, etc. [4]

4.2.1. Conductores

- ✓ Los conductores podrán ser preferentemente de cobre, cobre duro, cobre blando, aleación de aluminio, asimismo deberán ser forrados. [4]
- ✓ Los conductores utilizados en redes aéreas secundarias tendrán un esfuerzo mínimo de rotura de 35 kg/mm² en cobre semiduro. [4]
- ✓ La sección mínima permitida será de 6 mm² para el cobre. [4]
- ✓ Los conductores irán fijados a los aisladores por medio de amarres, establecidos con los hilos o alambres recocidos o similares del mismo material que el conductor o de otra naturaleza siempre que aseguren de una manera perfecta y permanente la posición correcta del conductor sobre el aislador y no ocasionen un debilitamiento apreciable de la resistencia mecánica del mismo, ni produzcan efectos de corrosión. [4]
- ✓ El esfuerzo del conductor portante de aleación de aluminio será en todos los casos, de 52,3 N/mm², aproximadamente 18% del esfuerzo de rotura del conductor. [4] Dirección General de Electricidad, *Bases Para El Diseño De Líneas Y Redes Secundarias Con Conductores Autoportantes Para Electrificación Rural*, Ministerio de Energía y Minas, Diciembre 2003.
- ✓ Distancias mínimas entre conductores y vanos:

VANO	DISTANCIA MÍNIMA
Hasta 4m	0.10m
De 4 a 6m	0.15m
De 6 a 30m	0.20m
De 30 a 50m	0.30m
De 50 a 75m	0.35m
Mayores de 75m	0.40m

Tabla 4. 11. Distancia horizontal mínima entre conductores.
Fuente. Ministerio de Energía y Minas

- ✓ Distancias máximas y mínimas de los vanos para un sistema rural:

VANO	DISTANCIA MÍNIMA	DISTANCIA MÁXIMA
A lo largo	20 m	60 m
Al cruce	50 m	120 m

Tabla 4. 12. Distancias mínimas y máximas de vanos.
Fuente. Ministerio de Energía y Minas

4.2.2. Postes

- ✓ Naturaleza. Los postes serán metálicos, de concreto, de madera, o de cualquier otro material de características mecánicas adecuadas a las descritas en 2.2.1.2 y se dimensionarán de acuerdo con las hipótesis de cálculo establecidas en la Tabla 4-II. [4]
 - Cita ítem 2.2.1.2: Naturaleza. Los postes podrán ser de concreto armado, madera, metálicos u otros materiales apropiados, ya sea de material homogéneo o combinación de varios de los citados anteriormente. Los materiales utilizados deberán presentar una resistencia elevada a la acción de los agentes atmosféricos y en el caso de no presentarla por sí mismos, deberán recibir los tratamientos

Función del Poste	Hipótesis de Viento	Hipótesis de desequilibrio
Alineamiento	Cargas Permanentes viento	
Angulo	Cargas Permanentes, Viento, resultante de ángulo	
Anclaje	Cargas permanentes viento	Cargas permanentes, desequilibrio de tiros
Terminal	Cargas permanentes, Viento, Tiro de Conductores	

Tabla 4. 13. Hipótesis de cálculo de postes.
Fuente. Ministerio de Energía y Minas

- ✓ Los materiales utilizados deberán presentar una resistencia elevada a la acción de los agentes atmosféricos. [4]
- ✓ Se tendrá en cuenta en su diseño constructivo, la accesibilidad a todas sus partes por el personal especializado, de modo que pueda ser realizada fácilmente la inspección y conservación del poste. [4]
- ✓ Los postes serán identificados por la especie de madera, grupo, clase y su longitud, así como por el tratamiento preservador administrado, con indicación del año en que fue realizado. [4]
- ✓ Los postes deberán ser de talla recta de tal manera que el diámetro del poste disminuya uniformemente. [4]
- ✓ Cimentación de los postes. Los postes deben sujetarse dentro del suelo de tal manera que considerando todas las hipótesis de carga, y las condiciones existentes del suelo, quede asegurada a su estabilidad y se eviten movimientos inadmisibles. Sin embargo los postes de madera y de

concreto pueden ser empotrados directamente siempre que se hayan realizado ensayos comprobatorios de las características reales del terreno. [4]

Tipo de Terreno	Angulo de deslizamiento del terreno (con respecto a la vertical)	Coefficiente de compresibilidad R Kg/m ³
Arena Fina	16°	280
Arcilla húmeda	22°	520
Arena gruesa	30°	670
Arcilla seca	30°	720
Tierra Vegetal (húmeda)	36°	960
Tierra de fácil trabajo medio	48°	2,000
Tierra de fácil trabajo fuerte	55°	3,000
Las presiones máximas admisibles (σ) serán generalmente las siguientes:		
tierra muy fuerte	3 kg/cm ²	
tierra media	2 2.5 kg/cm ²	
tierra húmeda	1 1.5 kg/cm ²	

Tabla 4. 14. Características convencionales de los terrenos.
Fuente: Ministerio de Energía y Minas

- ✓ Los postes de madera se podrán fijar a bases metálicas o de concreto, por medio de elementos de unión apropiados que permitan su fácil sustitución. Estos postes se colocarán directamente en el suelo rellenos con una primera capa de ripio; y luego sucesivas de combinaciones de arena y piedra de dimensiones conveniente. [4]
- ✓ Se tomara en cuenta las cargas permanentes debidas al peso de los distintos elementos como conductores aisladores, postes y accesorios.
- ✓ Viento. La acción del viento actuando perpendicularmente sobre la superficie batida de conductores y postes, de acuerdo con la siguiente expresión. [4]

$$P = K \cdot V^2 \quad [4. 1]$$

Donde:

P = Presión del viento en kg/m²

K = Coeficiente igual a 0.0042 para superficies cilíndricas y 0.007 para superficies planas.

V = Velocidad del viento en km/h

- ✓ Los postes a utilizarse en alumbrado público podrán ser de fierro, concreto, madera o de otro material de características similares, debiendo utilizarse en cuanto sea posible, las instalaciones de líneas aéreas existentes. [4]

- ✓ Los pastorales podrán ir fijados en las fachadas de las casas o en los postes de las redes de distribución. [4]
- ✓ Los postes se instalarán en zonas con las siguientes condiciones ambientales : [4]

Altitud sobre el nivel del mar: hasta 4500 m

Humedad relativa: 50 a 95%

Temperatura ambiente: -15 °C a 30 °C

Precipitación pluvial: moderada a intensa

- ✓ La circunferencia en la parte superior del postes será medido a 25,4 mm (1") debajo de la cabeza. [24] Dirección General de Electricidad, *Especificaciones Técnicas para el Suministro de materiales y equipos de redes secundarias para electrificación rural*, Ministerio de Energía y Minas, Diciembre 2003.
- ✓ La longitud del poste para redes secundarias para electrificación rural, y que utilizan materiales como la madera serán de 8m.
- ✓ Los postes deberán llevar impresa una placa con características legibles e indelebles y en un lugar visible, cuando estén instalados la información siguiente: (Se tomara como referencia características de postes de concreto, ya que el material que se está analizando se puede moldear de manera semejante.)

a) Marca o nombre del fabricante.

b) Designación del poste: l/c/d/D; donde:

l = longitud en m

c = carga de trabajo en daN con coeficiente de seguridad 2.

d = diámetro de la cabeza en mm.

D = diámetro de la base, en mm.

c) Fecha de fabricación

Los agujeros que deben tener los postes, así como sus dimensiones y espaciamientos entre ellos, se muestran en las láminas del proyecto.

- ✓ Cálculo mecánico de estructuras; tienen por objeto determinar las cargas mecánicas en los postes de tal manera que en las condiciones más críticas, es decir a temperatura mínima y máxima de velocidad de viento no se superen los esfuerzos máximos previstos en el Código Nacional de Electricidad Suministro.

Los factores de seguridad respecto a la carga de rotura, en condiciones normales, serán las siguientes:

- Poste de madera 3
- Poste de concreto 2

Formulas aplicables:

- Momento debido a la carga del viento sobre los conductores:

$$MVC = (PV)(L)(f_c)(S Hi) \cos(\alpha/2) \quad [4.2]$$

- Momento debido a la carga de los conductores:

$$MTC = 2(Tc)(S Hi) \sen(\alpha/2) \quad [4.3]$$

$$MVP = [(Pv)(h^2)(Dm + 2Do)]/600 \quad [4.4]$$

- Momento total en condiciones normales:

$$MRN = MVC + MTC + MVP \quad [4.5]$$

- Esfuerzo del poste en la línea de empotramiento en poste de madera:

$$R_H = \frac{MRN}{3.13 \times 10^{-5} x (C)^3} \quad [4.6]$$

- Carga crítica en el poste de madera debida a cargas de compresión:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(kl)^2} \quad I = \frac{\pi Dm^3 Do}{64} \quad [4.7a, b]$$

- Deflexión máxima del poste de madera:

$$\delta = \frac{MRN}{3EI} \leq 4\% \quad [4.8]$$

- Carga en la punta del poste de concreto, en hipótesis de condiciones normales:

$$QN = \frac{MRN}{(hl - 0,15)} \quad [4.9]$$

Donde:

Pv = Presión del viento sobre superficies cilíndricas
 L = Longitud del vano, en m

- T_c = Carga del conductor portante en N
- f_c = Diámetro total del cable autoportante, en m
- a = Ángulo de desvío topográfico, en grados
- D_o = Diámetro del poste en la cabeza, en cm
- D_m = Diámetro del poste en la línea de empotramiento, en cm
- h = Altura libre del poste, en m
- H = Altura de la carga en la estructura con respecto al suelo, en m
- W_c = Masa total del cable autoportante, en kg/m
- WAD = Peso de un hombre con herramientas, igual a 100 kg
- C = Circunferencia del poste en la línea de empotramiento, en cm
- E = Módulo de Elasticidad del poste, a kN/cm²
- I = Momento de inercia del poste, en cm⁴
- l = Altura respecto al suelo del punto de ubicación de la retenida en el poste.
- K = Factor que depende de la forma de fijación de los extremos del poste.

- ✓ Los postes serán seleccionados de acuerdo al grupo y clase, de madera, que no excedan los esfuerzos y cargas de rotura consignados de la siguiente manera: Cuadro de Carga de Rotura de los Postes de Madera: [4]

Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga de rotura por flexión estática (kg)	2,040	1,680	1,360	1,090	860	680	550	450	340	170

Tabla 4. 15. Cargas de rotura por flexión estática.
Fuente: Ministerio de Energía y Minas

4.2.3. Retenidas

- ✓ Las retenidas se utilizarán en los casos en que los esfuerzos actuantes conduzcan a postes de costo muy elevado, o en aquellos que por ampliación de las instalaciones, dé lugar a un aumento de esfuerzos sobre los postes. [4]
- ✓ En lo referente a la carga de rotura mínima, ésta será de 1,400kg. [4]

4.2.4. Accesorios para postes, aisladores y retenidas

- ✓ **Perno con gancho:** Serán de acero forjado y galvanizado en caliente, tendrán 16 mm de diámetro y longitudes de acuerdo a las láminas del proyecto. La carga mínima de rotura a la tracción será de 8 kN. [24]
- ✓ **Pernos Maquinados:** Los pernos serán de 13 mm de diámetro y longitudes de acuerdo a las láminas del proyecto. Las cargas de rotura mínima serán de 35 kN. [24]
- ✓ **Perno-ojo:** Será de acero forjado, galvanizado en caliente, de 255 mm de longitud y 16 mm de diámetro. [24]

- ✓ **Portalínea Unipolar:** para aislador tipo carrete Será de acero galvanizado en caliente y fabricado de plancha de 38 mm x 4,76 mm (2- 1/2" x 3/16"). [24]
- ✓ **Pastoral:** El pastoral para el soporte de luminarias, será fabricado de tubo de acero galvanizado en caliente. El diámetro interior del tubo será 38 mm, con un espesor mínimo de 3 mm. La superficie interna del tubo será bituminada con asfalto industrial líquido grado 200. [24]

El pastoral se fijará al poste mediante abrazaderas fabricadas con platina galvanizada de 50 mm x 3 mm y accesorios, las cuales formarán parte de los suministros. [24]

- ✓ **Perno angular con ojal guardacabo:** Será de acero forjado y galvanizado en caliente, de 203 mm de longitud y 16 mm de diámetro. [24]
- ✓ **Contrapunta:** Será fabricada de tubo de acero galvanizado de 50 mm de diámetro y 6 mm de espesor. En un extremo estará soldada a una abrazadera para fijación a poste y en el otro extremo estará provisto de una grapa de ajuste en "U" adecuada para fijar el cable de acero de la retenida. La abrazadera se fabricará con platina de 102 x 6 mm y tendrá 4 pernos de 13 mm de diámetro y 50 mm de longitud. [24]

Otros datos de esfuerzos mecánicos, dependerán de las hipótesis que más adelante sean consideradas, cuando se desarrolle el análisis matemático, en el cual se buscare representar varios escenarios de trabajo y esfuerzos.

4.2.5. Zona de trabajo

La propuesta del diseño de poste armable para redes de distribución rural en una región alto andina estará diseñada con un material que soporte cambios climatológicos y estos no afecten el desempeño de dicha estructura, por lo que al detallar una zona rural se mencionan los diferentes pisos altitudinales como a continuación se mencionan, específicamente las temperaturas ambientales a las cuales trabajará:

- ✓ **Piso cálido:** (1.000 a 2.000 m.s.n.m.) con temperaturas medias entre 17 y 19°C.
- ✓ **Piso Templado:** (2.000 a 3.500 m.s.n.m.), la temperatura media es de 10 a 16°C, las máximas oscilan en 29°C por la mayor exposición al Sol de algunos lugares, y las mínimas entre 7 y 4,4°C bajo cero.
- ✓ **Piso Templado Frío:** (3.500 a 4.000 m.s.n.m.) su temperatura media está comprendida entre 7 y 10°C, mientras las máximas oscilan entre 19 y 22,5°C.

- ✓ **Piso Frío: (4.000 a 5.000 m.s.n.m.).** La temperatura media anual es superior a 3°C e inferior a 6°C.
- ✓ **Piso Muy Frío: (5.000 a 6.746 m.s.n.m.),** sus temperaturas se pueden comparar con las que caracterizan a las zonas polares periféricas.

De acuerdo a las características de trabajo de la madera plástica, y comparándolas con las temperaturas de los pisos altitudinales podemos reflejar lo siguiente: la máxima resistencia a baja temperatura en la madera plástica se da a los -75°C, y de acuerdo a los pisos altitudinales la temperatura más baja a la cual el material podría trabajar será de -4.4°C, por lo que el material trabajara adecuadamente. La temperatura máxima donde el material puede perder características de trabajo y por ejemplo ablandarse será a una temperatura 124°C, y de acuerdo a las temperaturas en los pisos altitudinales, por ser ambientes fríos su máxima temperatura será de 22.5°C, por lo que el material no se verá afectado en sus características, y trabajara adecuadamente.

Referenciando a las especificaciones técnicas que emite **MINEM- Dirección General de Electricidad – Perú)** “Especificación Técnica ETS-LP 29” señala los siguientes parámetros ambientales:

a. Altura sobre el nivel del mar	4 500 m
b. Humedad	50 a 95 %
c. Temperatura máxima y mínima	40°C y – 15°C
d. Precipitación Pluvial	Moderada intensa

Tabla 4. 16. Condiciones ambientales..

Fuente: <http://www.minem.gob.pe/archivos/prepublicacion-s40zdr7z2n42870.pdf>

Este recuadro refleja lo mencionado anteriormente, el material trabajara en condiciones normales, es decir las temperaturas no afectaran en sus características y funcionalidad del poste a base de maderas plásticas.

Referenciando a las especificaciones técnicas que emite **LikiNormas(Codensa – España)** “ET205 Postes de fibra ESPECIFICACIÓN TÉCNICA” señala los siguientes:

4.2.6. Requerimientos técnicos y particulares

Entre otras características los postes debe tener las que se indican a continuación: [25]

- ✓ Resistir los rayos solares
- ✓ Evitar propagar la llama
- ✓ Rigidez dieléctrica elevada
- ✓ Alta dureza
- ✓ Alta resistencia a la tracción y a la flexión.
- ✓ Resistente a los químicos y ácidos.
- ✓ Debe ser libre de mantenimiento.
- ✓ No debe contener elementos que sirvan de alimento o permitan ser atacadas por microorganismos.

- ✓ Los postes deben tener en la cima y en la base una tapa que puede ser fija o removible. Excepción: Para los postes de AP ó de 250 kgf no se quiere tapa en la parte superior.
- ✓ En el caso de los postes embonados debe incluir marcación clara para su correcto acople, también debe anexar las instrucciones de instalación.
- ✓ Todos los orificios indicados en la figura 1 deben tener tapones removibles, los cuales podrán ser fabricados en material sintético, PVC, plástico o caucho resistente a la radiación solar.
- ✓ Vida útil de 25 años o mayor
- ✓ El acabado exterior del poste debe ser de color gris RAL serie 70, similar al RAL 7004.

4.2.7. Cargas mínimas de rotura

[25] Likinormas Codensa, “ET205 Postes de Fibra, Especificación técnica”, 2018. [online] Disponible en: <http://likinormas.micodensa.com>, España.: Se establecen las siguientes cargas mínimas de rotura para todos los postes de fibra incluidos en esta norma:

- ✓ 250 kg
- ✓ 510 kg
- ✓ 750 kg
- ✓ 1 050 kg
- ✓ 1 350 kg

4.2.8. Cargas de trabajo [25]

Carga de diseño	Carga de Trabajo
250 kg	100 kg
510 kg	204 kg
750 kg	300 kg
1050 kg	420 kg
1350 kg	540 kg

Tabla 4. 17. Cargas de trabajo
Fuente: <http://likinormas.micodensa.com> (España).

4.2.9. Longitud de Enterramiento

Para definir la longitud de empotramiento, se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$H_1 = 0.1H + 0.60 (m) \quad [4.10]$$

H_1 = Longitud de empotramiento (m).

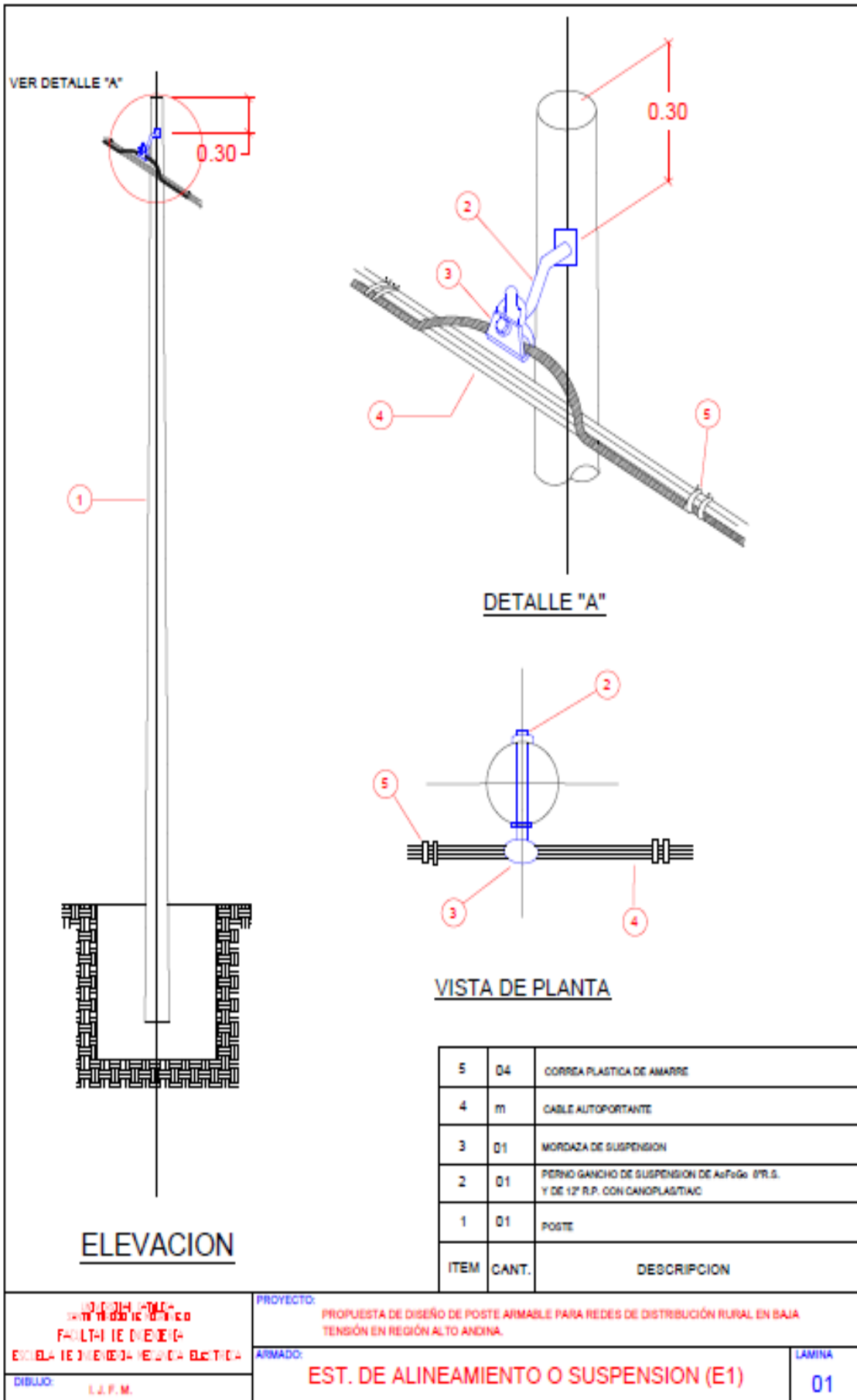
H = Longitud total del poste (m).

4.2.10. Armados de estructuras para redes secundarias

A continuación se presentara los armados que se utilizan en redes de distribución rural en baja tensión, citados armados servirán de apoyo para evaluar la propuesta de diseño del poste armable, debido que aquí se podrá visualizar como se ejercen las fuerzas, además que estos armados son normalizados por la Dirección General de Electricidad.

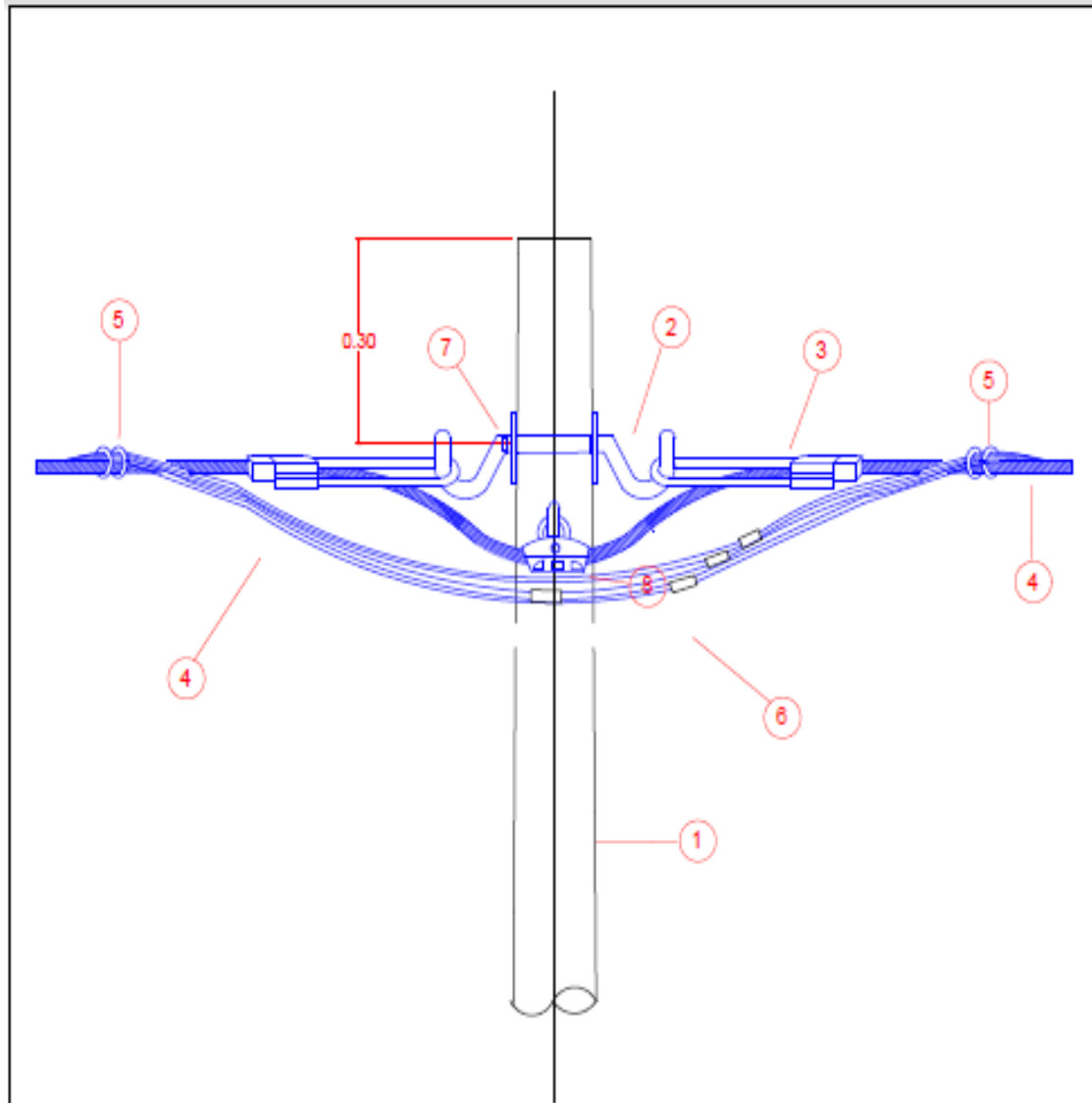
- ✓ Estructura de alineamiento y ángulo para red aérea con conductores autoportante (E1).
- ✓ Estructura de cambio de sección para red aérea con conductor autoportante (E2)
- ✓ Estructura de extremo de línea con conductores autoportante (E3).
- ✓ Estructura de fin de línea con derivación con conductores autoportante (E4).
- ✓ Estructura de alineamiento con derivación para red aérea con conductor autoportante (E5).
- ✓ Estructura de anclaje y/o derivación para red aérea con conductores autoportante (E6).
- ✓ Estructura de acometidas domiciliarias para red aérea con conductores autoportante - configuración: larga.
- ✓ Estructura de redes de distribución secundaria retenida inclinada.
- ✓ Estructura de redes de distribución secundaria retenida vertical.
- ✓ Estructura de pastoral y accesorios para alumbrado público, detalle de poste de concreto.

Mencionadas armados de estructuras se detallan a continuación, de acuerdo a lo señalado en el detalle de armados del código de electricidad, además en dichos detalles se adjuntan la ferretería eléctrica por cada tipo de armado, mencionadas láminas se han verificado para visualizarse de manera correcta en el presente proyecto de investigación:



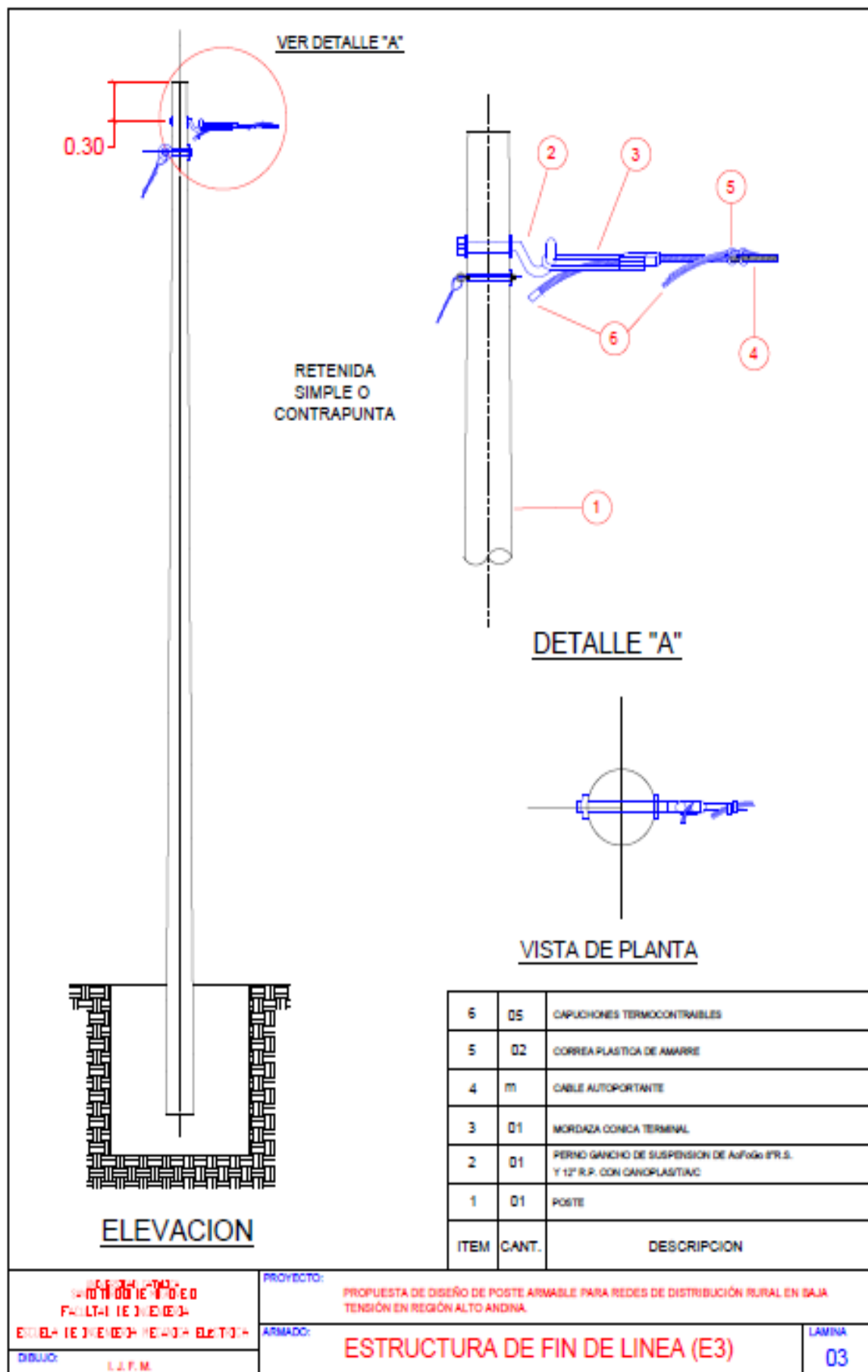
UNIVERSIDAD NACIONAL
 DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD
 DIBUJO: L.J.F.M.

PROYECTO: PROPUESTA DE DISEÑO DE POSTE ARMABLE PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN RURAL EN BAJA TENSIÓN EN REGIÓN ALTO ANDINA.
 ARMADO: EST. DE ALINEAMIENTO O SUSPENSION (E1)
 LAMINA: 01



8	01	MORDAZA DE SUSPENSION
7	01	TUERCA GANCHO DE A ₂ FeG ₂
6	05	CONECTOR DE DERIV. CUÑA + MANTA TERMOCOCTRABLE
5	04	CORREA PLASTICA DE AMARRE
4	und.	CABLE AUTOPORTANTE
3	02	MORDAZA CONICA TERMINAL
2	01	PERNO GANCHO DE SUSPENSION DE A ₂ FeG ₂ (P.R.S. Y 12" R.P. CON CANOPLASTIAC
1	01	POSTE
ITEM	CANT.	DESCRIPCION

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO INSTITUTO TECNOLÓGICO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA ELÉCTRICA	PROYECTO: PROPUESTA DE DISEÑO DE POSTE ARMABLE PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN RURAL EN BAJA TENSIÓN EN REGIÓN ALTO ANDINA.	LAMINA 02
	AFIRMADO: ESTRUCTURA DE CAMBIO DE SECCION (E2)	
DRUJO: L. J. P. M.		

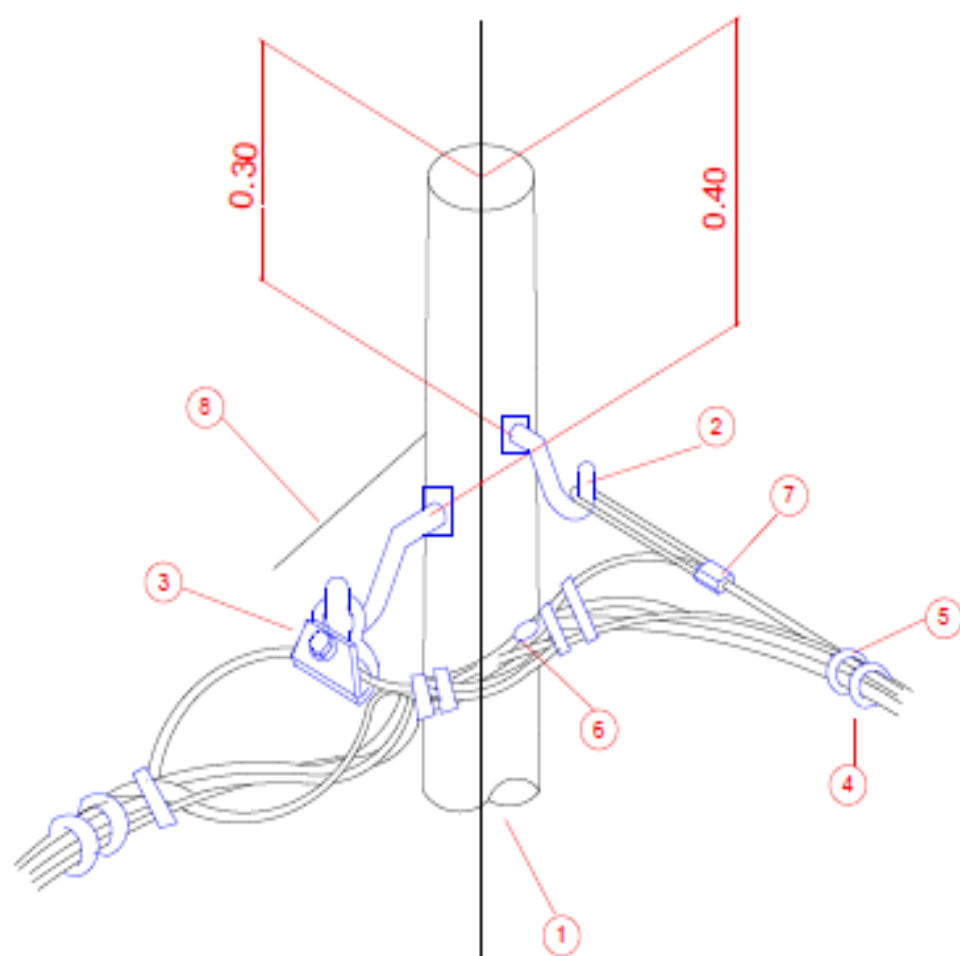


INSTITUCIÓN DE INVESTIGACIONES Y
 FORTALECIMIENTO DE LA
 ELECTRICIDAD RURAL
 DIBUJO: L. J. P. M.

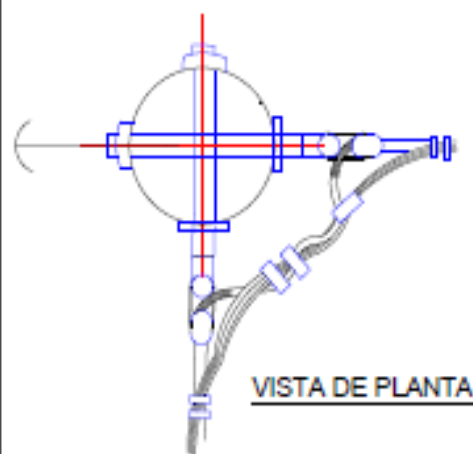
PROYECTO: PROPUESTA DE DISEÑO DE POSTE ARMABLE PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN RURAL EN BAJA TENSIÓN EN REGIÓN ALTO ANDINA.
 ARMADO:

ESTRUCTURA DE FIN DE LINEA (E3)

LAMINA
03



VISTA ISOMETRICA



VISTA DE PLANTA

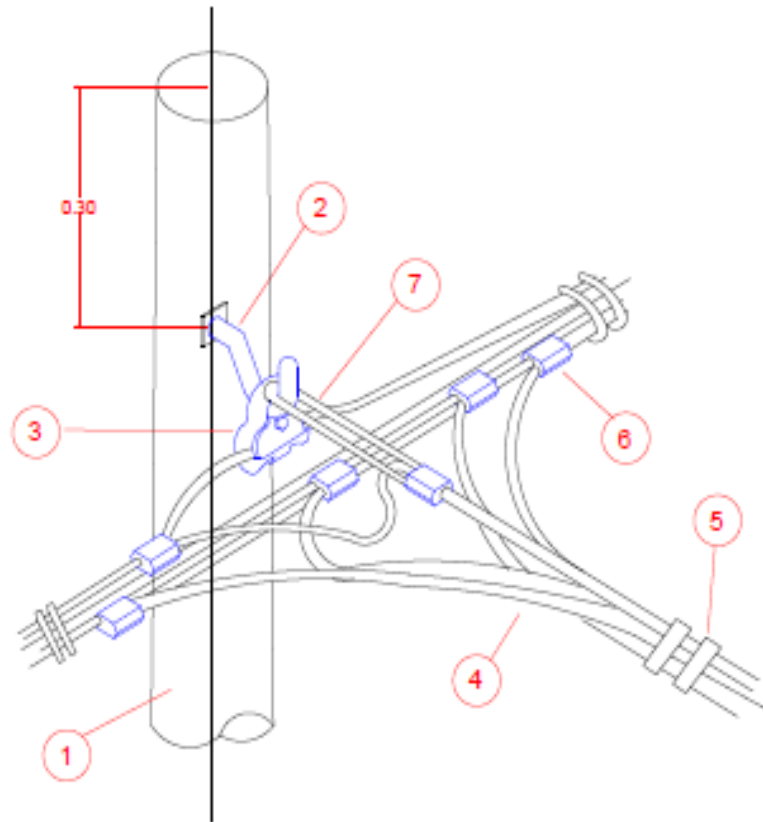
8	01	RETENIDA
7	01	MORDAZA CONICA TERMINAL
6	01	CONECTOR - MANTA TERMOCONTRACTIL
5	06	CORREA PLASTICA DE AMARRE
4	m	CABLE AUTOPORTANTE
3	01	MORDAZA DE SUSPENSION
2	02	PERNO GANCHI DE SUSPENSION DE AcPrAlu (P.R.S. Y DE 12(Y.P.) CON GANCHO PLASTIC
1	01	POSTE
ITEM	CANT.	DESCRIPCION

INSTITUTO VEC
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD
 DIBUJO: L.J.F.M.

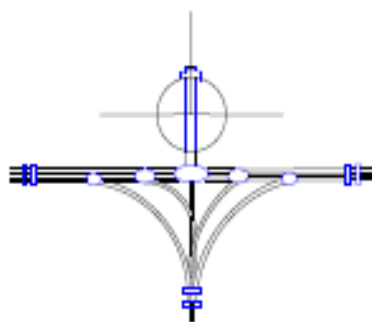
PROYECTO: PROPUESTA DE DISEÑO DE POSTE ARMABLE PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN RURAL EN BAJA TENSIÓN EN REGIÓN ALTO ANDINA.
 ARMADO:

ESTRUCTURA DE ANCLAJE CON DERIVACIÓN (E4)

LAMINA
 04



VISTA ISOMETRICA



VISTA DE PLANTA

7	01	WORDAZA CONICA TERMINAL
6	05	CONECTOR + MANTA TERMOCOCTRABLE
5	06	CORREA PLASTICA DE AMARRE
4	m	CABLE AUTOPORTANTE
3	01	WORDAZA DE SUSPENSIÓN
2	01	PERNO GANCHO DE SUSPENSIÓN DE ALFAROS (PR. 5 / DE 12" (R.P.) CON CROCOPLASTIMO
1	01	POSTE
ITEM	CANT.	DESCRIPCION

UNIVERSIDAD
 DE CORDOBA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 EN INGENIERIA EN ENERGIA ELÉCTRICA

DIBUJO: L. J. F. M.

PROYECTO:

PROPUESTA DE DISEÑO DE POSTE ARMABLE PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN RURAL EN BAJA TENSIÓN EN REGIÓN ALTO ANDINA.

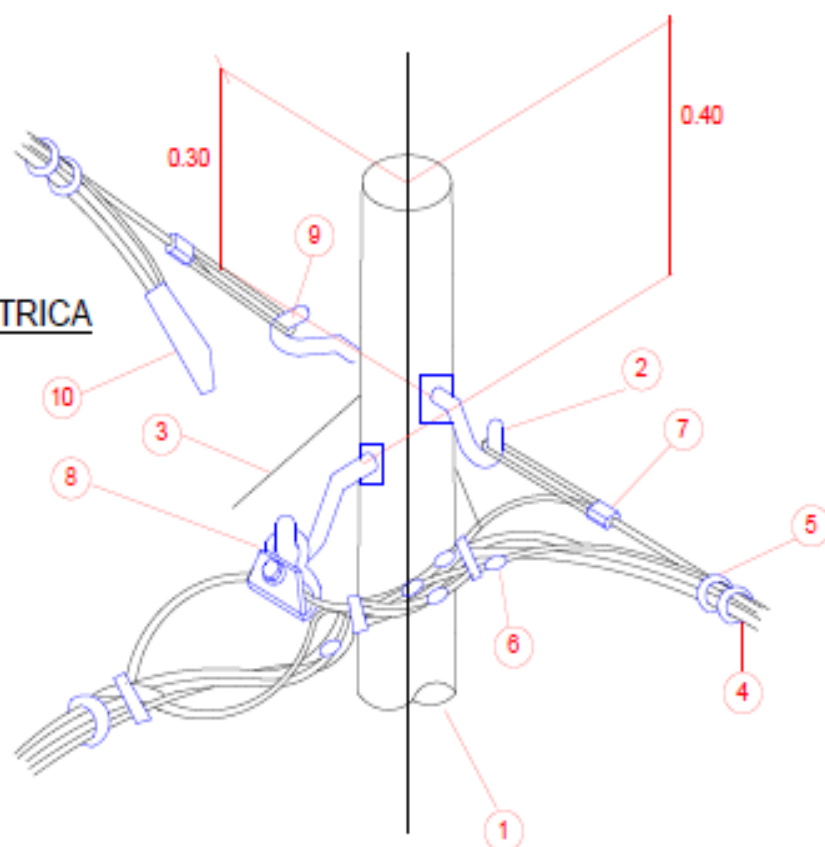
ARMADO:

ESTRUCTURA DE ALINEAMIENTO CON DERIVACION (E5)

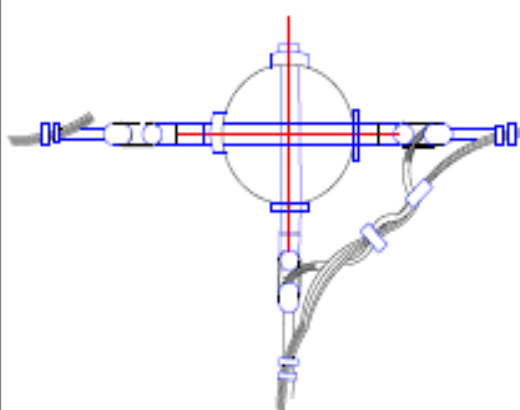
LAMINA

05

VISTA ISOMETRICA

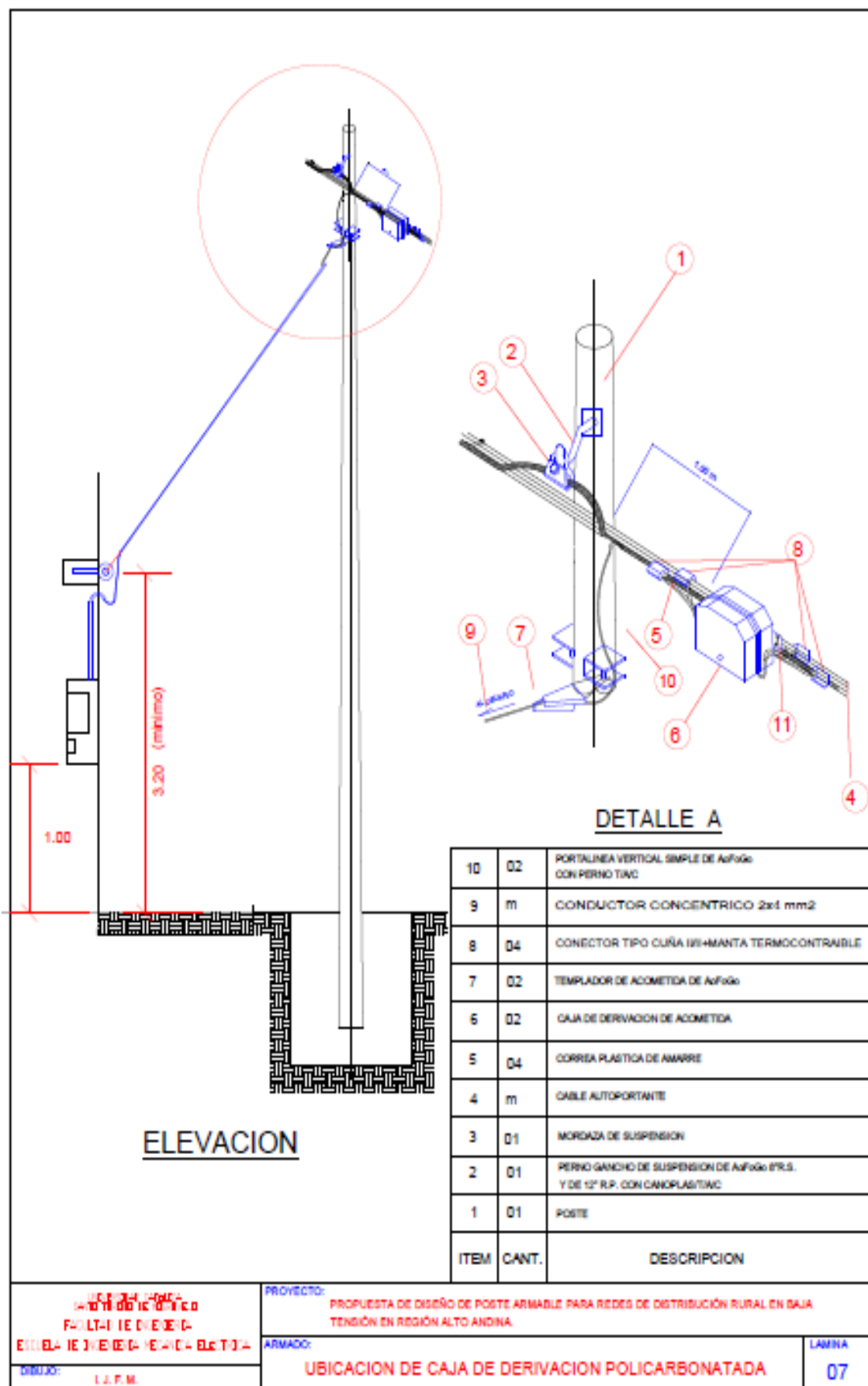


VISTA DE PLANTA

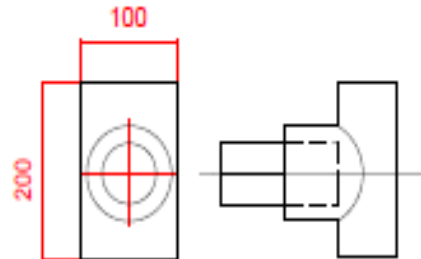
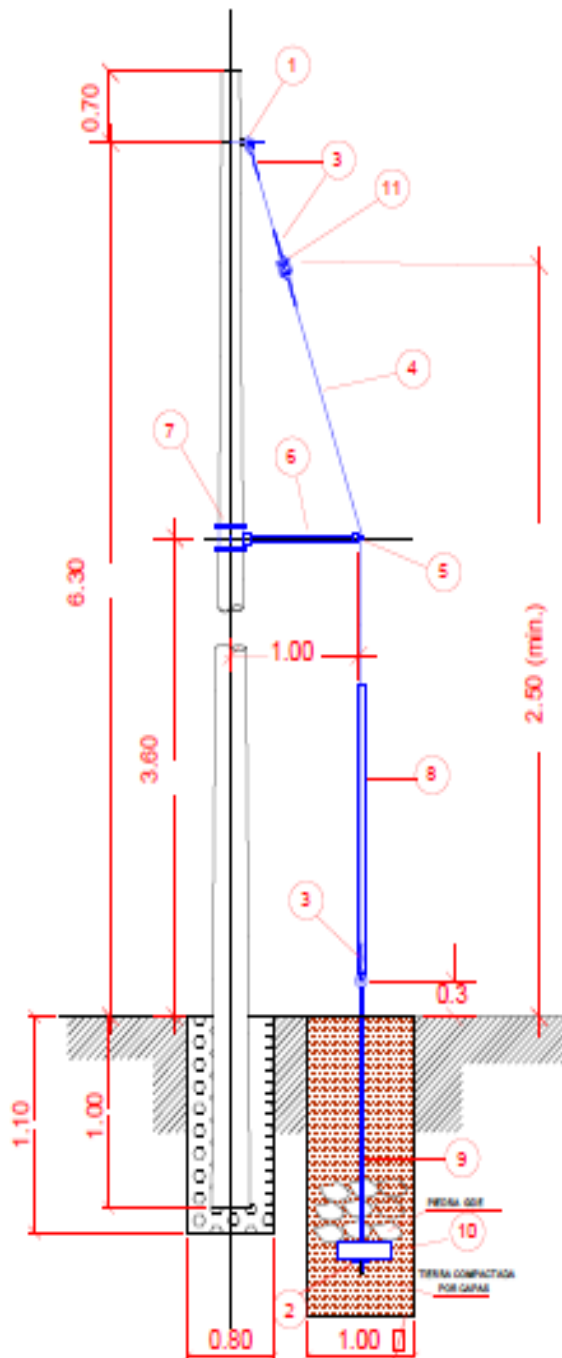


10	05	CAPUCHONES TERMOCONTRACTILES
9	01	TUERCA GANCHO DE AsoFgo
8	01	MORDAZA DE SUSPENSION
7	02	MORDAZA CONCA TERMINAL
6	05	CONECTOR + MANTA TERMOCONTRACTIBLE
5	06	CORREA PLASTICA DE AMARRE
4	m	CABLE AUTOPORTANTE
3	01	RETENIDA SIMPLE O CONTRAPUNTA
2	02	PERNO GANCHO DE SUSPENSION DE AsoFgo 8P.S. Y 12" R.P. CON CANGPLASTIAC
1	01	POSTE
ITEM	CANT.	DESCRIPCION

<p>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CALABAZAR DE LA VIEJA ESCUELA DE INGENIERIA EN ENERGIA ELÉCTRICA</p>	PROYECTO:	ARMADOS DE REDES SECUNDARIAS	
	DIBUJO:	ARMADO:	ESTRUCTURA DE ANCLAJE CON DERIVACION (E6)
L. J. F. M.		LAMINA	06



DETALLE DE CONTRAPUNTA



0.30m a nivel de Terreno
0.20 m a nivel de vereda terminada

ITEM	CANT.	DESCRIPCION
11	01	ARMADOR DE TRACCION CLASE ABR 54.1
10	01	BLOQUE DE CONCRETO 0.40x0.40x0.80
9	01	PLACA DE ANCL. CON CUAL GUARDACABLA DE ALUMINUM 30'x 40'x 10'x TMC
8	01	GUARDACABLE DE ALUMINUM 30'x 40'x 10'x TMC
7	01	FLUJE DE ACERO INOXIDABLE MAS HEBILLA
6	01	CONTRAPUNTA ALUMINUM 30'x 40'x 10'x TMC
5	01	TERMINAL DE CONTRAPUNTA
4	01	CABLE DE ACERO GALVANIZADO 30'x 7 HELOS
3	04	ARMADILLO PREFORMADO DE ALUMINUM 30'x 40'x 10'x TMC
2	02	ARMADILLO CUADRADO DE ALUMINUM 30'x 40'x 10'x TMC
1	01	PERNO CUADRADO CON GUARDACABLE DE ALUMINUM 30'x 40'x 10'x TMC

INSTITUTO VEC
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD
DIBUJO: L. J. P. M.

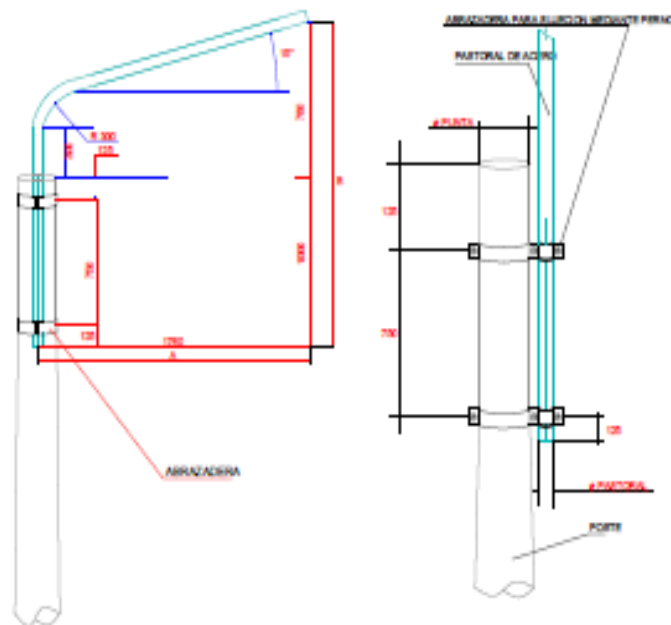
PROYECTO: PROPUESTA DE DISEÑO DE POSTE ARMABLE PARA REDES DE DISTRIBUCION RURAL EN BAJA TENSION EN REGION ALTO ANDINA.

ARMADO:

RETENIDA VERTICAL

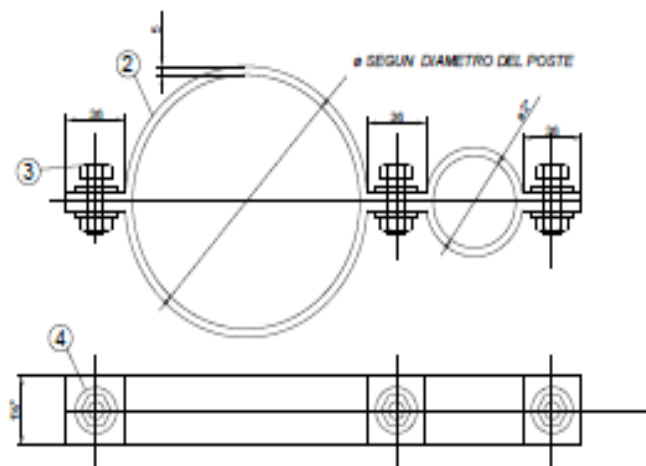
LAMINA

09



USA	DIAMETRO	PLATA DE POSTE	ABRAZADORA	CANTIDAD
INCLINO	Ø	100 mm (ØT)	100 mm	1
			100 mm	1
INCLINO	Ø	100 mm (ØT)	100 mm	1
			100 mm	1
PRESAGA	Ø	100 mm (ØT)	200 mm	1
			200 mm	1
PRESAGA	Ø	100 mm (ØT)	200 mm	1
			200 mm	1

PARA UBICARSE EN LAS UNIDADES DE NEGOCIO I, II, III, IV Y V (NO INCLUYE LAS AVENIDAS PRINCIPALES)



ITEM	CANT.	DESCRIPCION
4	12	ARANDELA PLANA DE 2" DE AGUJERO
3	06	PERNO HEXAGONAL 2" x 3/8" TIA/C
2	02	ABRAZADORA DE A1G" DE 3/16" esp.
1	01	TUBO DE A1G" DE 1 N" x 3.20 mt. (LONG. TOTAL) - PARA PASTORAL

INSTITUCIÓN: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAJÓN FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DIBUJO: L.J.F.M.	PROYECTO: PROPUESTA DE DISEÑO DE POSTE ARMABLE PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN RURAL EN BAJA TENSIÓN EN REGIÓN ALTO ANDINO.	LAMINA 10
	ARMADO: PASTORAL DE A1G". CON ABRAZADORA DE A1G" EN PASTORAL SIMPLE	

4.3. PROPUESTA DE DISEÑO CAD DE POSTE ARMABLE UTILIZANDO HERRAMIENTA SOLIDWORKS (Diseño conceptual)

El proceso de diseño parte del descubrimiento de una necesidad. Puesto que el diseño es fundamentalmente para satisfacer y/o mejorar una tarea necesaria, descubriendo la necesidad es siempre la primera fase en el proceso de diseño. Siempre existirán más necesidades que recursos para satisfacerlas.

4.3.1. Descripción general del proceso de diseño

Descubrimiento del producto. Se aplica al diseño de los sistemas, subsistemas, ensamblajes y componentes. Se aplica a los productos nuevos e innovadores y a los cambios en los productos existentes. Es un mejoramiento al proceso de Vida. [20]

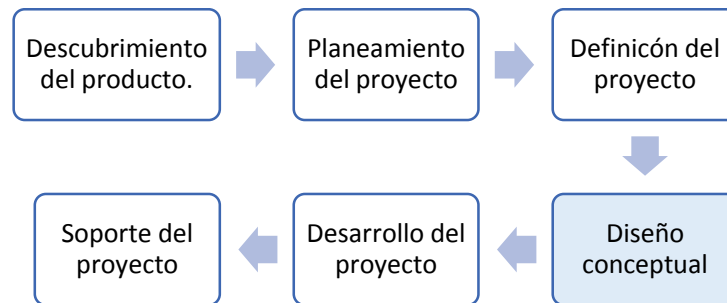


Figura 4. 4. Descripción general del proceso de diseño.
Fuente: *The Mechanical Design Process*, David G. Ullman. (4 Ed.).

4.3.1.1. Descubrimiento del Producto

[20] Antes de que el diseño original o rediseño de un producto pueden comenzar existen tres fuentes primarias para el diseño de proyectos: la tecnología, el mercado y el cambio. *La propuesta del diseño de un poste armable para redes de distribución rural en baja tensión, está insertando la utilización de un nuevo material como tecnología nueva, la cual represente una nueva opción en el mercado para la utilización de postes que serán de mejores características frente a los convencionales.*

✓ Descripción del poste armable:

- Material: madera plástica
- Fabricación: selección de plástico reciclado (termoplásticos), trituración, y extrusión a alta temperatura.
- Módulos: 2
- Tipo de Unión: Por Elementos de acero, y sujeción con pernos.
- Color: Gris.
- Longitud: 8.0 m
- Sección: troncocónico hueco.
- Diámetro cima: 14 cm

- Diámetro base: 32 cm
- Peso: (indicar)
- Carga de Diseño: 250 kgf
- Carga mínima de trabajo: 100 kgf
- Placa: (datos indicar)

4.3.1.2. Planeamiento del Proyecto

Planificar los recursos de dinero de una compañía o un proyecto, equipo de trabajo se puede asignar de manera correcta. Requiere especular acerca de lo desconocido, y eso hace que la planificación de un producto que es similar a un producto anterior sea más fácil que la planificación de uno totalmente nuevo. El objetivo final de las actividades en esta fase es la generación de un conjunto de tareas que deben realizarse y una secuencia para ellos, además es comprender el problema y sentar las bases para el resto del proyecto de diseño.[20]

En el proyecto que se está desarrollando, se propone el diseño de un poste armable, para lo cual se asignaran tareas que determinan la secuencia de trabajo y avance del proyecto.

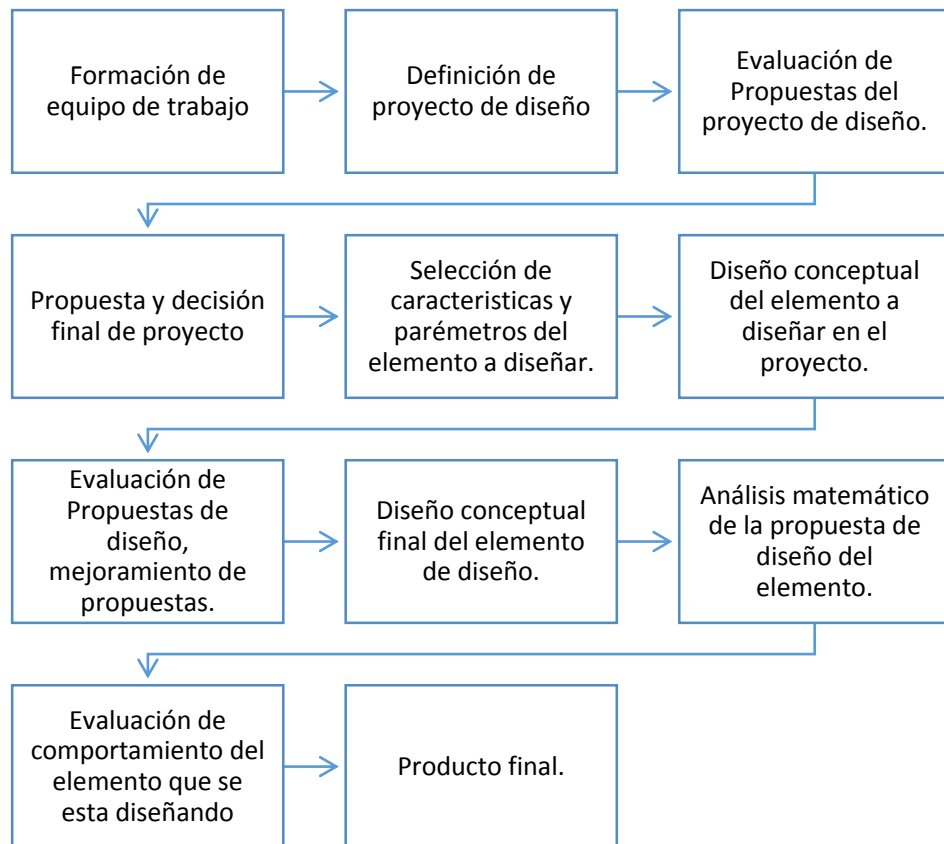


Figura 4. 5. Diagrama de actividades, para definición, evaluación de diseño de un producto.
Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo del planeamiento para el Proyecto de investigación de la propuesta de diseño de un poste armable para redes de distribución rural en baja tensión:

- a. ***Formación de equipo de trabajo:*** El equipo de trabajado en este caso, debido a ser un proyecto de investigación de pre-grado, está conformado únicamente por el autor que viene desarrollando esta investigación.
 - *Planner Diseño:* Irvin Jhoan Fuentes Matta.

- b. ***Definición del Proyecto de diseño:*** El proyecto está definido por la propuesta del diseño de un poste armable para distribución rural en baja tensión. Todas las ideas abordan a buscar una mejora en el diseño de manufactura y montaje de un poste.
 - *Definición del Proyecto:* Propuesta de diseño de poste armable para redes de distribución rural en baja tensión en región alto andina.

- c. ***Evaluación de propuestas de diseño:*** en la evaluación de las propuestas del diseño se han planteado que el poste en su forma no va a variar frente a los convencionales, y al estar proponiendo una mejoría en el poste, se han evaluado detalles que se mencionan a continuación:

Con respecto al material:

- *Material nuevo:* que sea un material no convencional, pero que tenga mejores características.
- *Menos peso:* al buscar un nuevo material, debemos priorizar que este permita que el poste sea más liviano pero de buena resistencia.
- *Facilidad de montaje:* los postes convencionales, para su montaje y traslado son muy pesados, se requieren equipos especiales para su traslado y no arriesgar las características del mismo, por ello se definió un poste armable o modular.
- *Trabajo eficiente:* al proponer el diseño de un poste armable, debemos considerar el que las características de trabajo sean iguales o mejores que la de los postes convencionales, para ser aceptados en el mercado.
- *Bajo costo:* se ha evaluado que el material que se pueda utilizar sea de bajo costo en relación a los materiales convencionales.
- *Durabilidad:* al igual que los postes convencionales que tienen una durabilidad aceptable, este poste a base de un nuevo material deberá tener una durabilidad prolongada y con poco mantenimiento.

Con respecto al diseño:

- *Propuesta 01:* poste de 02 piezas, los módulos serán acoplados por medio de pernos y tuercas. En el módulo de la punta del poste se moldeara un orificio hueco para el acople con el módulo de la base del poste, el cual estará fabricado con una extensión en la cual se insertara en el módulo de la punta. Cabe decir que los módulos se sujetaran por medio pernos y tuercas.

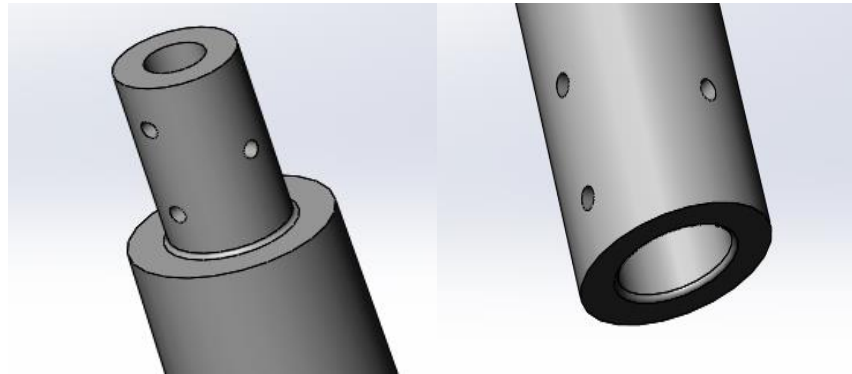


Figura 4. 6. Bosquejos de unión de poste, propuesta 01
Fuente: Elaboración propia.

- *Propuesta 02:* poste de 02 piezas, los módulos serán acoplados por medio de elementos de acople, fabricados a base de acero galvanizado, los cuales tendrán la misma forma de poste, donde estéticamente no habrán superficies sobresalientes en el cuerpo del poste. Los elementos de acople serán embebidos durante la fabricación del poste. En el módulo de la punta del poste el acople será de forma piramidal, y el elemento de acople de la base será por medio de un disco y 06 pernos, los cuales vendrán embebidos con las base del poste; estarán sujetos por medio de tuercas.

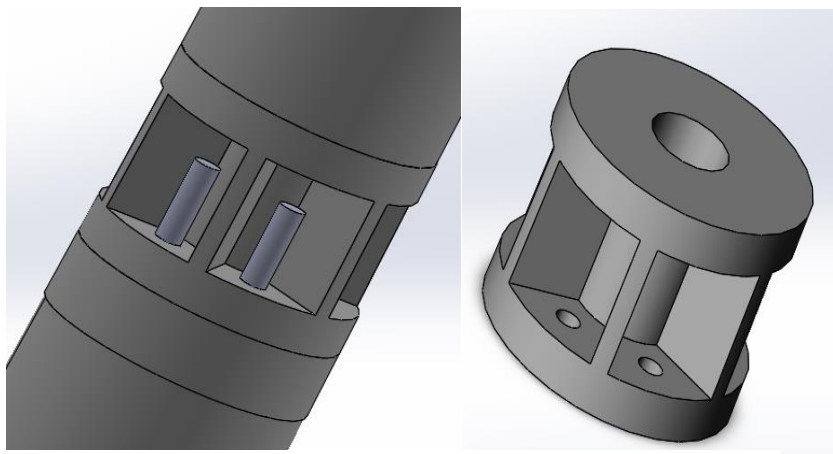


Figura 4. 7. Bosquejos de unión de poste, propuesta 02
Fuente: Elaboración propia.

- *Propuesta 03:* poste de 02 piezas, los módulos serán acoplados por medio de elementos de acople, fabricados a base de acero

galvanizado, los cuales tendrán la forma de discos, donde se tendrá una pequeña superficie circular sobresalientes en el cuerpo del poste. Los elementos de acople serán embebidos durante la fabricación del poste. En el módulo de la punta y la base, serán acoplados por medio de 08 pernos y terminaran de sujetarse por medio de tuercas.

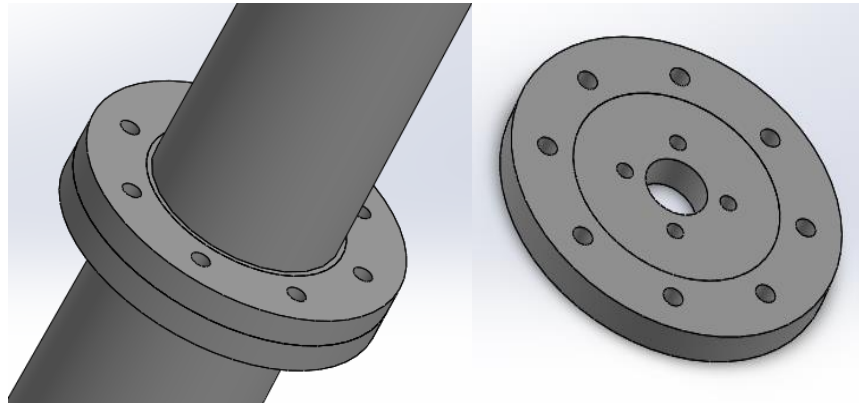


Figura 4. 8. Bosquejos de unión de poste, propuesta 03
Fuente: Elaboración propia.

- d. **Propuesta y decisión final:** de acuerdo a la evaluación que se ha realizado con respecto al tipo de material que se deberá utilizar para el diseño del poste que se está proponiendo, con el cual se han analizado materiales como la fibra de vidrio como primera propuesta, pero esta no es de un bajo costo, por lo que ello sería un punto en contra, otro material propuesto y evaluado es el de madera plástica, a base de polímeros reciclados remanufacturados, los cuales no son muy costos, y poseen buenas características de trabajo.

Con respecto al material:

- **Propuesta y decisión final:** de acuerdo a las evaluaciones analizadas, se define como material base de trabajo la **madera plástica**.

Con respecto al material:

Para el proyecto se están considerando el diseño 02 debido a que se quieren llegar a evaluar su comportamiento por medio de la simulación y comparar cual es la diferencia de comportamiento en los acoples.

- **Propuesta y decisión final:** se ha considerado la propuesta 02 para el diseño del poste.

- e. **Selección de características y parámetros del elemento:** las características y parámetros del elemento que se están considerando

para el diseño del poste están basados a partir del código nacional de electricidad.

- *Parámetros a considerar:*
 - Material: madera plástica
 - Fabricación: selección de plástico reciclado (termoplásticos), trituración, y extrusión a alta temperatura.
 - Módulos: 2
 - Tipo de Unión: Por Elementos de acero, y sujeción con pernos.
 - Color: Gris.
 - Longitud: 8.0 m
 - Sección: troncocónico hueco.
 - Diámetro cima: 14 cm
 - Diámetro base: 32 cm
 - Peso: (indicar)
 - Carga de Diseño: 250 Kgf
 - Carga mínima de trabajo: 100 Kgf
 - Placa: (datos indicar)

f. **Diseño conceptual del proyecto:** como se ha visualizado en el ítem c, las propuestas del diseño del poste armable se han realizado con la herramienta SolidWorks, en el ítem en mención las propuestas debieron realizarse como dibujos o bosquejos, pero para mejor entendimiento los diseños se representaron ya utilizando la herramienta CAD.

- *Diseño conceptual:* se presentan los diseños conceptuales de las dos propuestas definidas en los ítems anteriores.

Propuesta 02

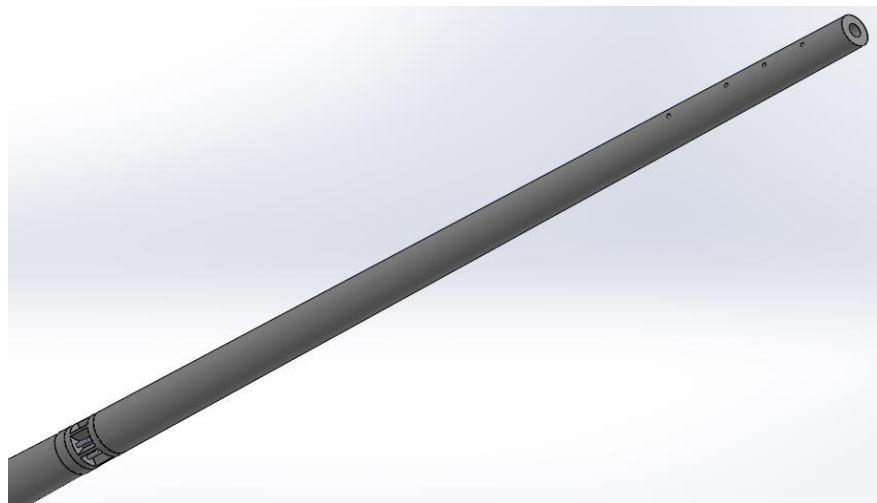


Figura 4. 9. Propuesta de poste, alternativa 02.
Fuente: Elaboración propia.

- g. **Mejoras del proyecto:** Las mejoras de la propuesta del proyecto han sido en mejorar la forma del tipo de uniones de acople, además de incrementar en número de orificios en la punta del poste de acuerdo a la necesidad del mercado, con la finalidad de realizar los armados de manera correcta y sin tener que realizar perforaciones posteriores al poste ya fabricado.
- h. **Diseño Conceptual final del proyecto:** el diseño final conceptual del proyecto será el ya citado en el ítem f, con el cual se busca sustentar que el material puede llegar a ser una variante de los materiales convencionales y en futuro un material sustituyente en un 70% para montajes electromecánicos.
- i. **Análisis matemático de la propuesta:** el análisis matemático de la propuesta del diseño de un poste armable se visualizara a mayor amplitud en el desarrollo del siguiente objetivo.
- j. **Evaluación del comportamiento del elemento:** la evaluación del comportamiento de la propuesta del diseño del poste armable se visualizara a mayor amplitud en el desarrollo del objetivo de Simulación CAE, que se realizara al diseño conceptual utilizando como herramienta de análisis al programa SolidWorks Simulación.
- k. **Producto final:** Al finalizar los análisis correspondientes de acuerdo a las evaluaciones que se van a realizar en los objetivos posteriores, se tendrá el producto final en cuanto a propuesta de diseño, más no a nivel de manufactura cabe hacerlo mención. En este proyecto de investigación se está analizando el comportamiento del material escogido y por medio de herramientas de evaluación a nivel simulación se pretende tener un conocimiento más cercano y acertado a una posible realidad, y de este modo en un posterior estudio poder manufacturar la propuesta que se está planteando actualmente.

4.3.1.3. Definición del producto

[20] El objetivo es comprender el problema y afirmar las bases para el resto del proyecto de diseño. Entendimiento del problema puede parecer una tarea sencilla, pero como en la mayoría de los problemas de diseño estos son mal definidos. Una de las actividades primordiales es conocer al cliente, a quien va ir dirigido el producto, y que necesidad va a mejorar. Para lo cual también se ha desarrollado una secuencia de actividades que ayudaran a definir de una mejor forma el producto que se está proponiendo rediseñar:

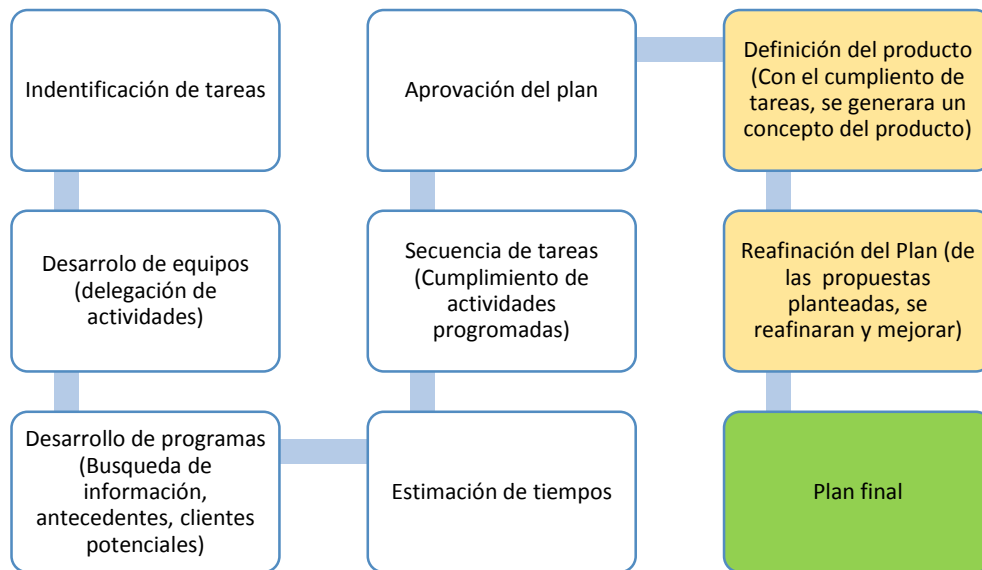


Figura 4. 10. Proceso de definición conceptual.
Fuente: *The Mechanical Desing Process*, David G. Ullman. (4 Ed.).

Desarrollo de la definición del producto para el Proyecto de investigación de la propuesta de diseño de un poste armable para redes de distribución rural en baja tensión:

- a. **Identificación de tareas:** las tareas se seleccionan de acuerdo al planeamiento del proyecto, en cual ya se evaluaron las propuestas y se han ido reafirmando durante el proceso. En este apartado haremos la identificación de las tareas que serán necesarias para el progreso del proyecto.
 - Identificación sector de trabajo.
 - Identificación del cliente.
 - Identificación de estructuras similares de trabajo.
 - Identificación de sectores de obtención de recursos.
 - Identificación de capital humano para los trabajos.
 - Identificación de problemas sociales, ambientales.
 - Investigación de costos de equipos de trabajo.
 - Identificación y estudio de normativa legal vigente.

- b. **Desarrollo de equipos (Delegación de Equipos):** para este proyecto, la delegación de actividades estará encargado y dirigido únicamente por el autor de esta investigación, aclarando que en casos particulares se puede contar con diferentes equipos de trabajo para agilizar actividades y de acuerdo a la magnitud del proyecto.

- c. **Desarrollo de programas (Búsqueda de información):** dentro del estudio que se viene realizando, se han buscado diferentes fuentes de información, asimismo antecedentes de proyectos similares, incluyendo la información correspondiente del material que se ha planteado utilizar e incluyendo los sectores de influencia. Esta

información ha sido detallada en apartados anteriores, respetando un orden, debido a que este proyecto es una investigación de pre-grado. Cabe recalcar que el cliente principal es el *sector eléctrico* en general.

d. **Estimación de tiempos:** los tiempos utilizados para este proyecto, se han considerado desde un ámbito general, es decir desde el momento en que se aprobó el tema de investigación por la Facultad de Ingeniería, siendo la estimación correspondiente la siguiente:

- *Recopilación de información:* 04 meses
- *Evaluación, selección y toma de información:* 04 meses
- *Desarrollo de objetivos, justificación y desarrollo del proyecto:* 06 meses.

e. **Secuencia de tareas:** la secuencia de tareas ha sido desarrollada de acuerdo a un cronograma basado en las normas de una investigación de pre-grado, por lo se han tomado fechas no específicas, sino de una manera general con correlatividad a los tiempos establecidos por el ente supervisor de este proyecto, para el caso, la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

- *Recopilación de información:* Marzo – Junio, 2015
- *Evaluación, selección y toma de información:* Agosto – diciembre, 2015.
- *Desarrollo de objetivos, justificación y desarrollo del proyecto:* Febrero – junio, 2016.

f. **Aprobación del plan:** el plan ha sido aprobado de acuerdo con lo planificado y señalado anteriormente, por lo que se ha podido continuar correctamente con las tareas específicas en los tiempos establecidos y respetando los procesos adecuados.

g. **Definición del producto:** de acuerdo a los procesos antes citados, se ha definido que el producto sea un elemento mejorado de un poste, basando esta mejoría en un nuevo material con cualidad de trabajo adecuadas, y sobre todo buscando que económicamente sea más rentable con los postes convencionales cuando se posicione en el mercado. Este poste será armable o modular, constituido de dos piezas.

h. **Refinación y plan final:** el plan final consiste en evaluar el comportamiento del modelo conceptual considerado para este proyecto en cuando a la propuesta del diseño de un poste armable a base de maderas plásticas, para ello se utilizara la simulación CAE basado en los parámetros matemáticos, para posteriormente

corroborarlos utilizando como herramienta de análisis SolidWorks Simulation. Se está respetando todo lo planificado en los ítems ya citados anteriormente, mejorando en cada proceso la recopilación de información, la identificación de tareas y sobre todo el proceso de evaluación del diseño.

Antes de iniciar con el diseño conceptual del producto, y conociendo que en la *definición del producto* punto donde comprendemos un problema o sale a relucir la necesidad que debemos mejorar, por lo que puntualizaremos la necesidad por la cual se está realizando la investigación del siguiente proyecto, con el cual pretendemos visualizar aún más el punto principal de mejora que se obtendría con la propuesta de diseño de un poste armable para redes de distribución rural en baja tensión en una región alto andina. Mencionado detalle se visualizara por medio de fotografías reales de trabajos realizados en proyectos de Electrificación Rural, donde resaltaremos la complejidad de transportar un poste, en esta ocasión de concreto armado centrifugado con algunos ejemplos.

Caso 01: Proyecto: Instalación del sistema de energía eléctrica en el caserío Lirio Chico, distrito y provincia de Cutervo – Cajamarca

En la imagen adjunta podemos visualizar la descarga de poste de concreto armado centrifugado (cac) que se utilizaron en el proyecto, lo cuales por su peso y dimensiones los trabajos se deben realizar con cuidado, debido a que podemos incurrir en accidentes de trabajo y así mismo perjudicar las características del poste por una mala maniobra. Se debe descargar los postes a filo de carretera donde puede ingresar la grúa y reducir en cierta cantidad el peso con la cual la grúa se trasladara a un lugar más cercano del proyecto.



Figura 4. 11. Descarga de postes de concreto, 8m.
Fuente: Proyecto Eléctrico - Instalación del sistema de energía eléctrica en el caserío Lirio Chico, distrito y provincia de Cutervo – Cajamarca.

Posteriormente se aprovechara aun el acceso de una vía carrozable que está dentro de la zona del proyecto, pero el traslado final de la estructura se realizar por medio de carreta (herramienta de trabajo conocida usualmente como “burríta”) y personal, debido a que el camión grúa ya no podrá acceder al lugar final de ubicación del poste. En el trabajo de

traslado del poste visualizamos que se requieren hasta 14 trabajadores debido a lo agreste del camino y de esto brindar seguridad tanto al personal como mantener las características del poste. Cabe resaltar que los proyectos rurales se caracterizan por la ubicación de sus estructuras muy distantes a carreteras y/o caminos, debido a que las casas de los beneficiarios se ubican distantes unas a otras.



Figura 4. 12. Traslado de postes a su punto de izado.
Fuente: Proyecto Eléctrico - Instalación del sistema de energía eléctrica en el caserío Lirio Chico, distrito y provincia de Cutervo – Cajamarca.

La imagen muestra el traslado de postes por zonas donde ni caminos de herradura existen, lo cual implica más riesgo y costos para el ejecutor.



Figura 4. 13. Traslado de postes a su punto de izado.
Fuente: Proyecto Eléctrico - Instalación del sistema de energía eléctrica en el caserío Lirio Chico, distrito y provincia de Cutervo – Cajamarca.

Otro ejemplo claro donde se pone en riesgo la seguridad del equipo de trabajo y las características del poste por una mala maniobra, es la que a continuación se muestra debido a que trasladar postes en por caminos empinados corremos el riesgo de que el peso del poste y un pequeño descuido en alguno caso, este se suelte de los cables de sujeción y se deslice sin control, pudiendo causar daños humanos y materiales, y en sí que el poste quede inutilizable.



Figura 4. 14. Traslado de postes a su punto de izado.
Fuente: Proyecto Eléctrico - Instalación del sistema de energía eléctrica en el caserío Lirio Chico, distrito y provincia de Cutervo – Cajamarca.

Al momento de izaje de los poste, también se muestra un riesgo latente, debido a que los trabajos no se pueden realizar con un camión grúa debido al no existir acceso, quedando como alternativa trabajar con equipos no convencionales, por lo que el peso del poste lo hace peligroso, además que los elementos de soporte pueden resbalar y esto ocasionaría un aplastamiento y en algunos casos la quebradura del poste o fisuras que perjudican el rendimiento de la estructura.



Figura 4. 15. Izado de postes de cac, 8m.
Fuente: Proyecto Eléctrico - Instalación del sistema de energía eléctrica en el caserío Lirio Chico, distrito y provincia de Cutervo – Cajamarca.

Caso 02: Proyecto: Ampliación del servicio de energía rural en la comunidad de Chugur, distrito y provincia de Cutervo - Cajamarca

Al igual que en el caso 01, los postes serán acercados lo más posible a sus puntos de izaje con apoyo del camión grúa, para así facilitar su traslado y reducir costos durante la ejecución. Pero una constante es el que haya pocos accesos para llegar a los beneficiarios.



Figura 4. 16. Recepción de postes de CAC 8m.
Fuente: Proyecto: Ampliación del servicio de energía rural en la comunidad de Chugur, distrito y provincia de Cutervo - Cajamarca.

En este proyecto los trabajos de traslado han sido más dificultosos debido a lo agreste de sus geografía, y las condiciones de algunos caminos de herradura con los que cuenta la comunidad beneficiaria en este proyecto, incluso se han tenido que incluir otros métodos y elementos para facilitar el traslado de lo poste a su punto de izaje. A continuación mostraremos un camino pedregoso, donde se han realizado dos frentes de trabajo hasta un punto accesible y luego juntar estos equipos de trabajo, haciendo un total de 24 trabajadores y movilizar el poste en peso o en otras palabras al aire, lo cual implica un riesgo alto para los trabajadores, sin descartar que el poste está en riesgo debido al rose con piedras lo que perjudican de algún modo sus características.



Figura 4. 17. Traslado de postes a su punto de izado.
Fuente: Proyecto: Ampliación del servicio de energía rural en la comunidad de Chugur, distrito y provincia de Cutervo - Cajamarca.

Punto de unión de los equipos de trabajo, sería innecesario pensar por qué no se han provisto otros métodos de traslado, se han estudiado, pero por la poca colaboración de la comunidad que ya es beneficiada con el servicio pone trabas para la continuación de los trabajos.



Figura 4. 18. Traslado de postes a su punto de izado.
Fuente: Proyecto: Ampliación del servicio de energía rural en la comunidad de Chugur, distrito y provincia de Cutervo - Cajamarca.

Por las dificultades geográficas, los equipos de trabajo se juntan, haciendo un total de 24 trabajadores, además por el recorrido se trasladaron tres (03) poste al día, lo que conlleva al final del día a no ser beneficioso debido a que tienes más personal del planteado y poco avance en los trabajos. Para más detalle se visualizara en la imagen siguiente.



Figura 4. 19. Traslado de postes a su punto de izado, inexistencia de caminos.
Fuente: Proyecto: Ampliación del servicio de energía rural en la comunidad de Chugur, distrito y provincia de Cutervo - Cajamarca.

Además de aumentar la cantidad de personal de trabajo, se han tenido que tomar decisiones rápidas y adicionar otros mecanismos de apoyo para mejorar y agilizar el traslado de postes hasta su punto de izaje, tal es el caso de alquilar yuntas (02 toros robustos), los cuales apoyados con el personal ejercían la fuerza necesaria para poder

culminar los trabajos, y mostrar avance significativo y respetar los tiempos programados durante la ejecución de la obra.



Figura 4. 20. Traslado de postes a su punto de izado. Uso de ganado para trabajos.
Fuente: Proyecto: Ampliación del servicio de energía rural en la comunidad de Chugur, distrito y provincia de Cutervo - Cajamarca.

Visualizando los dos casos, hemos podido constatar que el movilizar el poste de cac a su punto de izaje es tan dificultoso como costoso, lo que puede reflejar que ocurran accidentes laborales si no se toman las medidas necesarias, sin dejar de lado el costo elevado que sobrepasan los calculados en las planillas de metrado. Es por ello que realizar el proyecto de investigación de la propuesta de diseño de un poste armable para redes de distribución rural en baja tensión en una región alto andina, puede mejorar significativamente los trabajos de traslado y montaje electromecánico, no solo en la manejabilidad de tiempos sino también de costos. El proceso de análisis se seguirá desarrollando a continuación.



Figura 4. 21. Traslado de postes a su punto de izado.
Fuente: Proyecto: Ampliación del servicio de energía rural en la comunidad de Chugur, distrito y provincia de Cutervo - Cajamarca.

4.3.1.4. Diseño conceptual

La utilización de resultados de las fases de planificación y definición del producto para generar y evaluar conceptos para el producto o cambios en un producto favorecen a la decisión final para generar el diseño conceptual. Los conceptos que se han generado son requisitos de clientes potenciales que hacen uso de postes convencionales dentro de sus proyectos, requisitos que sirven como una base para el desarrollo de una base conceptual. [20]

Se han evaluado conceptos, con el objetivo de comparar las nociones generadas a los requisitos desarrollados durante el proceso de definición del producto, por medio de estos se tendrá mayores alternativas, las cuales definirán la elección final. *Se está proponiendo un modelo de poste armable, que tienen como base la estructura convencional de un poste actual, pero la propuesta que se vienen desarrollando varía en el acople de los módulos del poste.*

A continuación se presentan la propuesta del poste armable, el cual será evaluado, para definir el diseño final de esta estructura. Para lo cual se detallan las partes que componen la propuesta:

A. **PROPUESTA POSTE**

La propuesta del diseño del poste estará constituido por dos módulos, los cuales en el montaje se unirán por medio de bridas, los mismos que estarán sujetos mediante pernos y tuercas. Se está planteando utilizar como material base de estudio para el poste la madera plástica, constituido por elementos termoplásticos reciclados.

- ✓ *Base del poste:* Las dimensiones del poste en la base serán de $\varnothing = 32\text{cm}$, con un orificio interior de $\varnothing = 6\text{cm}$, el mismo que servirá para las conexiones que son usualmente para el conductor de puesta a tierra. La base del poste constara con una longitud de 3.9m.

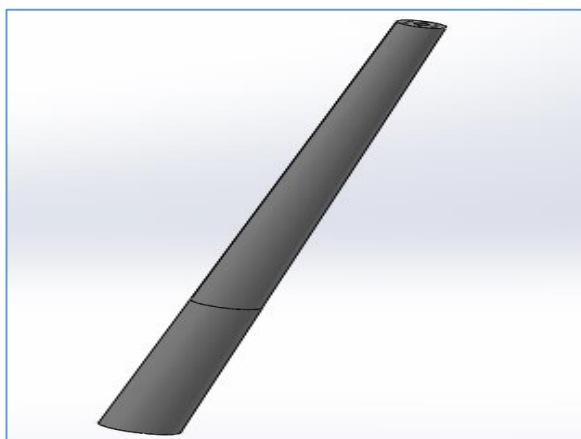


Figura 4. 22. Base poste, propuesta 01.
Fuente: Elaboración propia.

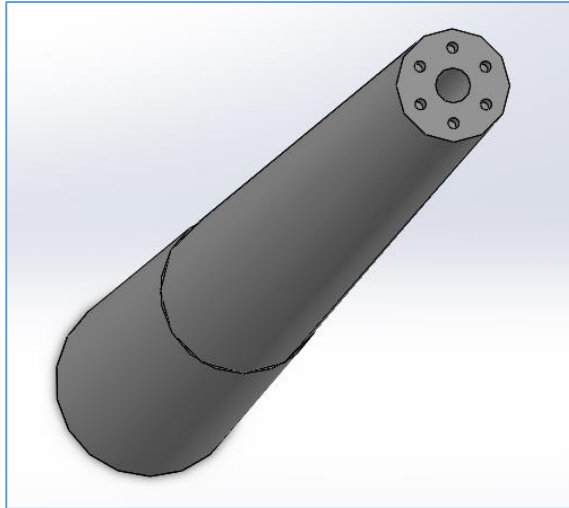


Figura 4. 23. Vista posición de bridas de acople en base el poste, propuesta 01.
Fuente: Elaboración propia.

Los orificios que se pueden observar en la punta de la base del poste serán $\varnothing = 1.905\text{cm} = 3/4\text{ pulg}$ y de longitud $l = 15\text{cm}$, por una cantidad de 6 pernos (c/u con 6 tuercas) los mismos que irán embebidos en la base del poste desde el modelado del mismo. La distribución de los pernos de sujeción es uniforme, cabe señalar que la elección del número de pernos se debe a que se busca la mayor fijación de los módulos del poste, los cuales permitirán un mejor anclaje, además está el factor montaje; si se eligiesen pernos de sujeción con diámetros mayores, el riesgo es el de no tener suficiente espacio para utilizar las herramientas de ajuste, lo cual limitaría el montaje adecuado.

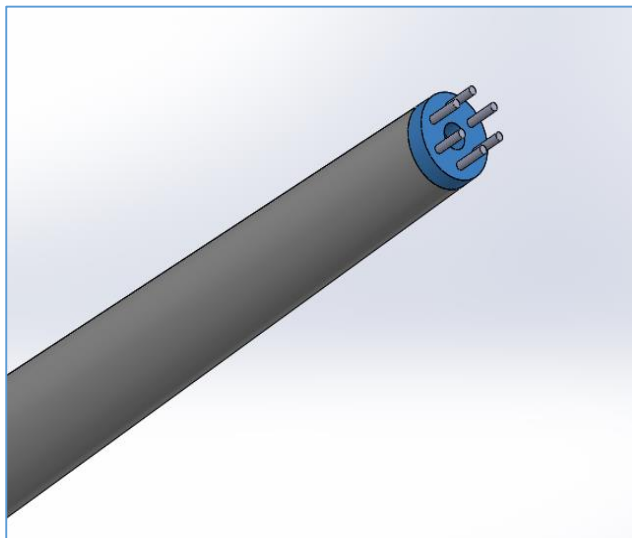


Figura 4. 24. Vista posición de bridas de acople en base el poste, propuesta 01.
Fuente: Elaboración propia.

En la base del poste desde su moldeo deberá ir embebido una brida de acero galvanizado, la cual servirá como protección a la punta de la base para la sujeción el módulo 02 al que se montara posteriormente. Esta brida también trabajara como una arandela de sujeción durante el montaje, lo que permitirá que la unión sea más segura y adecuada.

- ✓ *Perno de sujeción:* el diámetro del perno de sujeción es de $\varnothing = 3/4\text{pulg} = 1.905\text{cm}$, con una longitud $l = 15\text{cm}$, el cual será de material Acero AISI 1020. Responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. Por su contenido de carbono estos aceros se utilizan para la fabricación de piezas estructurales de mediana resistencia. Se puede utilizar completamente endurecido mientras se trate de secciones muy delgadas. Los usos incluyen engranes ligeramente esforzados con endurecimiento superficial, pines endurecidos superficialmente, piñones, cadenas, tornillos, componentes de maquinaria, prensas y levas. Además esta clase de material es comercial.

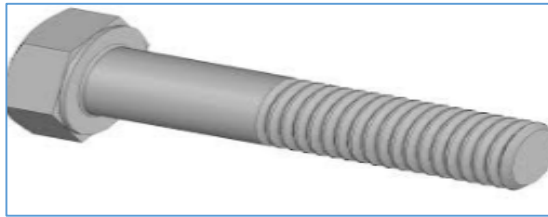


Figura 4. 25. Perno de agarre para unión de módulos de poste.
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ *Brida de acople:* la brida de acople, será de material acero galvanizado, debido a que es un material comúnmente usado en elementos que se utilizan para montajes electromecánicos, y muestran buena eficiencia de trabajo y tienen una acertada vida útil. Es resistente a la corrosión, y poseer buenas características mecánicas, lo cuales es necesario para afianzar y acoplar la estructura en estudio. También está el también económico, ya que este tipo de material es comercial. También se debe señalar que las bridas de acople serán dos, y se diferencia por la función que cumplen. A continuación se presenta la brida de unión 01. Esta brida tendrá un espesor de 0.05m con un diámetro exterior de 0.20m, y diámetro interior de 0.06m.

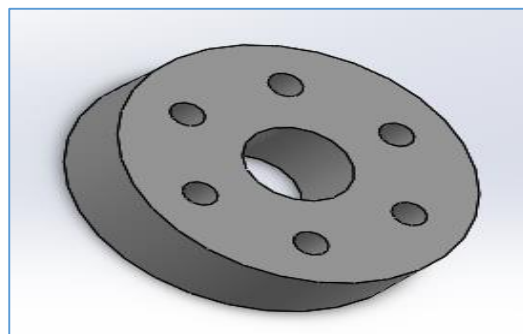


Figura 4. 26. Brida de acople para módulo de la base.
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Ahora se presentara la brida de unión 02. Es importante señalar que las bridas de unión estarán embebidas en cada módulo del poste, tanto en módulo de la base, como en el módulo de la punta del poste. Esta brida

tendrá un espesor de 0.15m con un diámetro exterior inferior de 0.20m, diámetro exterior superior de 0.19m y diámetro interior de 0.06m.

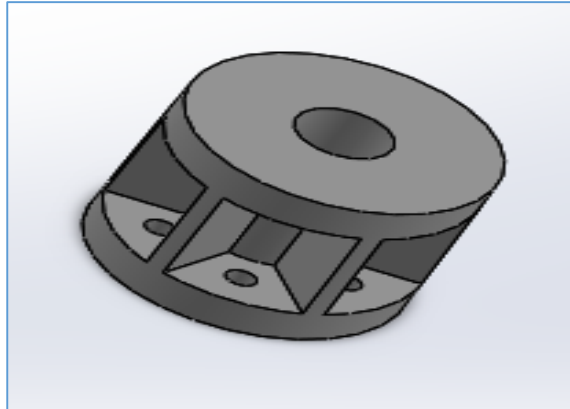


Figura 4. 27. Brida de acople para módulo de la punta del poste.
Fuente: Elaboración propia.

El modelo de esta brida (02) que se presenta se constituirá en la brida de unión, en donde los módulos se sujetaran y fijaran con la utilización de tuercas, es por ello que el diseño difiere de la brida 01. El material de fabricación de esta brida también será de acero galvanizado. Para proyectar este diseño de brida, también se ha pensado en la ergonomía que deberá existir para la utilización de herramientas de ajuste, por lo que deben existir los espacios suficientes que permitan realizar ajustes de piezas adecuados y firmes. Es importante señalar que esta brida, estará embebida en el módulo 02, el cual será la parte superior del poste (punta).

- ✓ *Parte superior de poste:* será la punta del poste, la unión final de la estructura, formada también de madera plástica, esta tendrá un diámetro en la punta $\varnothing = 14\text{cm}$ con un orificio interior que tendrá un diámetro $\varnothing = 6\text{cm}$, a esta pieza del poste se le acoplará la brida 02, la cual estará embebida a la parte inferior de la punta del poste. Con esta conexión el poste quedará totalmente unido.

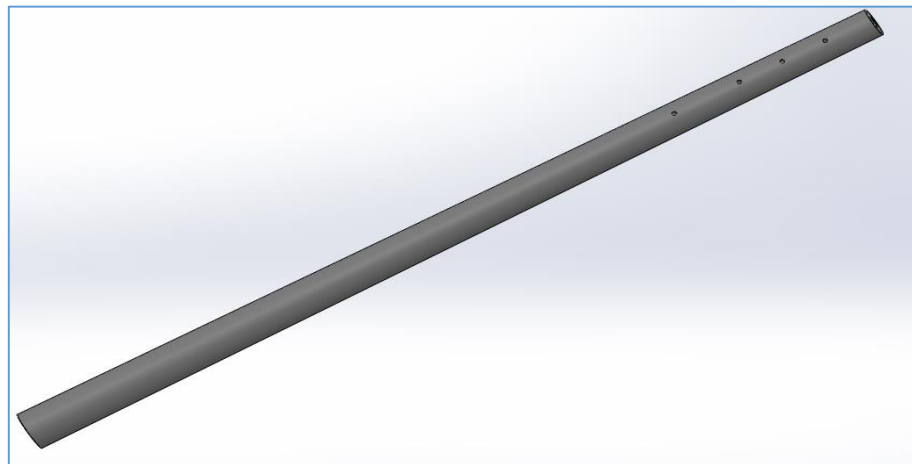


Figura 4. 28. Módulo de la punta del poste.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta el bosquejo completo del primer diseño del poste propuesto, el cual luego pasará a ser simulado-

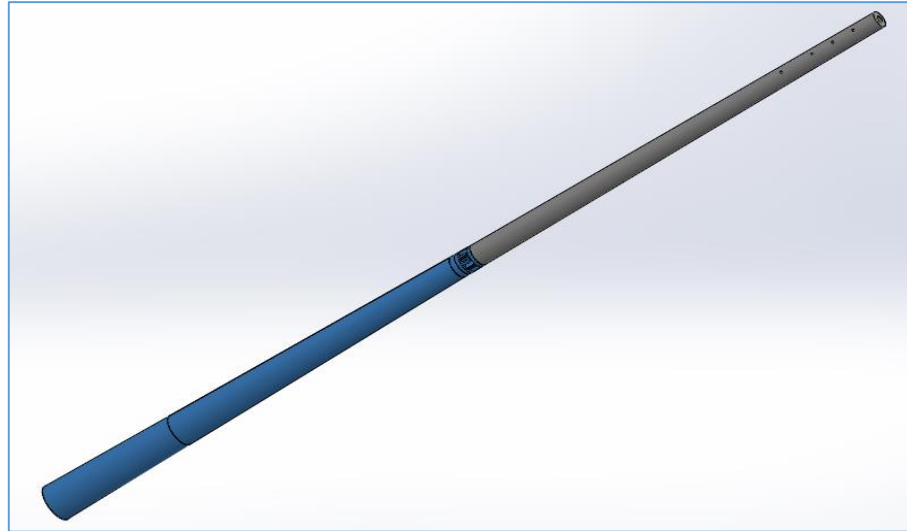


Figura 4. 29. Vista completa del poste, propuesta 01.
Fuente: Elaboración propia

4.4. ANÁLISIS MATEMÁTICO DE LA PROPUESTA DEL DISEÑO DEL POSTE ARMABLE

En el desarrollo del proyecto, la propuesta del diseño de un poste armable para redes de distribución rural en baja tensión en una región alto andina, por estar utilizándose un material nuevo en el mercado y poco conocido se desarrollara un análisis inicial; con la finalidad ir conociendo el comportamiento del material en el trabajo con ayuda de una herramienta CAD, para esto iniciamos el cálculo matemático, el cual se comparara con el análisis final, y posteriormente con los cálculos que obtengamos por medio del software de simulación utilizado..

El valor de las fuerzas para este análisis, se han considerado de acuerdo a la carga de trabajo de 200kg de un poste de concreto convencional, referenciando a la industria “P&F” (Prefabricados Fernández).

4.4.1. Análisis inicial de comportamiento de la estructura de soporte

4.4.1.1. Elección de ejes y fuerzas de análisis

- ✓ **Fuerza eje Y:** Se está utilizando una fuerza en el “Eje Y” debido a las fuerzas que ejercen compresión sobre el poste, debido al peso de accesorios de ferretería para un armado, y el mismo peso del conductor que deberá soportar el poste.

$$\text{Eje Y} = 1\ 000\text{N}$$

- ✓ **Fuerza eje X:** Se está utilizando una fuerza en el “Eje X” debido a las fuerzas que ejercen flexión en el poste, debido a la presión que se realiza en el flechado del conductor entre vanos, a también por los pequeños cambios de dirección que toma el conductor en un trabajo real. Se toman fuerzas en el eje x, debido a realizar un análisis de energías de deformación, con el cual se puede observar el punto máximo de rotura o quiebre del poste.

$$\text{Eje } x = 2\,000\text{N}$$

- ✓ **Fuerza eje Z:** En este eje, no se toman fuerzas debido al análisis que se desarrolla en este proyecto, análisis destructivo con el cual se ejercen fuerzan en un solo eje debido al flechado del conductor entre vanos, además de que el estudio se está realizando para proyectos de redes de distribución en baja tensión, donde las fuerzas de torsión son mínimas.

4.4.1.2. Ubicación de esfuerzo y diagrama de trabajo

De acuerdo a lo señalado anteriormente, se ha ubicado las intensidades de las fuerzas, con lo cual se dará inicio a nuestro cálculo, para lo cual estas fuerzas se concentraran en la punta del poste. En el análisis matemático las fuerzas se trasladaran a 1.10m de la base del poste, cantidad del poste que estará empotrada al suelo, y donde las fuerzas establecidas demostraran como estas afectan al comportamiento estático del poste.

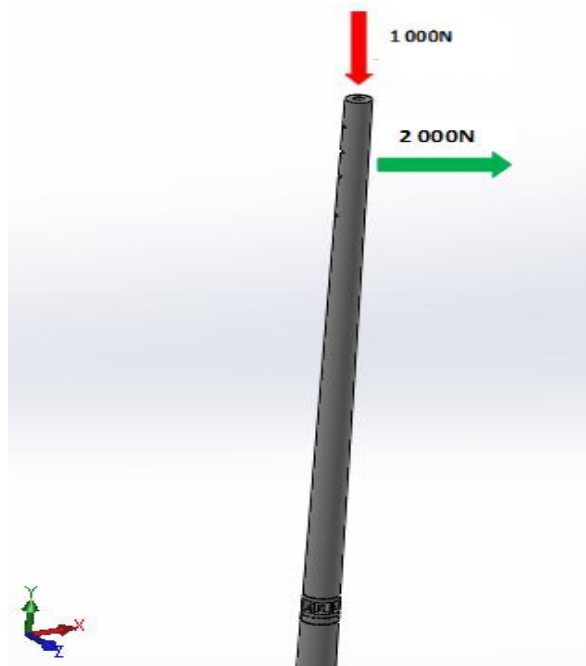


Figura 4. 30. Ubicación de esfuerzos.
Fuente: Elaboración propia

4.4.1.3. Cálculo de diámetros de concentración de esfuerzos

Ahora encontraremos los diámetros a 1.10m de la base del poste, donde se centraran las fuerzas y con lo cual podremos dar inicio a nuestro análisis. Representamos las medidas en el poste y donde estará nuestro punto de análisis.

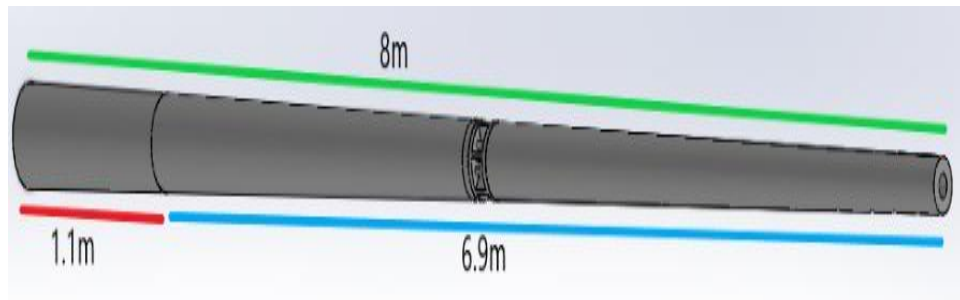


Figura 4. 31. Medidas de poste para cálculo de diámetros.
Fuente: Elaboración propia

Para calcular los diámetros a 1.10m de la base, utilizamos la semejanza de triángulos:

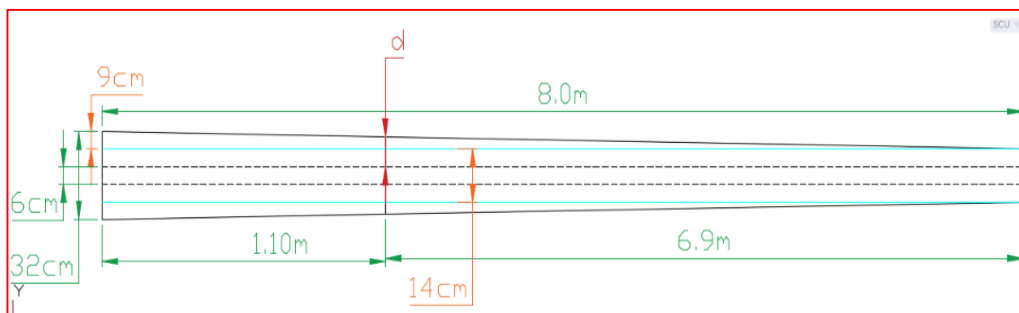


Figura 4. 32. Diagrama para calcular diámetros.
Fuente: Elaboración propia

Entonces, al no tener la distancia “d”, como ya se mencionó utilizamos la semejanza de triángulos:

$$\frac{d}{6.9} = \frac{9}{8}$$

$$d = \frac{6.9 * 9}{8} = 7.7625cm$$

Una vez encontrado el valor de “d”, calculamos el valor del diámetro exterior a 1.10m de la base del poste:

$$D_{ext} = 2d + (D_{punta\ poste})$$

$$D_{ext} = 2(7.7625) + 14 = 29.525cm = 295.25mm$$

Ya habiendo encontrado el diámetro exterior, podremos continuar con el cálculo para encontrar el diámetro interior a 1.10m de la base del poste:

$$d_{int} = D_{ext} - (D_{punta\ poste} - D_{orificio\ poste})$$

$$d_{int} = 29.525 - (14 - 6) = 21.525 = 251.25mm$$

4.4.1.4. Análisis del comportamiento de esfuerzos

Una vez encontrados los diámetros, procedemos a calcular los esfuerzos en el poste, sin antes ubicar la intensidad de las fuerzas establecidas y su comportamiento a 1.10m de la base del poste, es decir a la distancia de empotre del poste:

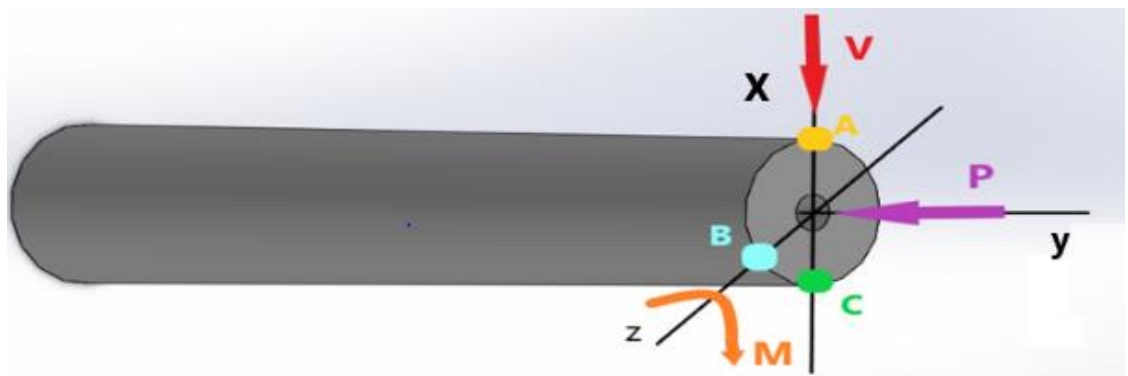


Figura 4. 33. Ubicación de fuerzas en punto de análisis.
Fuente: Elaboración propia

Ahora iniciaremos el cálculo de acuerdo al diagrama mostrado líneas arriba, dando un análisis para cada punto, debido a que las presión de las fuerzas muestran un comportamiento diferente unas a otras, iniciaremos con el análisis en el punto “A”:

A. Análisis para le punto “A”

$$\text{Carga Axial} = P = - 1000N$$

$$\text{Carga cortante} = V = 2000N$$

$$\text{Momento flector} = M = (2000*6.9)*1000 = 13.8x10^6 \text{ N.mm}$$

✓ Propiedades geométricas:

$$A = \frac{\pi}{4} [295.25^2 - 215.25^2] = 32075.661mm^2$$

$$I = \frac{\pi}{64} [295.25^4 - 215.25^4] = 267.6416x10^6mm^4$$

$$Q_3 = \frac{\pi}{24} [295.25^3 - 215.25^3] = 2.0636x10^6mm^3$$

✓ **Calculamos los esfuerzos:**

$$\text{Carga axial: } \sigma_{axial} = \frac{-1000}{A} = \frac{-1000}{32075.661} = -0.0311 \text{ MPa}$$

Carga cortante: $\tau = 0$, está en sus mismo eje.

Momento flector:

$$\sigma_{Flexión} = \frac{+M(D_{ext}/2)}{I} = \frac{(13.8 \times 10^6) \left(\frac{295.25}{2}\right)}{267.6416 \times 10^6} = +7.6118 \text{ MPa}$$

✓ **Representamos el plano de esfuerzos:**

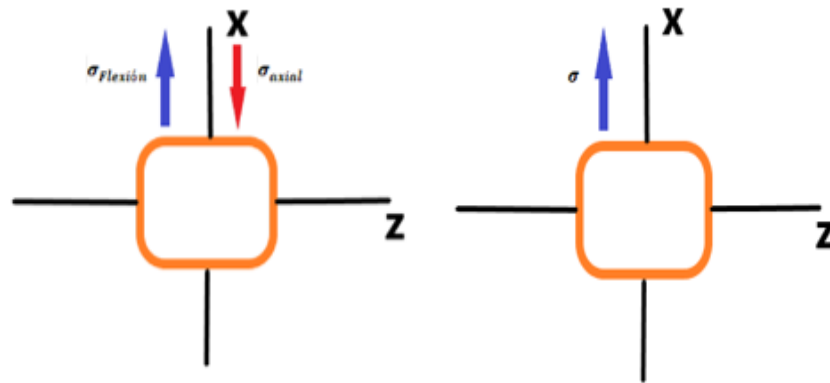


Figura 4. 34. Representación de planos de esfuerzos, Punto A.
Fuente: Elaboración propia

$$\sigma_x = 7.5807 \text{ MPa}$$

$$\sigma_z = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xz} = 0 \text{ MPa}$$

✓ **Calculamos los esfuerzos principales y cortante máxima.**

Esfuerzo máximo:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{7.5807 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{7.5807 - 0}{2}\right)^2 + 0} = 7.5807 \text{ MPa}$$

Esfuerzo mínimo:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{7.5807 + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{7.5807 - 0}{2}\right)^2 + 0} = 0 \text{ MPa}$$

Cortante máxima:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{7.5807 - 0}{2}\right)^2 + 0} = 3.7904 \text{ MPa}$$

B. Análisis para le punto “B”

✓ **Calculamos los esfuerzos:**

Carga axial: $\sigma_{axial} = 0 \text{ MPa}$

$$\text{Carga cortante: } \tau_{cor} = \frac{VQ}{Ib} = \frac{(2000 \cdot 2.0636 \cdot 10^6)}{267.6416 \cdot 10^6 \left(\frac{295.25 - 215.25}{2}\right)} = 0.3855 \text{ MPa}$$

Momento flector:

$$\sigma_{Flexión} = \frac{+M(D_{ext}/2)}{I} = \frac{(13.8 \cdot 10^6) \left(\frac{295.25}{2}\right)}{267.6416 \cdot 10^6} = +7.6118 \text{ MPa}$$

- ✓ Representamos el plano de esfuerzos:

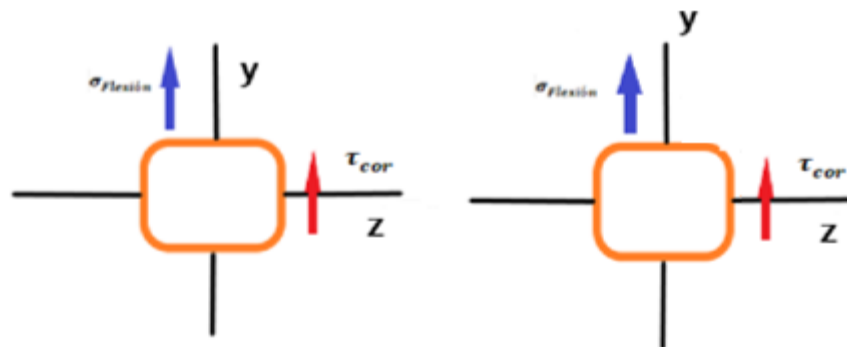


Figura 4. 35. Representación del plano de esfuerzos, Punto B.
Fuente: Elaboración propia

$$\begin{aligned}\sigma_y &= 7.6118 \text{ MPa} \\ \sigma_z &= 0 \text{ MPa} \\ \tau_{yz} &= 0.3855 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- ✓ Calculamos los esfuerzos principales y cortante máxima.

Esfuerzo máximo:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_y + \sigma_z}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_y - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{yz}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{7.6118 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{7.6118 - 0}{2}\right)^2 + 0.3855} = 7.6621 \text{ MPa}$$

Esfuerzo mínimo:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_y + \sigma_z}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_y - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{yz}}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{m\acute{a}x} &= \frac{7.6118 + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{7.6118 - 0}{2}\right)^2 + 0.3855} \\ &= -0.0503 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Cortante máxima:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{7.6118 - 0}{2}\right)^2 + 0.3855} = 3.8562 \text{ MPa}$$

C. Análisis para le punto “C”

✓ **Calculamos los esfuerzos:**

$$\text{Carga axial: } \sigma_{axial} = \frac{-1000}{A} = \frac{-1000}{32075.661} = -0.0311 \text{ MPa}$$

Carga cortante: $\tau = 0$, está en sus mismo eje.

Momento flector:

$$\sigma_{Flexión} = \frac{-M(D_{ext}/2)}{I} = \frac{-(13.8 \times 10^6)(\frac{295.25}{2})}{267.6416 \times 10^6} = -7.6118 \text{ MPa}$$

✓ **Representamos el plano de esfuerzos:**

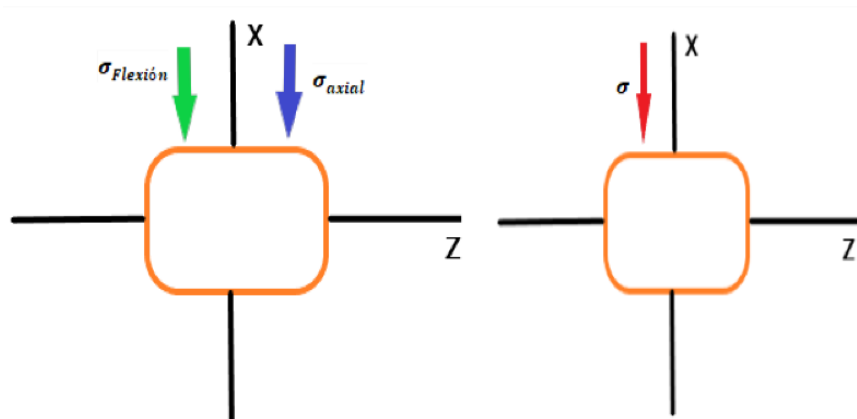


Figura 4. 36. Representación del plano de esfuerzos, punto C.
Fuente: Elaboración propia

$$\sigma_x = -7.6429 \text{ MPa}$$

$$\sigma_z = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xz} = 0 \text{ MPa}$$

- ✓ Calculamos los esfuerzos principales y cortante máxima.

Esfuerzo máximo:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{-7.6429 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{-7.6429 - 0}{2}\right)^2} = 0 \text{ MPa}$$

Esfuerzo mínimo:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{-7.6429 + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{-7.6429 - 0}{2}\right)^2} = -7.6429 \text{ MPa}$$

Cortante máxima:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{-7.6429 - 0}{2}\right)^2} + 0 = 3.8215 \text{ MPa}$$

D. Esfuerzos principales máximos y mínimos por Von Mises

Ecuación de Von Mises:

$$\left(\frac{\sigma_{mises}}{F.S}\right)^2 = \sigma_a^2 - \sigma_a\sigma_b + \sigma_b^2$$

$$\sigma_{mises} = \left(\sqrt{\sigma_a^2 - \sigma_a\sigma_b + \sigma_b^2}\right) * F.S$$

Para el punto "A"

$$\sigma_{mises} = \left(\sqrt{7.5807^2 - 7.5807 * 0 + 0^2}\right) * F.S$$

$$\sigma_{mises} = (7.5807) * 2$$

$$\sigma_{mises} = 15.1614 \text{ MPa}$$

Para el punto “B”

$$\begin{aligned}\sigma_{mises} &= \left(\sqrt{7.6118^2 - 7.6118 * 0 + 0^2} \right) * F.S \\ \sigma_{mises} &= (7.6118) * 2 \\ \sigma_{mises} &= 15.2236 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Para el punto “C”

$$\begin{aligned}\sigma_{mises} &= \left(\sqrt{-7.6429^2 - (-7.6429) * 0 + 0^2} \right) * F.S \\ \sigma_{mises} &= (7.6429) * 2 \\ \sigma_{mises} &= 18.2858 \text{ MPa}\end{aligned}$$

4.4.2. Análisis de comportamiento de la estructura de soporte de acuerdo a norma técnica

Para el desarrollo del análisis matemático se han considerado fuerzas de trabajo que han sido referenciadas de acuerdo a normas técnicas tales como: Likinormas Codensa, “ET205 Postes de Fibra, Especificación técnica”-2018; Ministerio de Energía y Minas – Dirección General de Electricidad, “Especificaciones Técnicas ETS – LP 29”

Para el desarrollo del proyecto de investigación propuesta del diseño de un poste armable para redes de distribución rural en baja tensión en una región alto andina, y de acuerdo al haberse realizado un análisis anterior utilizando como fuerza de trabajo 200kg, valor utilizado en postes de concreto convencionales; se realizara el análisis final donde se ha seleccionado un valor de carga de diseño referenciado y citado de acuerdo a las normas mencionadas líneas arriba (250kg). El análisis realizado anteriormente servirá como un comparativo para conocer el comportamiento de la estructura al variar las fuerzas de trabajo. Finalmente los valores obtenidos de los análisis esfuerzos calculados matemáticamente, servirán para realizar un comparativo con los calculados por el software utilizado, y los cuales van a ser vitales para la evaluación final.

4.4.2.1. Elección de ejes y fuerzas de análisis

- ✓ **Fuerza eje Y:** Se está utilizando una fuerza en el “Eje Y” debido a las fuerzas que ejercen compresión sobre el poste, debido al peso de accesorios de ferretería para un armado, y el mismo peso del conductor que deberá soportar el poste.

$$\text{Eje Y} = 1\ 000\text{N}$$

- ✓ **Fuerza eje X:** Se está utilizando una fuerza en el “Eje X” debido a las fuerzas que ejercen flexión en el poste, debido a la presión que se realiza en el flechado del conductor entre vanos, a también por los pequeños

cambios de dirección que toma el conductor en un trabajo real. Se toman fuerzas en el eje x, debido a realizar un análisis de energías de deformación, con el cual se puede observar el punto máximo de rotura o quiebre del poste. Además la intensidad de la fuerza que se utiliza en este análisis es de acuerdo a Norma **Likinormas Codensa, “ET205 Postes de Fibra, Especificación técnica”, 2018.**

Eje x = 2 500N

- ✓ **Fuerza eje Z:** En este eje, no se toman fuerzas debido al análisis que se desarrolla en este proyecto, análisis destructivo con el cual se ejercen fuerzan en un solo eje debido al flechado del conductor entre vanos, además de que el estudio se está realizando para proyectos de redes de distribución en baja tensión, donde las fuerzas de torsión son mínimas, y debido al tipo de armado no ejercen fuerzas que perjudiquen fuertemente al trabajo del poste.

4.4.2.2. Ubicación de esfuerzo y diagrama de trabajo

De acuerdo a lo señalado anteriormente, se ha ubicado las intensidades de las fuerzas, con lo cual se dará inicio a nuestro cálculo, para lo cual estas fuerzas se concentraran en la punta del poste. En el análisis matemático las fuerzas se trasladaran a 1.10m de la base del poste, cantidad del poste que estará empotrada al suelo, y donde las fuerzas establecidas demostraran como estas afectan al comportamiento estático del poste.

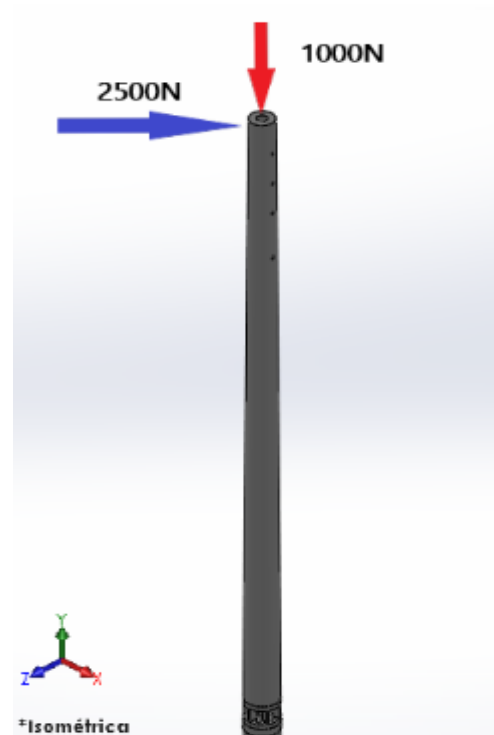


Figura 4. 37. Ubicación de fuerzas en poste
Fuente: Elaboración propia - Likinormas Codensa

4.4.2.3. Cálculo de diámetros en área de concentración de fuerzas

Ahora encontraremos los diámetros a 1.10m de la base del poste, donde se centraran las fuerzas y con lo cual podremos dar inicio a nuestro análisis. Representamos las medidas en el poste y donde estará nuestro punto de análisis.

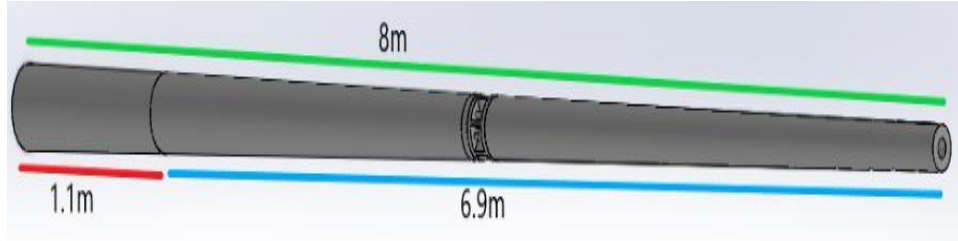


Figura 4. 38. Medidas para cálculo de diámetros.
Fuente: Elaboración propia - Likinormas Codensa

Para calcular los diámetros a 1.10m de la base, utilizamos la semejanza de triángulos:

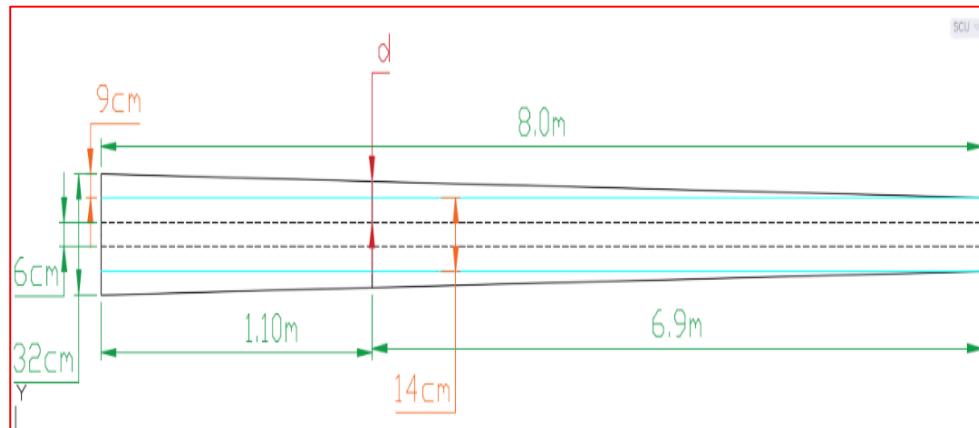


Figura 4. 39. Diagrama para cálculo de diámetros, por semejanza de triángulos.
Fuente: Elaboración propia - Likinormas Codensa

Entonces, al no tener la distancia “d”, como ya se mencionó utilizamos la semejanza de triángulos:

$$\frac{d}{6.9} = \frac{9}{8}$$

$$d = \frac{6.9 * 9}{8} = 7.7625cm$$

Una vez encontrado el valor de “d”, calculamos el valor del diámetro exterior a 1.10m de la base del poste:

$$D_{ext} = 2d + (D_{punta\ poste})$$

$$D_{ext} = 2(7.7625) + 14 = 29.525cm = 295.25mm$$

Ya habiendo encontrado el diámetro exterior, podremos continuar con el cálculo para encontrar el diámetro interior a 1.10m de la base del poste:

$$d_{int} = D_{ext} - (D_{punta\ poste} - D_{orificio\ poste})$$

$$d_{int} = 29.525 - (14 - 6) = 21.525 = 251.25mm$$

4.4.2.4. Análisis del comportamiento de esfuerzos

Una vez encontrados los diámetros, procedemos a calcular los esfuerzos en el poste, sin antes ubicar la intensidad de las fuerzas establecidas y su comportamiento a 1.10m de la base del poste, es decir a la distancia de empotre del poste:

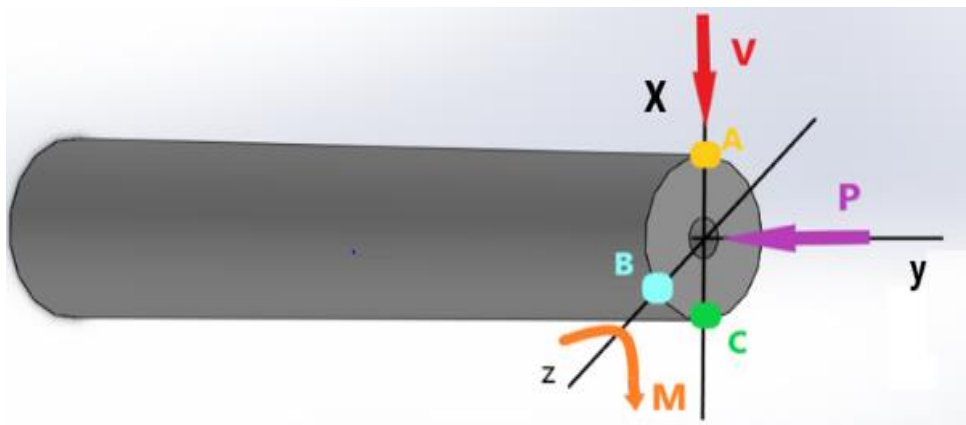


Figura 4. 40. Ubicación de esfuerzos en poste y su comportamiento.
Fuente: Elaboración propia - Likinormas Codensa

Ahora iniciaremos el cálculo de acuerdo al diagrama mostrado líneas arriba, dando un análisis para cada punto, debido a que las presión de las fuerzas muestran un comportamiento diferente unas a otras, iniciaremos con el análisis en el punto “A”:

A. Análisis para le punto “A”

Carga Axial = P = - 1000N

Carga cortante = V = 2500N

Momento flector = M = (2500*6.9)*1000 = 17.25x10⁶ N.mm

✓ **Propiedades geométricas:**

$$A = \frac{\pi}{4} [295.25^2 - 215.25^2] = 32075.661mm^2$$

$$I = \frac{\pi}{64} [295.25^4 - 215.25^4] = 267.6416 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Q_3 = \frac{\pi}{24} [295.25^3 - 215.25^3] = 2.0636 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

✓ Calculamos los esfuerzos:

$$\text{Carga axial: } \sigma_{axial} = \frac{-1000}{A} = \frac{-1000}{32075.661} = -0.0311 \text{ MPa}$$

Carga cortante: $\tau = 0$, está en sus mismo eje.

Momento flector:

$$\sigma_{Flexión} = \frac{+M(D_{ext}/2)}{I} = \frac{(17.25 \times 10^6) (\frac{295.25}{2})}{267.6416 \times 10^6} = +9.5147 \text{ MPa}$$

✓ Representamos el plano de esfuerzos:

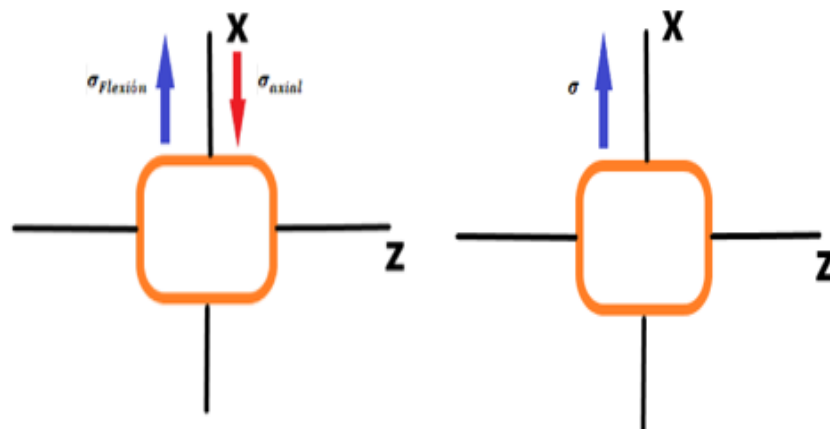


Figura 4. 41. Representación del plano de esfuerzos, punto A.
Fuente: Elaboración propia

$$\sigma_x = 9.48316 \text{ MPa}$$

$$\sigma_z = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xz} = 0 \text{ MPa}$$

- ✓ Calculamos los esfuerzos principales y cortante máxima.

Esfuerzo máximo:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{9.4836 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{9.4836 - 0}{2}\right)^2 + 0} = 9.4836 MPa$$

Esfuerzo mínimo:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{9.4836 + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{9.4836 - 0}{2}\right)^2 + 0} = 0 MPa$$

Cortante máxima:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{7.5807 - 0}{2}\right)^2 + 0} = 4.7418 MPa$$

B. Análisis para le punto “B”

- ✓ Calculamos los esfuerzos:

Carga axial: $\sigma_{axial} = 0 MPa$

Carga cortante: $\tau_{cor} = \frac{vQ}{Ib} = \frac{(2500 \cdot 2.0636 \cdot 10^6)}{267.6416 \cdot 10^6 \left(\frac{295.25 - 215.25}{2}\right)} = 0.4819 MPa$

Momento flector:

$$\sigma_{Flexión} = \frac{+M(D_{ext}/2)}{I} = \frac{(17.25 \times 10^6) \left(\frac{295.25}{2}\right)}{267.6416 \times 10^6} = +9.5147 \text{ MPa}$$

- ✓ Representamos el plano de esfuerzos:

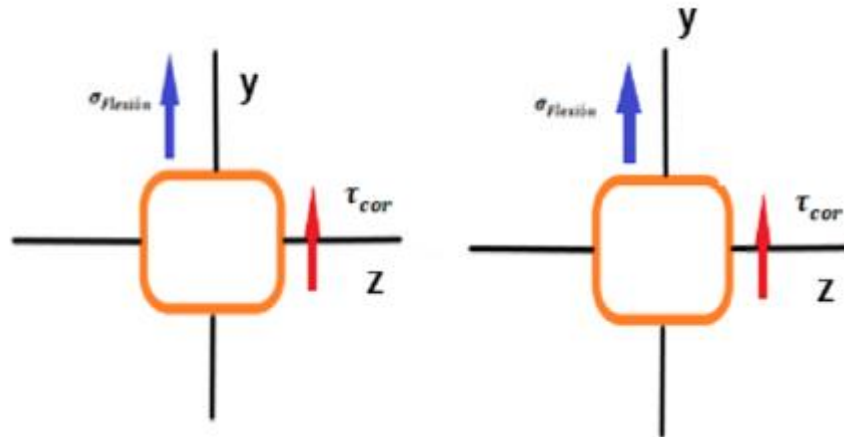


Figura 4. 42. Representación del plano de esfuerzos, Punto B.
Fuente: Elaboración propia.

$$\sigma_y = 9.5147 \text{ MPa}$$

$$\sigma_z = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{yz} = 0.4819 \text{ MPa}$$

- ✓ Calculamos los esfuerzos principales y cortante máxima.

Esfuerzo máximo:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_y + \sigma_z}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_y - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{yz}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{9.5147 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{9.5147 - 0}{2}\right)^2 + 0.4819} = 9.5650 \text{ MPa}$$

Esfuerzo mínimo:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_y + \sigma_z}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_y - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{yz}}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{m\acute{a}x} &= \frac{9.5147 + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{9.5147 - 0}{2}\right)^2 + 0.4819} \\ &= -0.0504 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Cortante máxima:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{7.6118 - 0}{2}\right)^2 + 0.3855} = 4.8077 \text{ MPa}$$

C. Análisis para le punto “C”

✓ **Calculamos los esfuerzos:**

$$\text{Carga axial: } \sigma_{axial} = \frac{-1000}{A} = \frac{-1000}{32075.661} = -0.0311 \text{ MPa}$$

Carga cortante: $\tau = 0$, está en sus mismo eje.

Momento flector:

$$\sigma_{Flexión} = \frac{-M(D_{ext}/2)}{I} = \frac{-(17.25 \times 10^6) \left(\frac{295.25}{2}\right)}{267.6416 \times 10^6} = -9.5147 \text{ MPa}$$

- ✓ Representamos el plano de esfuerzos:

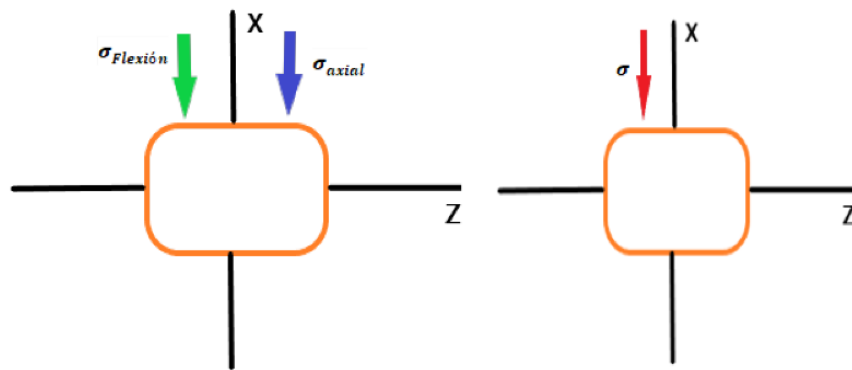


Figura 4. 43. Representación del plano de esfuerzos, Punto C.
 Fuente: Elaboración propia.

$$\begin{aligned}\sigma_x &= -9.5458 \text{ MPa} \\ \sigma_z &= 0 \text{ MPa} \\ \tau_{xz} &= 0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- ✓ Calculamos los esfuerzos principales y cortante máxima.

Esfuerzo máximo:

$$\begin{aligned}\sigma_{m\acute{a}x} &= \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2} \\ \sigma_{m\acute{a}x} &= \frac{-9.5458 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{-9.5458 - 0}{2}\right)^2} = 0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Esfuerzo mínimo:

$$\begin{aligned}\sigma_{m\acute{a}x} &= \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2} \\ \sigma_{m\acute{a}x} &= \frac{-9.5458 + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{-9.5458 - 0}{2}\right)^2} = -9.5458 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Cortante máxima:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{-9.5458 - 0}{2}\right)^2 + 0} = 4.7729 \text{ MPa}$$

D. Esfuerzos principales maximos y mınimos por Von Mises

Ecuaci3n de Von Mises:

$$\left(\frac{\sigma_{mises}}{F.S}\right)^2 = \sigma_a^2 - \sigma_a\sigma_b + \sigma_b^2$$

$$\sigma_{mises} = \left(\sqrt{\sigma_a^2 - \sigma_a\sigma_b + \sigma_b^2}\right) * F.S$$

Para el punto “A”

$$\sigma_{mises} = \left(\sqrt{9.4836^2 - 9.4836 * 0 + 0^2}\right) * F.S$$

$$\sigma_{mises} = (9.4836) * 2$$

$$\sigma_{mises} = 18.9672 \text{ MPa}$$

Para el punto “B”

$$\sigma_{mises} = \left(\sqrt{9.5147^2 - 9.5147 * 0 + 0^2}\right) * F.S$$

$$\sigma_{mises} = (9.5147) * 2$$

$$\sigma_{mises} = 19.0294 \text{ MPa}$$

Para el punto “C”

$$\sigma_{mises} = \left(\sqrt{-9.5458^2 - (-9.5458) * 0 + 0^2}\right) * F.S$$

$$\sigma_{mises} = (-9.5458) * 2$$

$$\sigma_{mises} = 19.0916 \text{ MPa}$$

4.5. SIMULACIÓN CAE DE POSTE ARMABLE UTILIZANDO HERRAMIENTA SOLIDWORKS

El proceso de simulación inicia teniendo detallados los diseños CAD, es decir las dimensiones de cada pieza que forman parte de la estructura, los cuales serán ensamblados para obtener una sola pieza, posteriormente iniciando el análisis y visualizar los comportamientos del conjunto de piezas. Para iniciar el proceso de simulación se realizara un análisis inicial a la propuesta del poste utilizando fuerzas menores a las indicadas en la norma, a la cual el estudio está tomando como referencia

4.5.1. Simulación de la propuesta del poste armable (Análisis inicial).

Se representara el ensamble completo de todas las piezas que forman parte de la propuesta de diseño del poste.

Se utilizara fuerzas tanto en el eje x, como en el eje y, las cuales se especifican, cabe decir que son fuerzas de diseño.

- ✓ **Eje X:** 2000 N, esfuerzo que se localizara en la punta del poste, el cual ha sido considerado para realizar el estudio y conocer como ejercerá su trabajo la estructura. Esta fuerza será ejercida por el conductor cuando se realice el flechado.
- ✓ **Eje Y:** 1000 N, esfuerzo que se localizara en la punta del poste, el cual ha sido considerado solo para realizar un estudio previo y conocer como ejercerá su trabajo la estructura. Esta fuerza será ejercida por el peso del conductor y la ferretería que se utilizara para construir los armados en las estructuras.

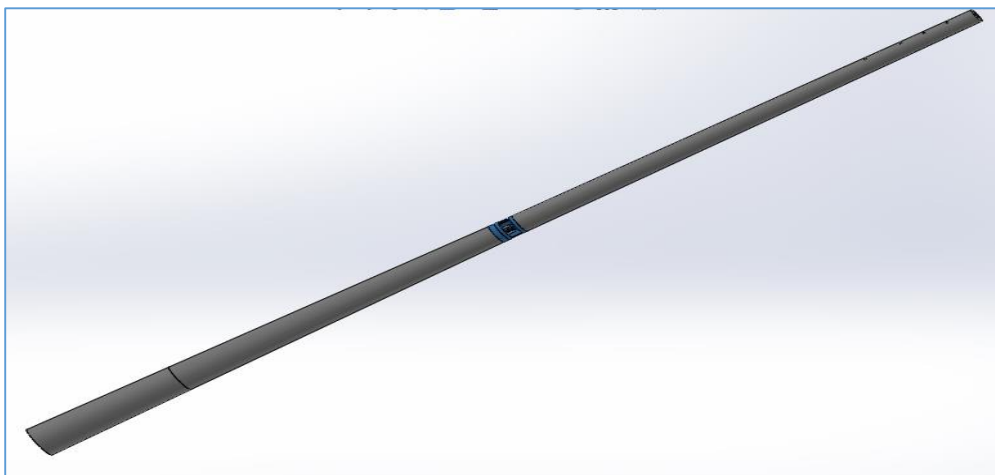


Figura 4. 44. Ensamble completo del poste.
Fuente: Elaboración propia.

En esta parte del análisis de simulación, todas las piezas que forman parte la propuesta del poste, deberán estar bien acotadas y detallas, para permitir al Programa de simulación un correcto trabajo. También debemos considerar como será la unión de cada pieza, y como trabajara en relación a la pieza con la que se acopla.

4.5.1.1. Propiedades de fijación, sujeción y contacto del ensamble

Ahora se darán las fijaciones, sujeciones y contactos al diseño ensamblado, para delimitar el comportamiento, para conocer las tensiones, desplazamientos, deformaciones, las cuales nos permitirán visualizar cuan eficiente es este material para desarrollar postes que servirán de estructuras de soporte en sistemas eléctricos rurales.

4.5.1.1.1. Sujeción del punto de anclaje

En este punto del proceso de simulación, se fijara el punto de anclaje, en este caso será la base del poste, el cual será cimentado durante su instalación, entonces, el diseño del poste estará fijado a 1.10m de su longitud desde la base.

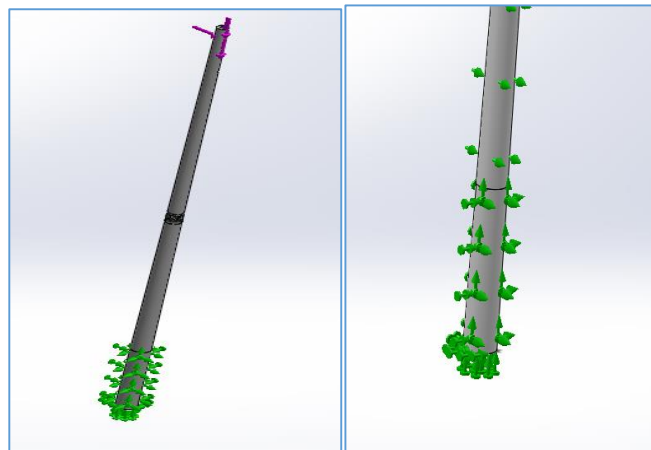


Figura 4. 45. Vista de la zona de anclaje del poste, cimentación.
Fuente: Elaboración propia.

Además se está realizando una sujeción fija y una sujeción por Geometría de referencia seleccionando las caras restantes del modelo propuesto, además de referir al comportamiento de la fuerza considerando un plano, para nuestro análisis *Plano Frontal*.

4.5.1.1.2. Conexiones entre contactos de componentes, conectores.

Continuando con el proceso de simulación, debemos especificar las conexiones que existirán entre cada componente. Empezando por especificar como trabajaran los módulos, independientemente de sus elementos que lo constituyen, como también un trabajo global.

- ✓ **Módulo 01:** En el diseño propuesto, el módulo está compuesto, por el cuerpo inferior del poste (base) que tiene una longitud de cuatro metros ($l = 4.0m$) (incluyendo la brida, $l=0.05m$), además de la brida de sujeción y los pernos irán embebidos en el módulo. En este módulo, los pernos estarán definidos como pasadores rígidos, y la brida estará en conexión o

unión rígida (unido desde su manufactura), por lo que se comportan como una sola pieza.

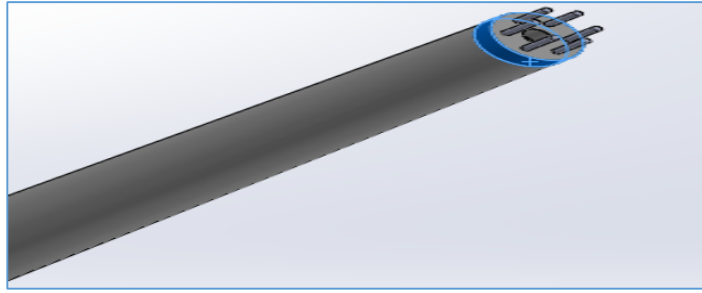


Figura 4. 46. Ubicación de brida y pasadores de sujeción.
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ **Módulo 02:** En el diseño propuesto, el módulo está formado, por el cuerpo superior del poste (punta) que tiene una longitud de cuatro metros ($l = 4.0m$) (incluyendo la brida, $l=0.15m$), además de la brida de sujeción que esta embebida al poste desde su manufactura. En este módulo la brida estará definida en conexión o unión rígida (unido desde su manufactura), lo que las volverá en una sola pieza.

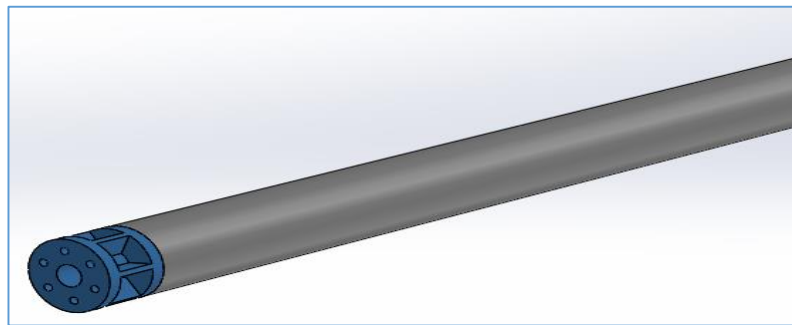


Figura 4. 47. Módulo 02 construida con brida de acople.
Fuente: Elaboración propia.

Las conexiones entre ambos modulo estará definida como una unión sin penetración, debido a ser aquí es el punto donde ambos módulos se unirán. En esta unión se visualizara también el comportamiento de los pernos de sujeción.

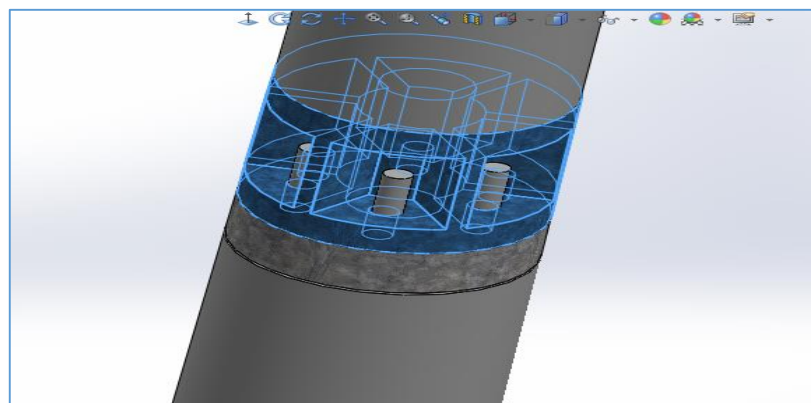


Figura 4. 48. Tipo de conexiones de embone entre módulos.
Fuente: Elaboración propia.

Disposición de los pernos de ajuste, que unirán a los módulos de ensamblaje.

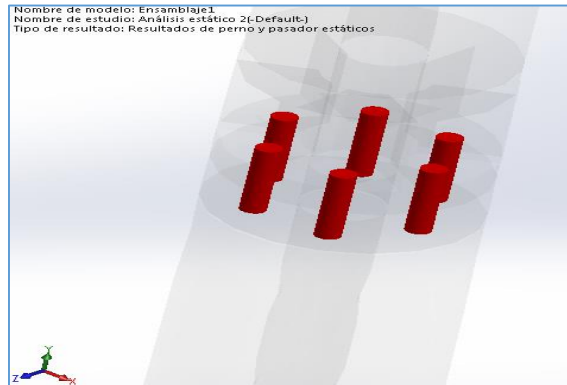


Figura 4. 49. Disposición de pernos de sujeción.
Fuente: Elaboración propia.

4.5.1.2. Localización, orientación y Definición de cargas

Luego de haber definido los contactos entre elementos de toda la estructura de la propuesta de diseño del poste, se continúa con la localización, la orientación y definición de las cargas con las que el poste trabajar continuamente.

Para la orientación y localización se consideraran fuerzas en el *Eje x* = 2 000N ubicadas a 10 cm de la punta, y para el *Eje y* = 1000N, localizados en la punta, ubicación del poste en el cual se ejercen todas las fuerzas de trabajo de este tipo de estructura. Debido a los flechados que se realizan con los conductores, además el peso del conductor y la ferretería que se utiliza para cada tipo de armado, de aquí se visualizara como las fuerzas definidas afectan el comportamiento de la estructura en mención.

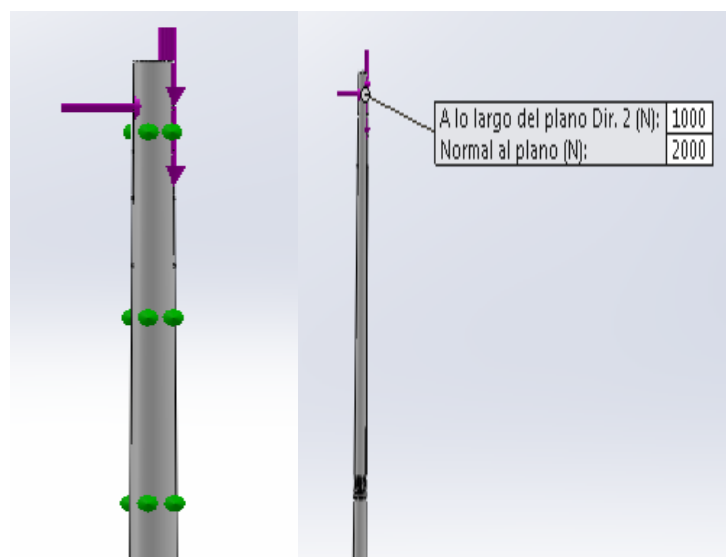


Figura 4. 50. Orientación y localización de fuerzas.
Fuente: Elaboración propia - SolidWorks

Después de haber definido, orientado y localizado las fuerzas de trabajo, se procede a realizar y crear una malla de trabajo para toda la estructura, la cual volverá a la

estructura en pequeñas partes pero al mismo tiempo unido en una sola pieza; a partir de aquí parte el análisis estático de simulación mediante herramienta Solidworks Education (*para este estudio, versión 2014*).

4.5.1.2.1. Resultados de análisis: Tensiones

Luego de haber realizado con el software el enmallado a la estructura que se está analizando, nos detalla el comportamiento de la estructura, debido a la presión que las cargas ejercen en el poste, este análisis se está realizando por el criterio de Von Mises, referido a Energías de deformación.

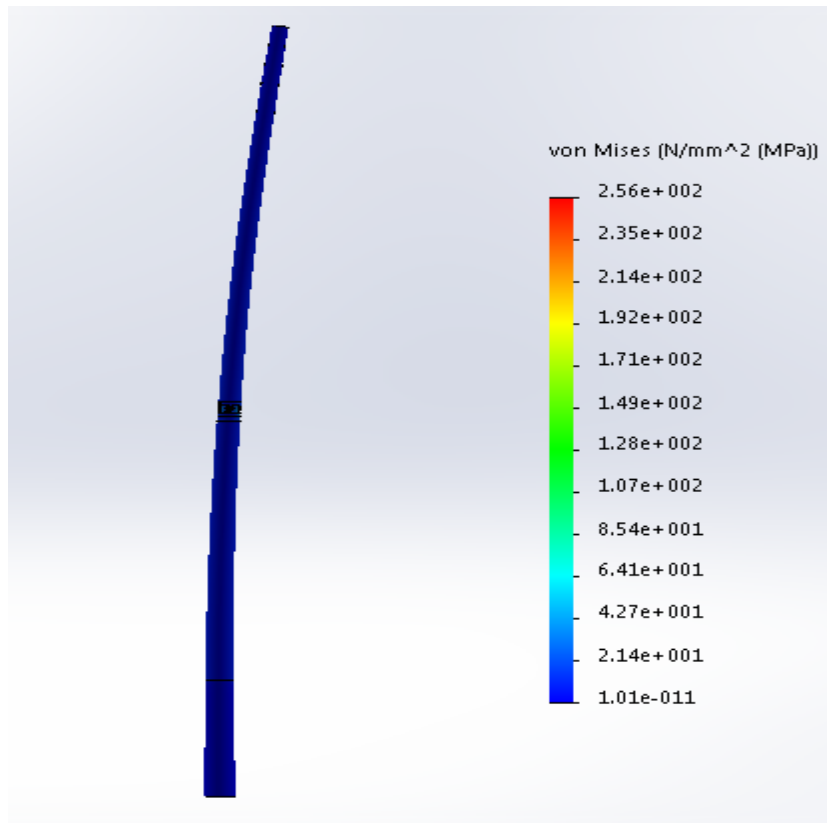


Figura 4. 51. Simulación del poste analizado con tensión de rotura.
Fuente: Elaboración propia – SolidWorks.

El software, nos muestra el siguiente comportamiento de la estructura:

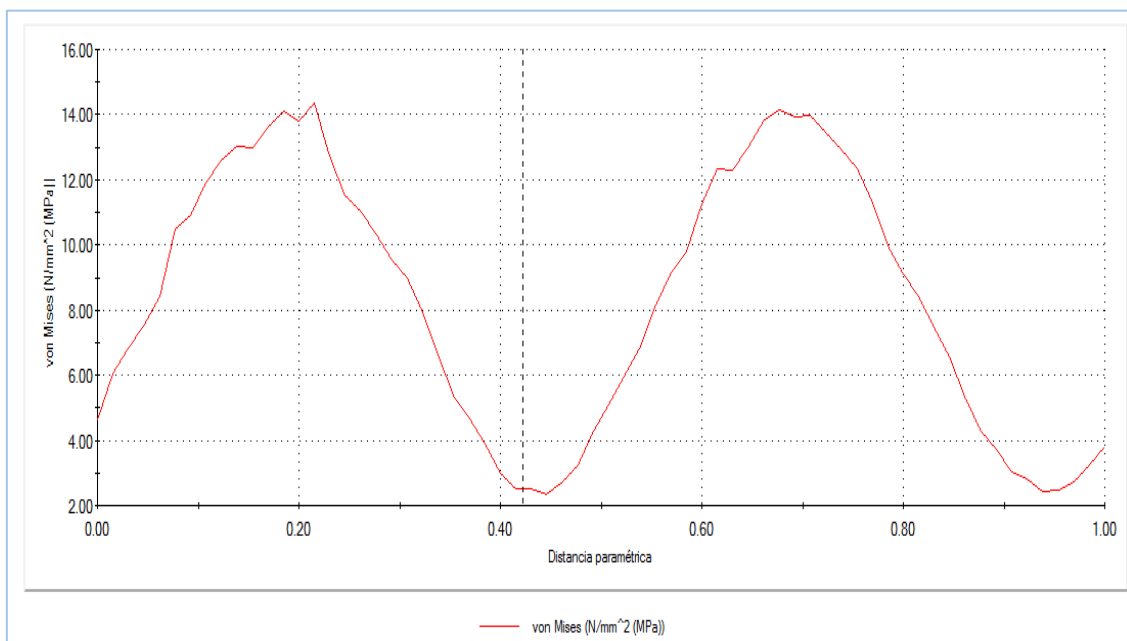
- La fuerza actuante en el eje “x” (2000N) ha flexionado al poste, pero no ha logrado quebrarlo, por lo tanto el material no ha variado en sus condiciones mecánicas.
- También se puede observar que el poste sufre un desplazamiento, pero no deforma su estructura.
- Para corroborar lo dicho, presentamos un resumen de los esfuerzos calculados por el Software son muy semejantes a los desarrollados mediante el análisis matemático:

Resumen		
	Valor	
Suma:	549.65	N/mm ² (MPa)
Avg	8.328	N/mm ² (MPa)
Máx.	14.358	N/mm ² (MPa)
Mín.	2.3257	N/mm ² (MPa)
Valor RMS (media cuadrática)	9.2514	N/mm ² (MPa)

Figura 4. 52. Resumen de Esfuerzos en poste por Von Mises
Fuente: Elaboración propia – SolidWorks.

Este cuadro resumen nos detalla que el esfuerzo máximo por Von Mises es 14.358 MPa, valor que está por debajo del encontrado matemáticamente, el cual es de 15.1614 MPa, lo que reafirma que el poste puede trabajar adecuadamente y sin perder sus características mecánicas.

- El comportamiento de los esfuerzos también lo podemos visualizar mediante un gráfico, donde nos presenta la acción de las fuerzas de acuerdo al plano de ubicación de las fuerzas, las cuales se han estudiado a 1.10m del poste (distancia de empotramiento del poste). El gráfico nos detallara como se dan los valores máximos y mínimos por el análisis de Von Mises.



Grafica 4. 1. Comportamiento de esfuerzos en poste.
Fuente: Elaboración propia - Solidworks

Esta gráfica nos define como varían las intensidades por el análisis de Von Mises (Energías de deformación) en toda la superficie del poste donde se concentraron las fuerzas, es decir a los 1.10m de empotramiento del poste como se habían bosquejado en el apartado de cálculos matemáticos:

Es decir, la fuerza aplicada en la punta del poste a lo largo del eje “x” realizara una acción donde el esfuerzo en el punto “A” será a tracción, con lo cual la gráfica mostrara el punto más alto de esfuerzo que será en 14.3MPa

aproximadamente, luego la misma grafica indica que la intensidad la fuerza desciende los 2.3MPa mostrando que la presión en el resto de la superficie es mínima, hasta que nuevamente llega al punto “C” donde el poste estará en compresión y nuevamente la gráfica muestra el mayor esfuerzo que estará en los 14.3MPa.

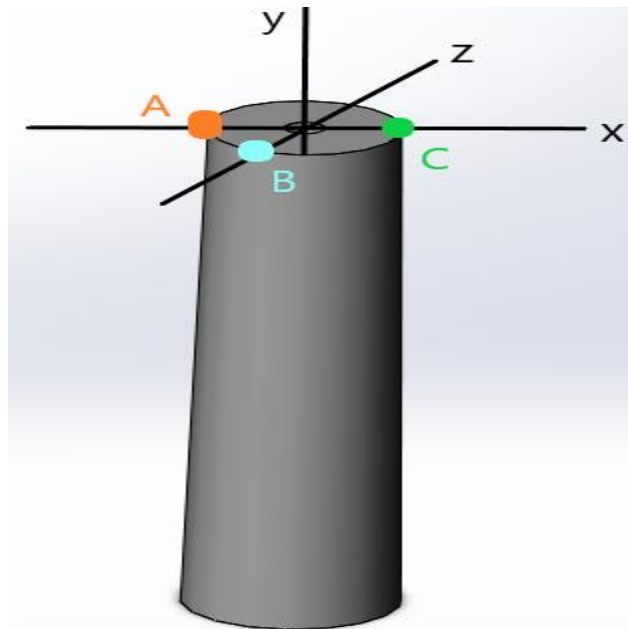


Figura 4. 53. Puntos críticos donde se darán los mayores esfuerzos.
Fuente: Elaboración propia

Los esfuerzos en el eje “y” realizan un esfuerzo de compresión en todo el poste, y de acuerdo a nuestros cálculos el valor máximo es de -7.6429MPa (por estar comprimiendo), intensidad que se cuantificara en cómo afecta al poste en su desplazamiento en el eje “y” posteriormente.

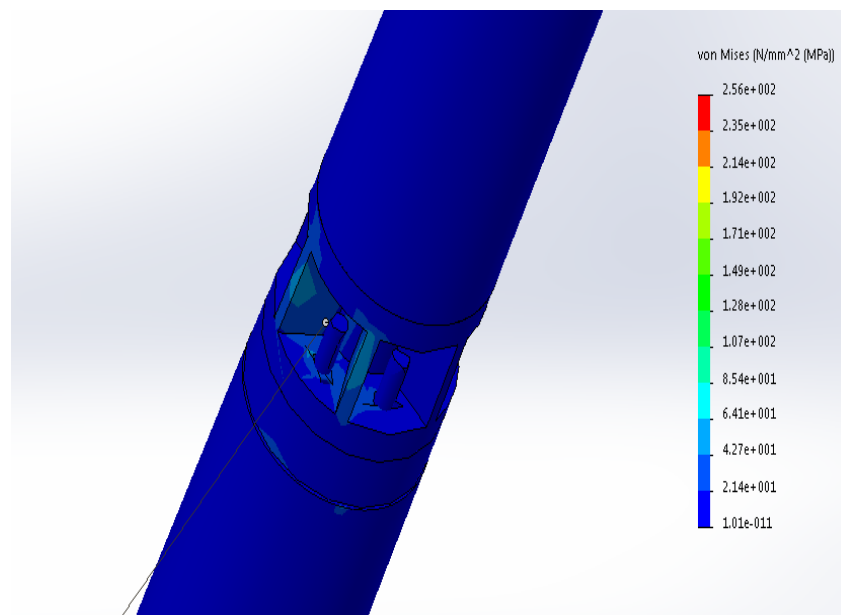


Figura 4. 54. Comportamiento de las bridas de unión del poste aramable.
Fuente: Elaboración propia - Solidworks

Como se puede visualizar, y teniendo en consideración que la unión del poste será a través de bridas de acero galvanizado, podemos visualizar que las bridas trabajan en condiciones normales, es decir los esfuerzos no van a afectar el material y la unión del poste.

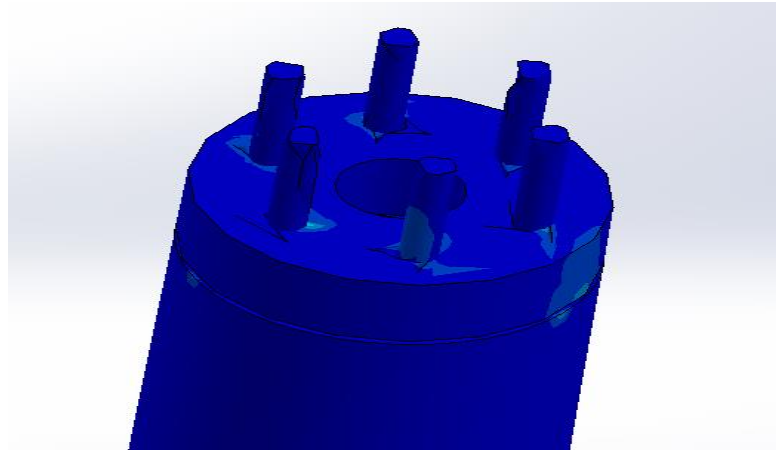


Figura 4. 55. Vista de trabajo de pasadores de sujeción.
Fuente: Elaboración propia - Solidworks

En la imagen adjunta, podemos observar como actuarán las bridas de unión como también los pernos de sujeción, los colores nos detallan donde concurren esfuerzos, y estos como podrían afectar a los elementos y por tanto la estructura y comportamiento del poste.

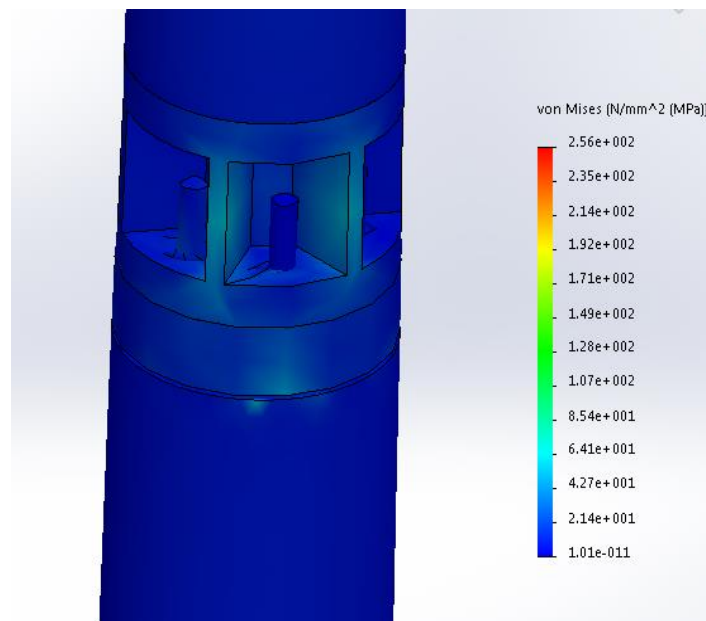


Figura 4. 56. Comportamiento de las bridas sometidas a esfuerzos.
Fuente: Elaboración propia - Solidworks

De igual modo podemos observar que tanto en la brida superior como inferior los esfuerzos no perjudicaran el comportamiento del poste, lo que nos representa que las bridas trabajan en un valor medio de esfuerzos, los cuales estarían aproximadamente en 8.54MPa, valore aceptable dentro del análisis que se viene realizando.

Sin embargo se debe verificar el esfuerzo cortante del perno, para cotejar si los esfuerzos durante el proceso aún están dentro de sus parámetros, de lo contrario se deberán cambiar el tipo de material de la estructura.

$$\tau_{med} = \frac{V}{A}$$

Dónde:

V = Fuerza

A = Área de la sección transversal

Item	Fuerza (N)	Area perno (mm ²)	Cortante (N/mm ²)
Pasador 1	3397.6	8977.1010	0.3785
Pasador 2	3984.1	8977.1010	0.4438
Pasador 3	4461.1	8977.1010	0.4969
Pasador 4	4376.1	8977.1010	0.4875
Pasador 5	6950.6	8977.1010	0.7743
Pasador 6	4654.4	8977.1010	0.5185

Tabla 4. 18. Valores fuerza cortante de pasadores
Fuente: Elaboración propia - Solidworks

Los valores obtenidos está dentro del rango de características del acero AISI 1020, del cual se ha seleccionado para fabricación de los pernos de sujeción, debido a que su esfuerzo máximo es 380Mpa, lo que permite que los pernos de sujeción acoplen adecuadamente a la estructura y trabajen adecuadamente.

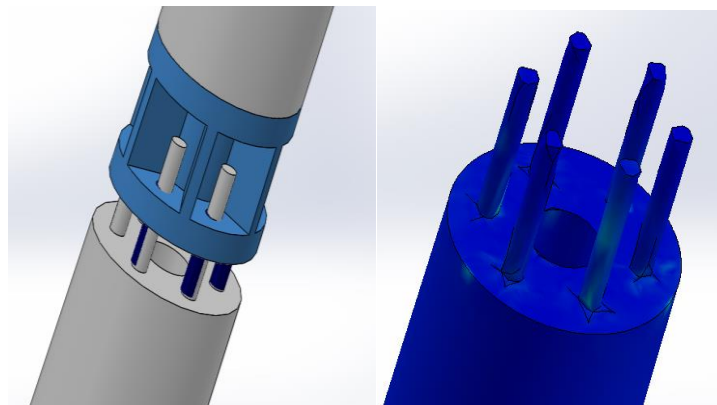


Figura 4. 57. Ubicación y comportamiento de los pasadores.
Fuente: Elaboración propia – Solidworks

4.5.1.3. Resultados de análisis: Desplazamientos

La simulación de la propuesta del poste, nos representa como varían los desplazamientos a lo largo de toda la estructura, además de variar las dimensiones de desplazamiento, teniendo más desplazamientos en la punta del poste, ya que es el punto donde se concentra la fuerza de diseño.

4.5.1.3.1. Desplazamientos en el Eje “X”

De acuerdo a la ubicación de las fuerzas, los mayores desplazamientos se darán en el Eje “X”, donde los 2000N flexionaran a la estructura llevándola hasta un punto máximo de flexión o de quiebre.

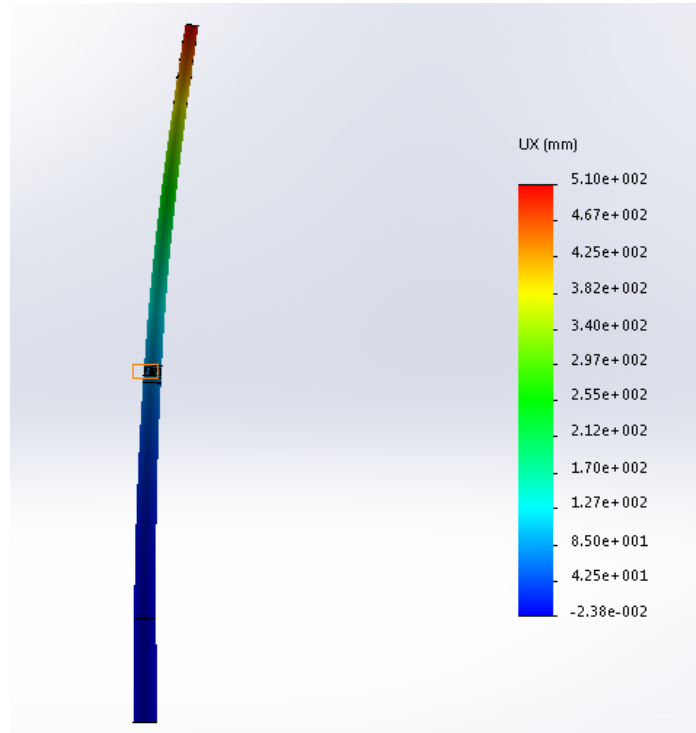


Figura 4. 58. Comportamiento de los desplazamientos del poste.
Fuente: Elaboración propia – Solidworks

El software de simulación nos muestra que los desplazamientos de la estructura en la base son mínimos, pero va variando a lo largo de la estructura, existiendo mayores desplazamientos en la parte superior del poste (punta), donde se concentran las fuerzas de trabajo. Los desplazamientos máximos en la punta son de 0.50995m (509.95mm). Estos desplazamientos máximos no deforman estructuralmente la estructura, solo han desplazado la punta por las fuerzas ejercidas y concentradas en la parte referenciada del poste.

Resumen		
	Valor	
Suma:	3.795e+006	mm
Avg	270.34	mm
Máx.	509.95	mm
Mín.	86.047	mm
Valor RMS	299.34	mm

Figura 4. 59. Resumen de desplazamientos máx - mín.
Fuente: Elaboración propia – Solidworks

De acuerdo al cuadro de resumen, los máximos esfuerzos se darán en la punta, debido que allí se concentran las fuerzas, los mínimos esfuerzos se darán cerca de la base del poste con un valor de 86.047mm, estos desplazamientos mínimos

se dan cerca de la base porque el poste esta empotrado a una altura de 1.10m de su longitud total.

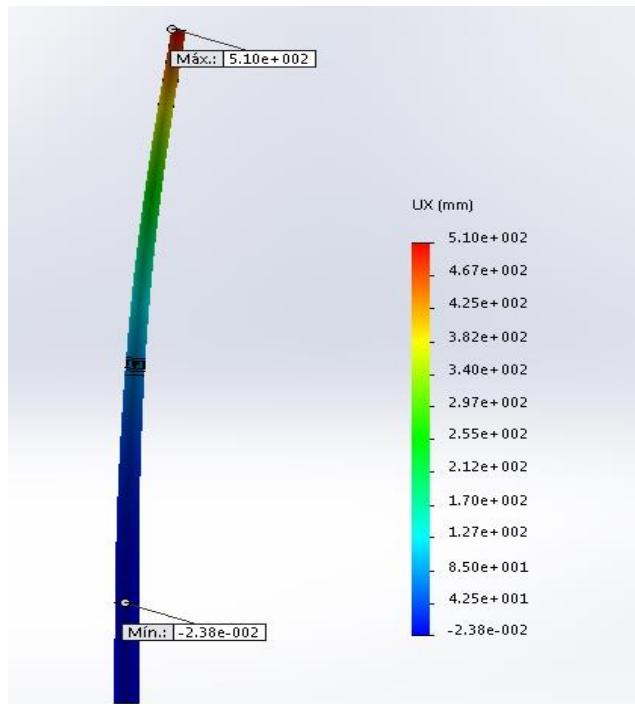


Figura 4. 60. Representación desplazamientos máx-mín.
Fuente: Elaboración propia – Solidworks

Como se puede visualizar, los máximos esfuerzos de desplazamiento se están dando en la punta, y los mínimos se dan a 1.10m de la base. Estos desplazamientos nos indican que el poste se puede flexionar pero no cederá a la fuerza que lo flexiona, porque el material presenta una buena rigidez.

Luego de las bridas de unión, los desplazamientos del poste van disminuyendo, debido a que se está analizando el comportamiento de esta estructura asemejándolo a un trabajo real. Para ello mostramos el siguiente resumen de la variación de los desplazamientos hasta llegar a la base, donde luego de la brida de unión el desplazamiento máximo es de 74.649mm, el mínimo es de -0.008705, en negativo porque el poste esta reacción en contra a la fuerza que lo flexiona.

Resumen		
	Valor	
Suma:	2.7545e+00	mm
Avg	23.186	mm
Máx.	74.649	mm
Mín.	-0.008705	mm
Valor RMS	31.84	mm

Figura 4. 61. Desplazamientos debajo de bridas de unión.
Fuente: Elaboración propia – Solidworks

Para los 1.10m de la base del poste, parte del poste que esta empotrada los desplazamientos son de 0.0mm.

4.5.1.3.2. Desplazamientos en el Eje “Y”

De acuerdo a la ubicación de las fuerzas, se ha considerado en el Eje “Y”, donde los 1000N van a comprimir a la estructura ocasionando un pequeño desplazamiento en su propio eje.

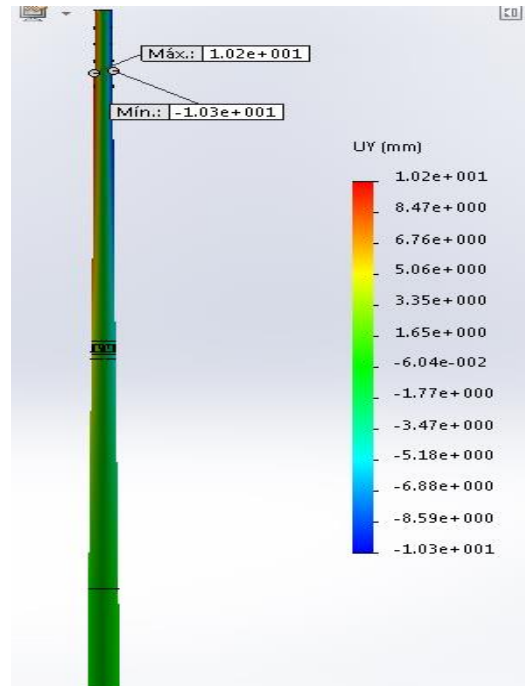


Figura 4. 62. Desplazamiento en el eje "y"
Fuente: Elaboración Propia – SolidWorks.

Los desplazamientos máximos y mínimos se darán en la punta, debido a que es el área más pequeña de toda la estructura, además el desplazamiento máximo será de 10.02mm, y el mínimo es de -10.03mm. Es desplazamiento en el poste sobre el Eje “y” comprime y afecta aún más a la punta de poste debido a que tiene un menor diámetro y también cuenta con orificios los cuales sirven para construir el tipo de armado de red.

4.5.2. Simulación de la propuesta del poste armable, basándose en normativas y criterios de análisis destructivos

Partimos de la norma, presentada por la *Organización CODENSA - Likinormas – España, ente encargado de constituir reglamentos para estudios con enfoques en diseño.*

Se hace referencia a esta normativa debido que al iniciar el desarrollo de este proyecto de investigación, fue CODENSA uno de los organismos más cercanos en implementar normas referente a fabricación de poste a base de fibras, con su primera presentación en el 2014, y su última actualización en el 2018, de la cual se están citando valores de trabajo.

Asimismo el Ministerio de Energía y Minas a través de la Dirección General de Electricidad en el año 2015, realizaron una Pre Publicación Especificación *Técnica ETS-LP 29, Postes de Poliester Reforzado con Fibra de Vidrio*, normativa que no ha sido actualizada.

El proyecto de investigación analiza el comportamiento de un poste armable o modular para redes de Distribución Rural en baja tensión utilizando material de fabricación maderas plásticas, con la finalidad de mejorar los montajes electromecánicos. No existe una normativa vigente debido a que el material es nuevo, pero los comportamientos del material con el de fibra de vidrio son semejantes. Además este estudio propone un punto de inicio para un posterior estudio ampliándolo a pruebas de laboratorio. De acuerdo a la normativa citada anteriormente, se han tomado algunos datos referenciales para realizar el análisis, buscado principalmente que el comportamiento del poste sea acorde a un posible trabajo real en campo.

Especificación Técnica ETS –LP 29: para un estudio destructivo señala:

- a. Altura sobre el nivel del mar: 4 500 m
- b. Humedad relativa: 50 a 95%
- c. Temperatura máxima y mínima: -15°C a 40°C.
- d. Precipitación Pluvial: Moderada intensa.

Asimismo la norma ETS-LP29 señala las siguientes pruebas en los postes, las cuales se han tomado para fundamentar el tipo de análisis que se ha realizado en el Software SolidWorks.

✓ Pruebas de esfuerzo nominal (Pruebas de Carga de Trabajo)

Los postes serán ensayados bajo el siguiente esquema:

La línea de empotramiento es la determinada para la altura del poste: $1/10H + 0,5$ m y la abrazadera circular se ubicará a 0,10 m de la cima del poste.

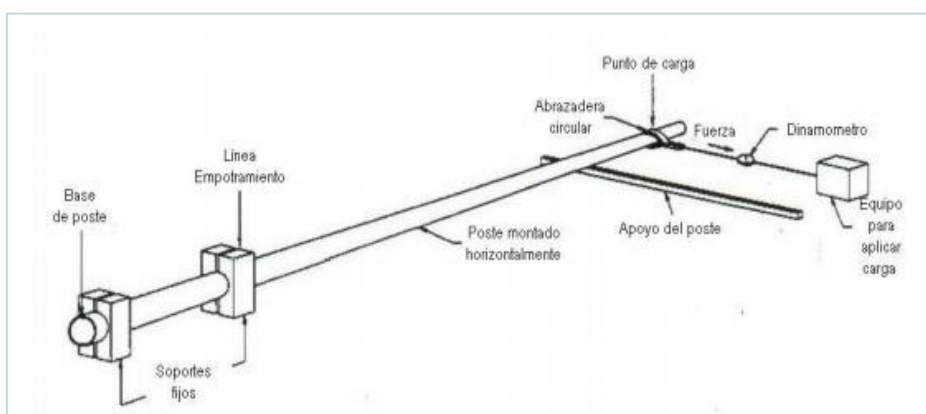


Figura 4. 63. Prueba de carga nominal y rotura.

Fuente: www.minem.gob.pe/archivos/prepublicacion-s40zdr7z2n42870.pdf

Los soportes fijos serán en un trabajo real el empotramiento del poste. Y la función del dinamómetro será medir la fuerza que se le aplica al poste, y la distancia que recorrerá

provocada por la fuerza de flexión será el desplazamiento del poste. Con esta prueba se realizan las pruebas de rotura máxima. Para nuestro caso, el programa realizara esta prueba, debido a que se indican las fuerzas y como actuaran en el poste.

✓ Pruebas de flexo torsión

Los postes deben ser ensayados bajo el esquema. La línea de empotramiento es la determinada para la altura del poste: $1/10H + 0,5 \text{ m}$ y el conjunto abrazadera-ménsula se ubicará a $0,10 \text{ m}$ de la cima del poste. La ménsula de acero tendrá una longitud de $0,60 \text{ m}$ para los postes de BT y de $1,0 \text{ m}$ para los postes de media tensión.

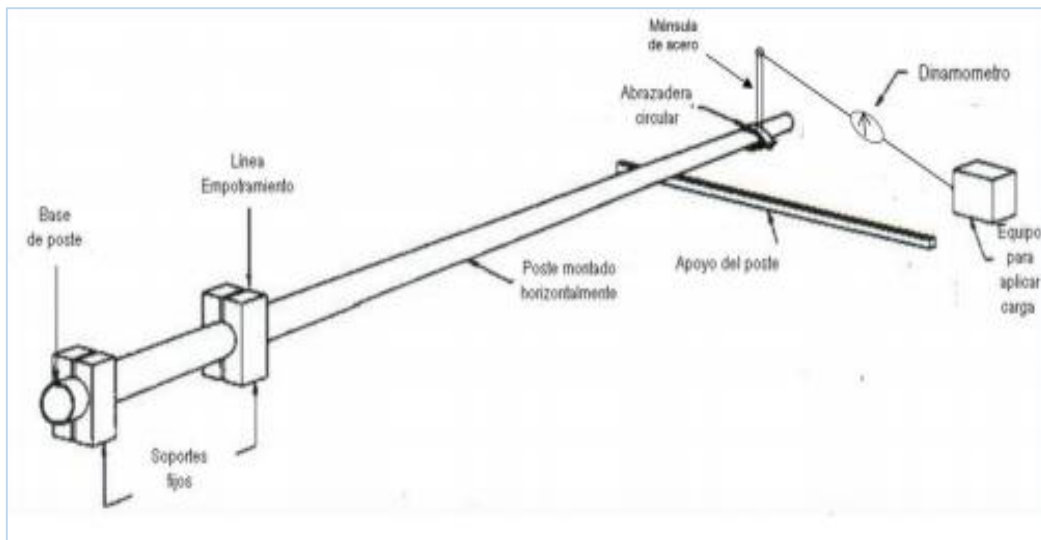


Figura 4. 64. Pruebas de Flexo torsión.

Fuente: www.minem.gob.pe/archivos/prepublicacion-s40zdr7z2n42870.pdf

Este tipo de prueba se aplica usualmente en poste de baja tensión, cuando dentro del proyecto se han contemplado colocar distanciadores, debido a no cumplirse el DMS (Distancia mínima de seguridad). Se señala esto, debido a los armados en baja tensión los esfuerzos de torsión son mínimos.

ET205 Postes de fibra ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: para un estudio destructivo señala:

Para postes de fibra (Factores de Trabajo)

- a. Resistir los rayos solares
- b. Evitar propagar la llama
- c. Rigidez dieléctrica elevada
- d. Alta dureza
- e. Alta resistencia a la tracción y a la flexión.
- f. Resistente a los químicos y ácidos.
- g. Debe ser libre de mantenimiento.
- h. No debe contener elementos que sirvan de alimento o permitan ser atacadas por microorganismos.

Cargas de diseño:

- e. 250 kg

Parámetros geométricos

- f. Diámetro cima: 14cm
- g. Diámetro Base: 32cm
- h. Longitud: 10 m (Pero se diseñara con 8m, por la normativa peruana para redes de distribución)
- i. Número de secciones embonables: 1 o 2.

De acuerdo a esta normativa, se puede definir las fuerzas fuerza que actuaran en el poste serán tanto en el eje x como en el eje “y”, localizándose en la punta, al igual que los ensayos destructivos que se citaron en los ítems anteriores, que se realizan a los postes, para generar el protocolo de pruebas. Se consideran las siguientes fuerzas:

- ✓ **Eje X: 2 500 N**, esfuerzo que se localizara en la punta del poste a 0.10m, el cual ha sido considerado para realizar el estudio y conocer como ejercerá su trabajo la estructura. Esta fuerza será ejercida por el conductor cuando se realice el flechado entre vanos contiguos.
- ✓ **Eje Y: 1000 N**, esfuerzo que se localizara en la punta del poste, el cual ha sido considerado para realizar el análisis de la estructura y visualizar su comportamiento. Esta fuerza será ejercida por el peso del conductor, la ferretería, además de las pastorales para alumbrado público, elementos que se utilizara para construir los armados en las estructuras en una red de electrificación.

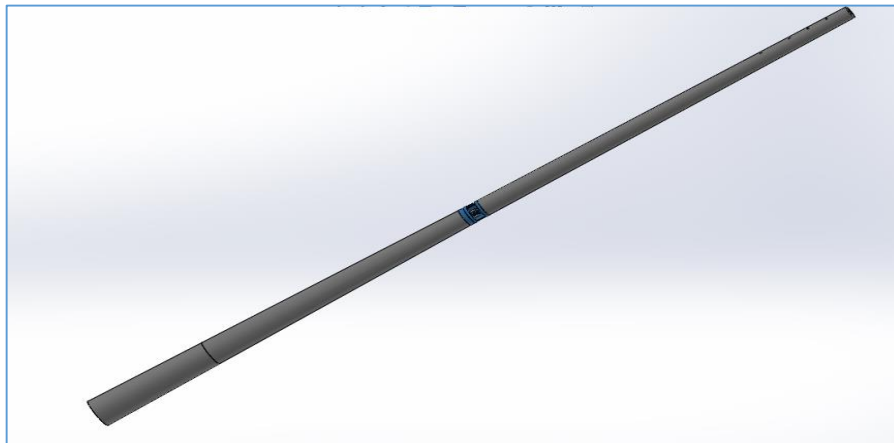


Figura 4. 65. Poste completamente ensamblado.
Fuente: Elaboración propia.

Para continuar con el análisis de simulación, todas las piezas que forman parte de esta propuesta, se han construido especificando y detallando adecuadamente sus cotas, de este modo el Programa de simulación trabajo correctamente. También debemos considerar, como será la unión de cada pieza, y como trabajara en relación a la pieza con la que se acopla.

4.5.2.1. Propiedades de fijación, sujeción y contacto del ensamble

Ahora se darán las fijaciones, sujeciones y contactos al diseño ensamblado, para delimitar el comportamiento, conocer las tensiones, desplazamientos, deformaciones, las cuales nos permitirán visualizar cuan eficiente es este material para desarrollar postes que servirán de estructuras de soporte en sistemas eléctricos rurales.

4.5.2.1.1. Sujeción del punto de anclaje

En este punto del proceso de simulación, se fijara el punto de anclaje, en este caso será la base del poste, el cual será cimentado durante su instalación, entonces, el diseño del poste estará fijado a 1.10m de su longitud desde la base.

Se han realizado dos modos de sujeción, el primero se realizó por una sujeción fija, que será el empotramiento, y la segunda sujeción se realizara por Geometría de referencia.

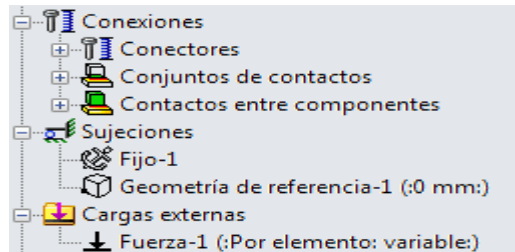


Figura 4. 66. Sujeciones del poste
Fuente: Elaboración propia.

Utilizando geometrías de referencia se han seleccionado las caras que ejercerán trabajo, además de seleccionar un plano de referencia. Se delimitan las traslaciones, solo seleccionando una conforme están actuando las fuerzas.

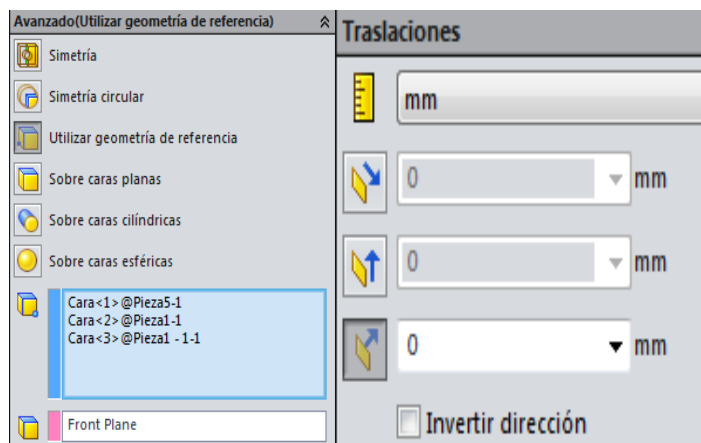


Figura 4. 67. Selección de referencias.
Fuente: Elaboración propia –SolidWorks.

A continuación presentamos como se dispondrá las fijaciones en el poste, como se ha dicho, es el empotramiento a 1.10m de la base del poste.

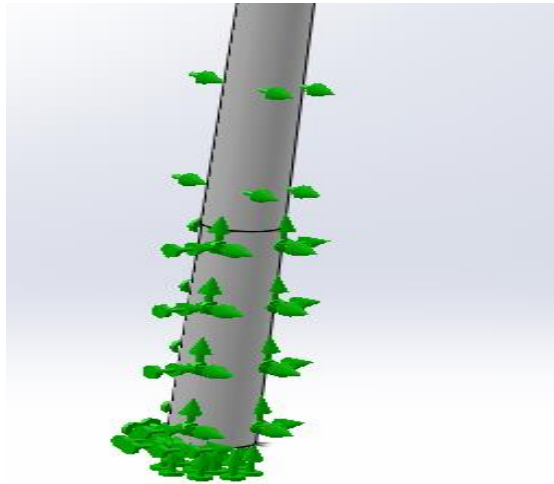


Figura 4. 68. Ubicación puntos de sujeción.
Fuente: Elaboración propia –SolidWorks.

4.5.2.1.2. Conexiones entre contactos de componentes, conectores

Continuando con el proceso de simulación, debemos especificar las conexiones que existirán entre cada componente. Empezamos por especificar como trabajaran los módulos, independientemente de sus elementos que constituyen a cada uno, como también un trabajo global.

- ✓ **Módulo 01:** En el diseño propuesto, el módulo está compuesto, por el cuerpo inferior del poste (base) que tiene una longitud de cuatro metros ($l = 4.0m$) (incluyendo la brida, $l=0.05m$), además de la brida de sujeción y los pernos deberán fabricarse embebidos en el módulo. En este módulo, los pernos estarán definidos como pasadores rígidos, y la brida estará en conexión o unión rígida (unido desde su manufactura), por lo que se comportan como una sola pieza.

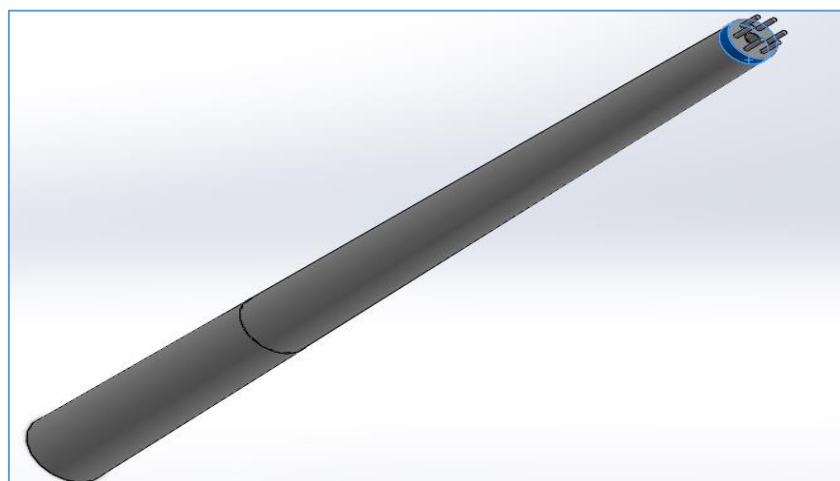


Figura 4. 69. Módulo 1 del poste (base).
Fuente: Elaboración propia –SolidWorks.

- ✓ **Módulo 02:** En el diseño propuesto, el módulo está formado, por el cuerpo superior del poste (punta) que tiene una longitud de

cuatro metros ($l = 4.0m$) (incluyendo la brida $l=0.15m$), además de la brida de sujeción que esta embebida al poste desde su manufactura. En este módulo la brida estará definida en conexión o unión rígida (unido desde su manufactura), lo que las volverá en una sola pieza.

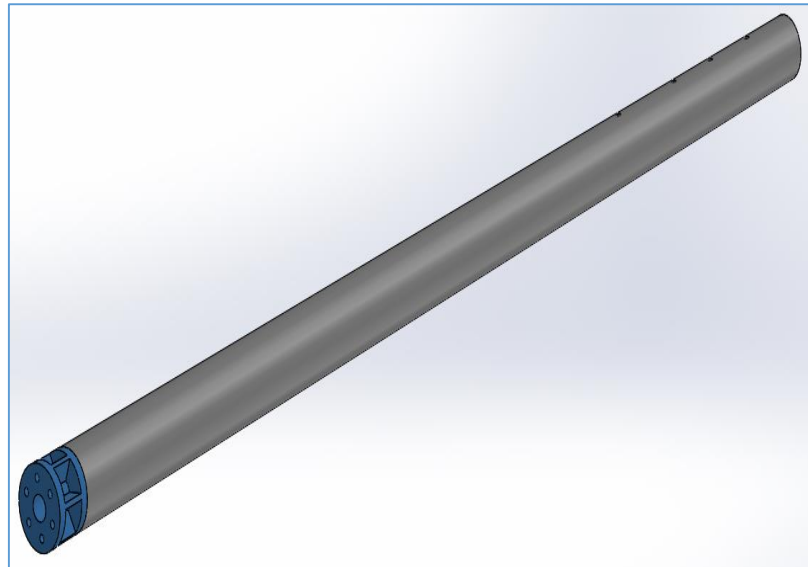


Figura 4. 70. Módulo 02 del poste(punta).
Fuente: Elaboración propia –SolidWorks.

Las conexiones entre ambos modulo estará definida como una unión sin penetración, debido que aquí es el punto donde ambos módulos se unirán. En esta unión se visualizara también el comportamiento de los pernos de sujeción.

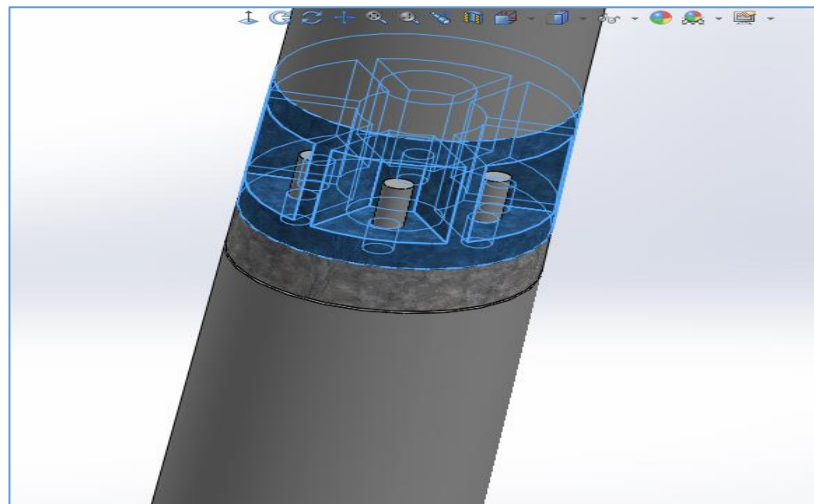


Figura 4. 71. Tipo de conexiones y unión entre módulos.
Fuente: Elaboración propia –SolidWorks.

Disposición de los pernos de ajuste, que unirán a los módulos de ensamble. Como se describió en las características del poste, éste estará sujeto por seis (06) pernos los cuales estarán fabricados con acero AISI 1020. Posteriormente se podrá visualizar el compartimento y las fuerzas de trabajo de estos elementos.

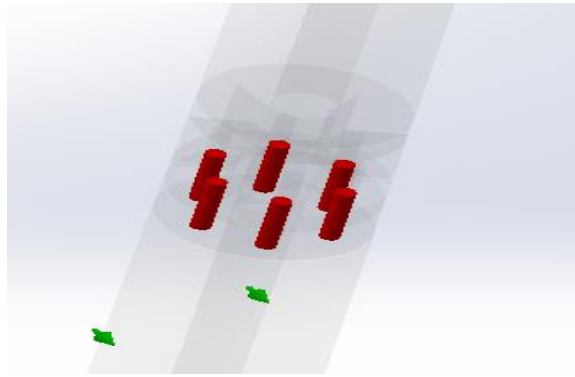


Figura 4. 72. Disposición de pernos de sujeción.
Fuente: Elaboración propia –SolidWorks.

4.5.2.2. Localización, orientación y Definición de cargas

Luego de haber definido los contactos entre elementos de toda la estructura de la propuesta de diseño del poste, se continúa con la localización, la orientación y definición de las cargas con las que el poste trabajar continuamente.

Para la orientación y localización se consideraran fuerzas en el *Eje x* = 2 500N ubicadas a 10cm de la punta, y para el *Eje y* = 1 000N, las cuales se localizan en la punta, ubicación del poste en el cual se ejercen todas las fuerzas de trabajo de este tipo de estructura. Todos estos esfuerzos se dan debido al flechado de los conductores entre vanos, peso del conductor y elementos de ferretería que son usados para construir un armado eléctrico. Estas disposiciones de las fuerzas serán las que permitan evaluar el comportamiento del poste, debido al estar sometidas a fuerzas de compresión y flexionantes.

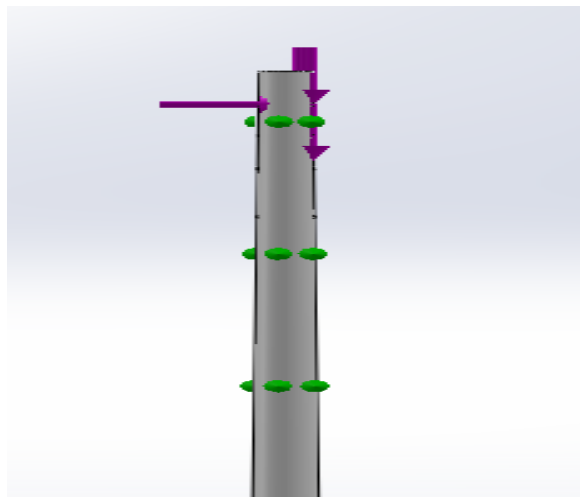


Figura 4. 73. Disposiciones de fuerzas en el poste.
Fuente: Elaboración propia –SolidWorks.

Después de haber definido, orientado y localizado las fuerzas de trabajo, se procede a *realizar y crear una malla de trabajo* para toda la estructura, la cual volverá a la estructura en pequeñas partes pero al mismo tiempo unido en una sola pieza; a partir de aquí parte el análisis estático de simulación mediante herramienta Solidworks Education (*para este estudio, versión 2014*).

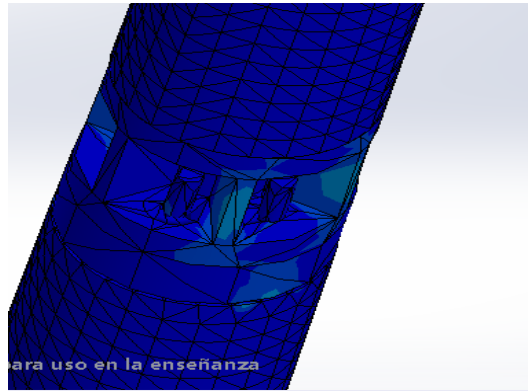


Figura 4. 74. tipo de Mallado para análisis.
Fuente: Elaboración propia –SolidWorks.

4.5.2.3. Resultados de análisis: Tensiones

Luego de que se ha realizado el enmallado mediante el software a la estructura que se está analizando, se procedió a realizar la simulación para evaluar el comportamiento de la estructura, debido a la presión que las cargas ejercen en el poste, este análisis se está realizando por el criterio de Von Mises, referido a Energías de deformación.

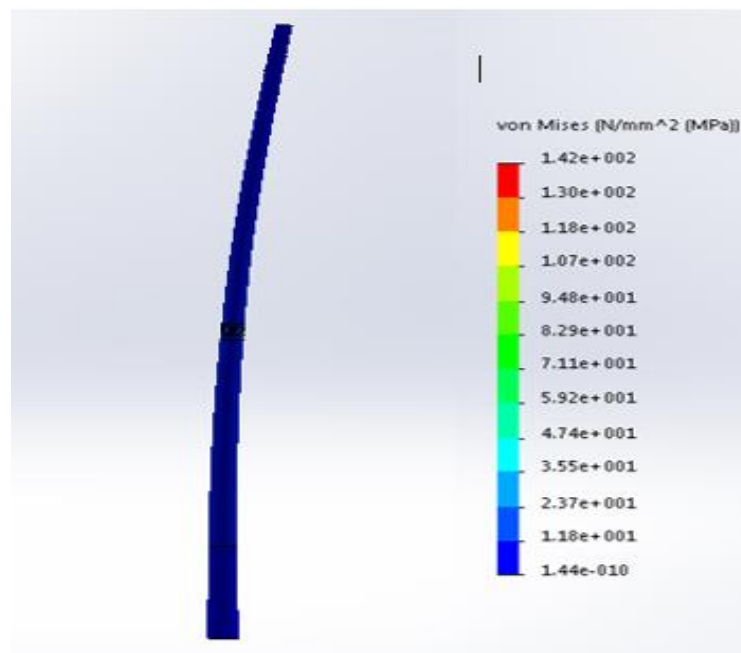


Figura 4. 75. Comportamiento poste por Von Mises
Fuente: Elaboración propia –SolidWorks

De acuerdo al análisis realizado por el Software, el cual nos muestra el siguiente comportamiento de la estructura:

- La fuerza que actúa a lo largo del eje “x” (2500N) flexiona al poste, visualizando el diagrama de colores y observando el comportamiento del poste notamos que la estructura no cambia, o no refleja que se está perjudicando sus características estructurales. Esto debido a que el material dentro de sus características tiene un límite elástico el cual no se sobrepasado (69.8MPa vs 10.482MPa).

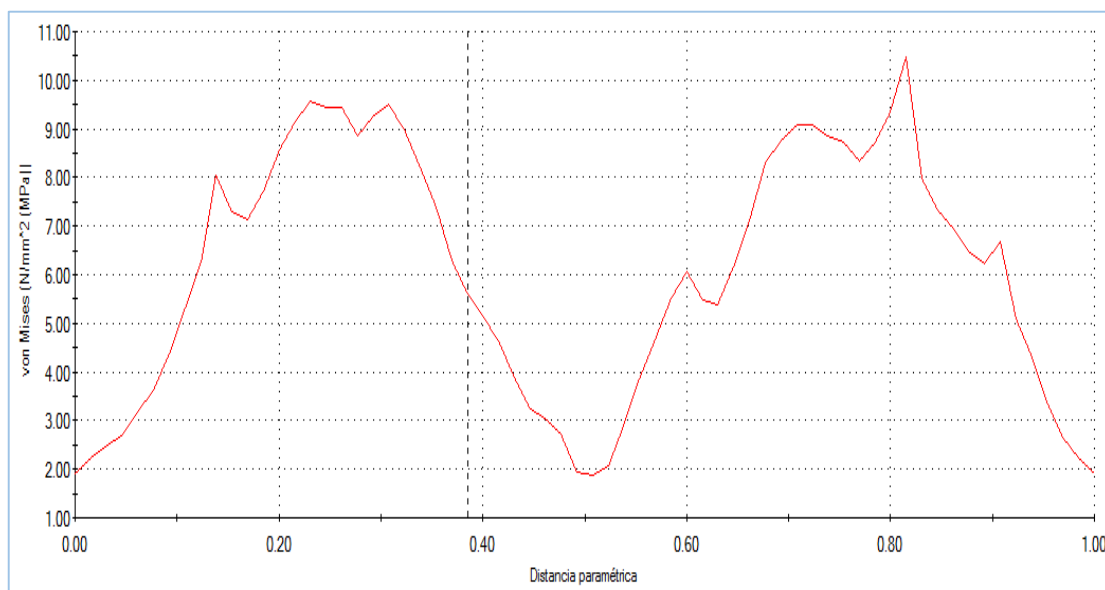
- También se puede observar que el poste sufre un desplazamiento específicamente en la punta, debido que estamos utilizando y concentrando las fuerzas en dicho lugar de acuerdo a lo especificado en la normativa, además se debe señalar que una vez suspendidas las fuerzas el poste puede volver a su posición inicial.
- Para corroborar lo dicho, detallamos un resumen de los esfuerzos calculados por el Software los cuales son muy semejantes a los desarrollados mediante el análisis matemático:

Resumen		
	Valor	
Suma:	399.24	N/mm ² (M
Avg	6.049	N/mm ² (M
Máx.	10.482	N/mm ² (M
Mín.	1.8813	N/mm ² (M
Valor RMS	6.5689	N/mm ² (M

Figura 4. 76. Resumen de Esfuerzos en poste por Von Mises.
Fuente: Elaboración propia – SolidWorks.

El cuadro resumen adjunto nos detalla que el esfuerzo máximo por Von Mises es 10.482 MPa, valor que está por debajo del encontrado matemáticamente, el cual es de 19.0916 MPa, lo que reafirma que el poste puede trabajar adecuadamente y sin perder sus características mecánicas.

- El comportamiento de los esfuerzos también lo podemos visualizar mediante un gráfico, donde nos representa como actúan las fuerzas de acuerdo al plano de ubicación de las fuerzas, las cuales se han estudiado a 1.10m del poste (distancia de empotramiento del poste). El grafico nos detallara como se dan los valores máximos y mínimos por el análisis de Von Mises.



Grafica 4. 2. Comportamiento de esfuerzos en poste.
Fuente: Elaboración propia - Solidworks

Esta gráfica nos representa como van variando las intensidades por el análisis de Von Mises (Energías de deformación) en toda la superficie del poste donde se concentraron las fuerzas, es decir a los 1.10m de empotramiento del poste como se habían bosquejado en el apartado de cálculos matemáticos:

La fuerza aplicada en la punta del poste a lo largo del eje “x” realizara una acción donde el esfuerzo en el punto “A” será a tracción con lo cual la gráfica muestra un pico alto de esfuerzo que será de 9.8MPa aprox, luego la misma grafica nos muestra como la intensidad de las fuerzas desciende a los 1.8813MPa mostrando que la presión en el resto de la superficie varían de acuerdo a las fuerzas que se han aplicado. Llega al punto “B” donde la fuerza debe estar aproximadamente en los 9.2MPa, luego desciende y nuevamente la intensidad crece al llegar al punto “C” donde el poste estará en compresión y nuevamente la gráfica muestra el mayor esfuerzo que estará en los 14.3MPa.

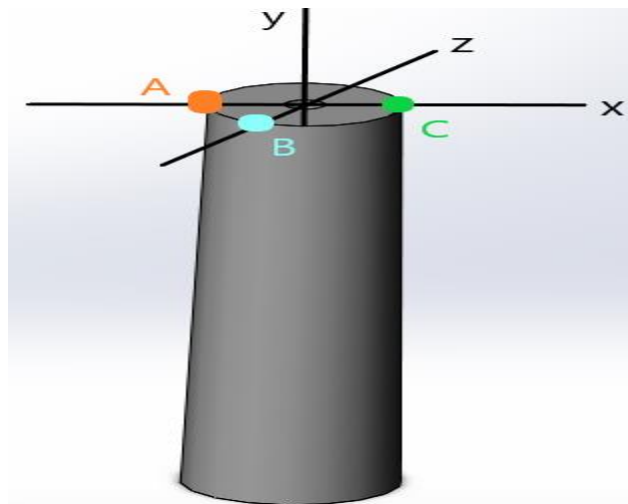


Figura 4. 77. Puntos críticos donde se darán los mayores esfuerzos.
Fuente: Elaboración propia

Las fuerzas en el eje “y” mantienen en energías de compresión en todo el poste, y de acuerdo a nuestros cálculos el valor máximo es de -9.5147MPa (por estar comprimiendo), intensidad que se cuantificara en cómo afecta al poste en su desplazamiento en el eje “y” posteriormente.

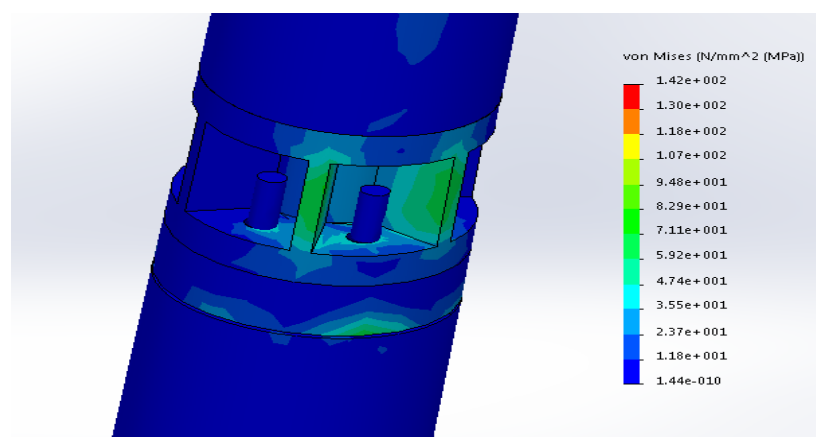


Figura 4. 78. Comportamiento de las bridas de acople en el poste.
Fuente: Elaboración propia - Solidworks

Como se puede visualizar, y teniendo en consideración que la unión del poste será por medio de bridas de acero galvanizado, podemos visualizar que las bridas trabajan en condiciones normales, es decir los esfuerzos no van a afectar el material de las bridas y la unión del poste.

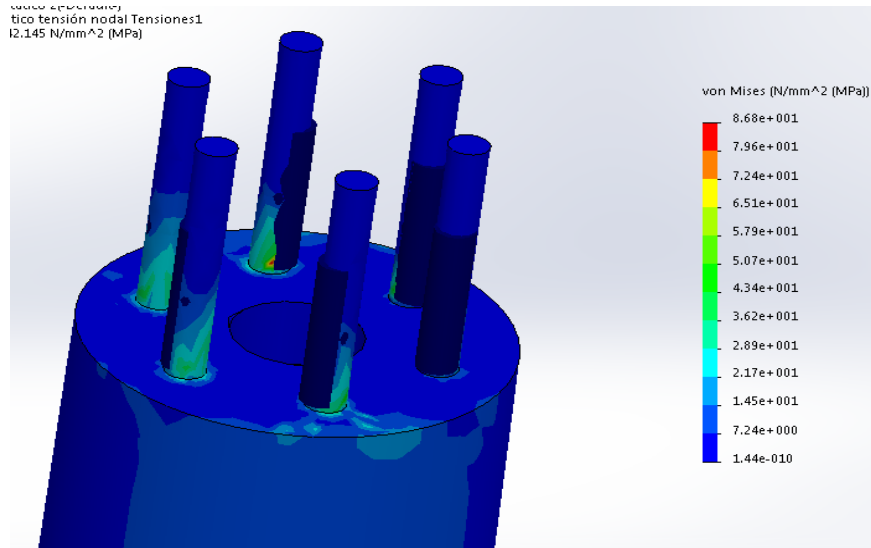


Figura 4. 79. Comportamiento de pasadores de sujeción.
Fuente: Elaboración propia - Solidworks

En la imagen adjunta, podemos observar como actuarán las bridas de unión como también los pernos de sujeción, los colores nos detallan donde concurren esfuerzos, y estos como podrían afectar a los elementos y por tanto la estructura y comportamiento del poste. El Software nos detalla que los esfuerzos en la brida como en los pasadores no se ven afectados por la acción de las fuerzas, lo que nos refleja que el poste puede trabajar adecuadamente, y la unión se mantendrá estable.

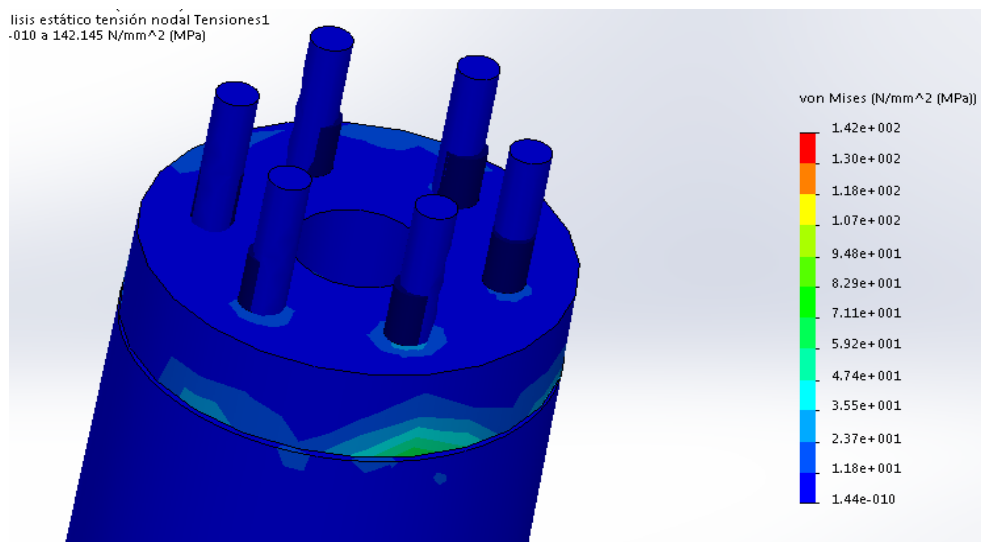


Figura 4. 80. Comportamiento de la brida, embebida en módulo 01.
Fuente: Elaboración propia - Solidworks

De igual manera podemos observar que tanto en la brida superior como inferior los esfuerzos no perjudicarán el comportamiento del poste, lo que nos

representa que las bridas trabajan en un valor medio de esfuerzos, los cuales estarían aproximadamente en 8.3MPa, valore aceptable dentro del análisis que se viene realizando.

Sin embargo se debe verificar el esfuerzo cortante en cada perno, para cotejar si los esfuerzos durante el proceso aún están dentro de sus parámetros, de lo contrario se deberán cambiar el tipo de material del perno.

$$\tau_{med} = \frac{V}{A}$$

Dónde:

V = Fuerza

A = Área de la sección transversal

Item	Cortante (N)	Area perno (mm ²)	Cortante (N/mm ²)
Pasador 1	4236.2	8977.1010	0.4719
Pasador 2	5887.5	8977.1010	0.6558
Pasador 3	4421.7	8977.1010	0.4926
Pasador 4	4058.2	8977.1010	0.4521
Pasador 5	6060.3	8977.1010	0.6751
Pasador 6	4848.7	8977.1010	0.5401

Tabla 4. 19. Valores fuerza cortante en pasadores.
Fuente: Elaboración propia - Solidworks

Los valores obtenidos está dentro del rango de características del acero AISI 1020, del cual se ha seleccionado para fabricación de los pernos de sujeción, debido a que su esfuerzo máximo es 380Mpa, lo que permite que los pernos de sujeción acoplen adecuadamente a la estructura y trabajen adecuadamente. Por lo que también podríamos buscar pernos de menores características mecánicas.

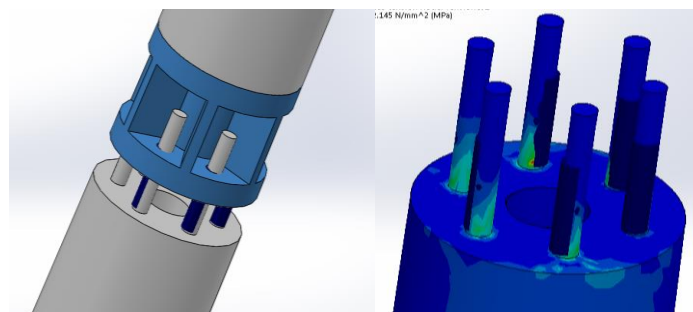


Figura 4. 81. Ubicación y comportamiento de los pasadores.
Fuente: Elaboración propia – Solidworks

4.5.2.4. Resultados de análisis: Desplazamientos

La simulación de la propuesta del poste, nos representa como varían los desplazamientos a lo largo de toda la estructura, además de variar las dimensiones de desplazamiento, teniendo más desplazamientos en la punta del

poste, ya que es el punto donde se concentra la fuerza de diseño durante el análisis de simulación.

4.5.2.4.1. Desplazamientos en el Eje “X”

De acuerdo a la ubicación de las fuerzas, los mayores desplazamientos se darán en el Eje “X”, para lo cual los 2500N flexionaran a la estructura llevándola hasta un punto máximo de flexión o de quiebre. Este análisis se puede definir como un estudio de rotura.

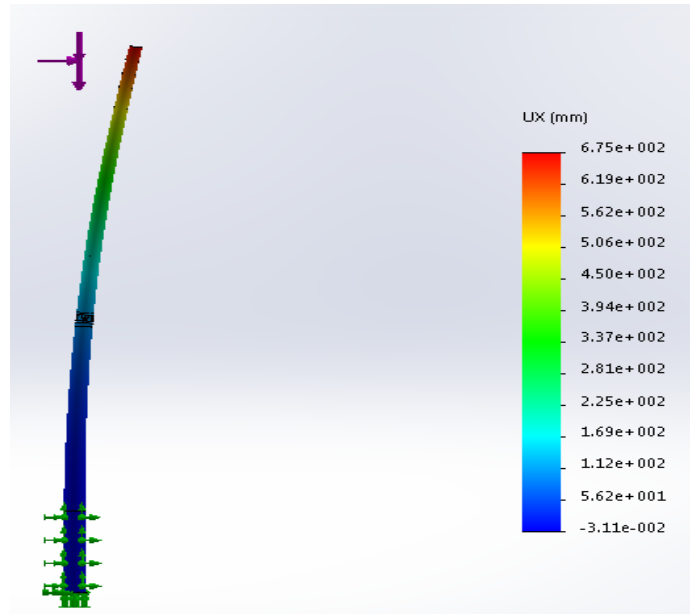


Figura 4. 82. Comportamiento de los desplazamientos del poste.
Fuente: Elaboración propia – Solidworks

El software de simulación nos muestra que los desplazamientos de la estructura en la base son mínimos, pero va variando a lo largo de la estructura, los mayores desplazamientos se darán en la parte superior del poste (punta), donde se concentran las fuerzas de trabajo durante la simulación. Los desplazamientos máximos en la punta son de 0.674.83m (674.83mm). Estos desplazamientos máximos no deforman estructuralmente la estructura, solo han desplazado la punta por las fuerzas ejercidas y concentradas en la parte referenciada del poste.

Resumen		
	Valor	
Suma:	5.1788e+00	mm
Avg	364.35	mm
Máx.	674.83	mm
Mín.	117.42	mm
Valor RMS	401.86	mm

Figura 4. 83. Resumen de desplazamientos máx - mín.
Fuente: Elaboración propia – Solidworks

De acuerdo con lo detallado en el cuadro resumen, los máximos esfuerzos se darán en la punta, debido que allí se concentran las fuerzas, los mínimos esfuerzos se darán cerca a las bridas de acople del poste con un valor de 117.42mm, estos desplazamientos mínimos se van reduciendo mientras se

acerca a la base, debido a que al encontrarse el poste empotrado a una altura de 1.10m se vuelve más rígido y no permite el desplazamiento.

Como se está visualizando, los máximos esfuerzos de desplazamiento se están dando en la punta, y los mínimos se dan a 1.10m de la base. Estos desplazamientos nos indican que el poste se puede flexionar pero no cederá a la fuerza que lo flexiona, porque el material presenta una buena rigidez.

Luego de las bridas de unión, los desplazamientos del poste van disminuyendo, debido a que el análisis de comportamiento de esta estructura se está acercando a un trabajo real. Para ello mostramos el siguiente resumen de la variación de los desplazamientos hasta llegar a la base, donde luego de la brida de unión el desplazamiento máximo es de 101.73mm, el mínimo es de -0.011703, en negativo puesto que el poste está ejerciendo una fuerza en contra a la energía que lo flexiona.

Resumen		
	Valor	
Suma:	3.737e+005	mm
Avg	31.456	mm
Máx.	101.73	mm
Mín.	-0.011703	mm
Valor RMS	43.258	mm

Figura 4. 84. Desplazamientos debajo de bridas de unión.
Fuente: Elaboración propia – Solidworks

Para los 1.10m de la base del poste, parte del poste que esta empotrada los desplazamientos son de 0.0mm.

4.5.2.4.2. Desplazamientos en el Eje “Y”

De acuerdo a la ubicación de las fuerzas, las fuerza considerada en el Eje “Y”, donde los 1000N van a comprimir a la estructura ocasionando un pequeño desplazamiento en su propio eje.

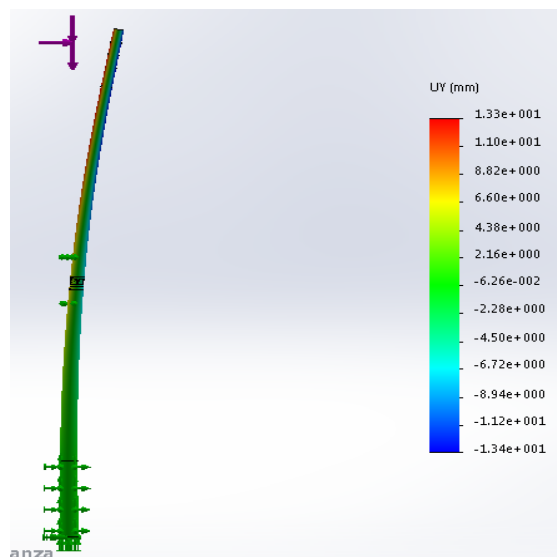


Figura 4. 85. Desplazamiento en el eje "y"
Fuente: Elaboración Propia – SolidWorks.

Los desplazamientos máximos y mínimos se darán en la punta, debido a que es el área más pequeña de toda la estructura, además el desplazamiento máximo será de 13.255mm, y el mínimo es de -13.38mm. Es desplazamiento en el poste sobre el Eje “y” comprime y afecta aún más a la punta de poste debido a que tiene un menor diámetro y también cuenta con orificios los cuales sirven para construir el tipo de armado de red, esto ocasiona que la rigidez sea menor este parte del poste.

Resumen		
	Valor	
Suma:	-649.54	mm
Avg	-0.045697	mm
Máx.	13.255	mm
Mín.	-13.38	mm
Valor RMS	8.6556	mm

Figura 4. 86. Desplazamientos en el Eje "y".
Fuente: Elaboración Propia – SolidWorks.

4.5.2.4.3. Desplazamientos en el Eje “z”

De acuerdo a la ubicación de las fuerzas, los desplazamientos en el Eje “Z”, son 0 mm, debido a como las fuerzas actúan sobre el poste. Las fuerzas trabajan directamente en el eje “x” y en el eje “y”.

Con respecto a los desplazamientos que se dan en el poste, podemos analizar que varían dependiendo de la intensidad, además de la ubicación para cómo van a ejecutar el trabajo. Tanto la norma española, la norma peruana y la norma Boliviana aceptan los siguientes desplazamientos:

PAIS	NORMA	Desplazamiento máximo (mm)	Desplazamiento poste (mm)
España [25]	ET205 Postes de Fibra	400	674
Boliviana [27]	RN-2016-IFO	440	
Perú [26]	ETS-LP29	640	

Tabla 4. 20. Desplazamientos aceptables por normas.
Fuente: Documento [25], [26], [27]

Como podemos constatar nuestro máximo desplazamientos es de 674mm calculado y analizado con el software SolidWorks, el cual detalla que es mayor a los que se han citado de las normas que se hacen referencia. Pero se debe señalar que la norma referencia es específicamente para postes de Fibra de Vidrio, material que dentro de sus características mecánicas es más rígido y estable que la madera plástica.

Asimismo revisando las normas y considerando las longitudes de empotramiento varían con respecto a la considerada dentro de este estudio, lo cual también mejora la rigidez del poste.

La madera plástica es un material nuevo, este estudio de investigación que se está realizando plantea la posibilidad de ingresar al mercado eléctrico un nuevo

material para la fabricación de postes, que busque funcionalidad y características innovadoras en cuanto a fabricación y adecuadas características mecánicas.

De igual modo se debe tener en consideración que se ha aplicado una carga de diseño de 2 500N para el análisis, pero este estudio busca llegar a los límites del comportamiento de flexión o de rotura del poste, por lo que se debe tener atención que a esfuerzos normales de trabajo, los desplazamientos del poste a base de madera plástica se pueden reducir y llegar a estar dentro de los parámetros que consideran la normativa referenciada.

4.5.2.5. Resultados de análisis: Deformaciones

Los resultados de la simulación de análisis de deformaciones nos muestra que estos se dan en las partes laterales del poste, es decir en el tramo donde se unen las bridas y acoplan a la estructura, parte donde empieza a deformarse el poste en estudio, teniendo los valores máximos en las bridas (0.0026994), y el mínimo en la base del poste (0.00048446). La figura nos detalla como la flexión en el poste va cambiando desde la punta del poste hasta las bridas de unión, tanto el parte de tracción y el extremo de compresión. Las deformaciones indican el comportamiento cambiante de la estructura, pero a pesar de estos cambios, la propuesta del diseño no ha fallado.

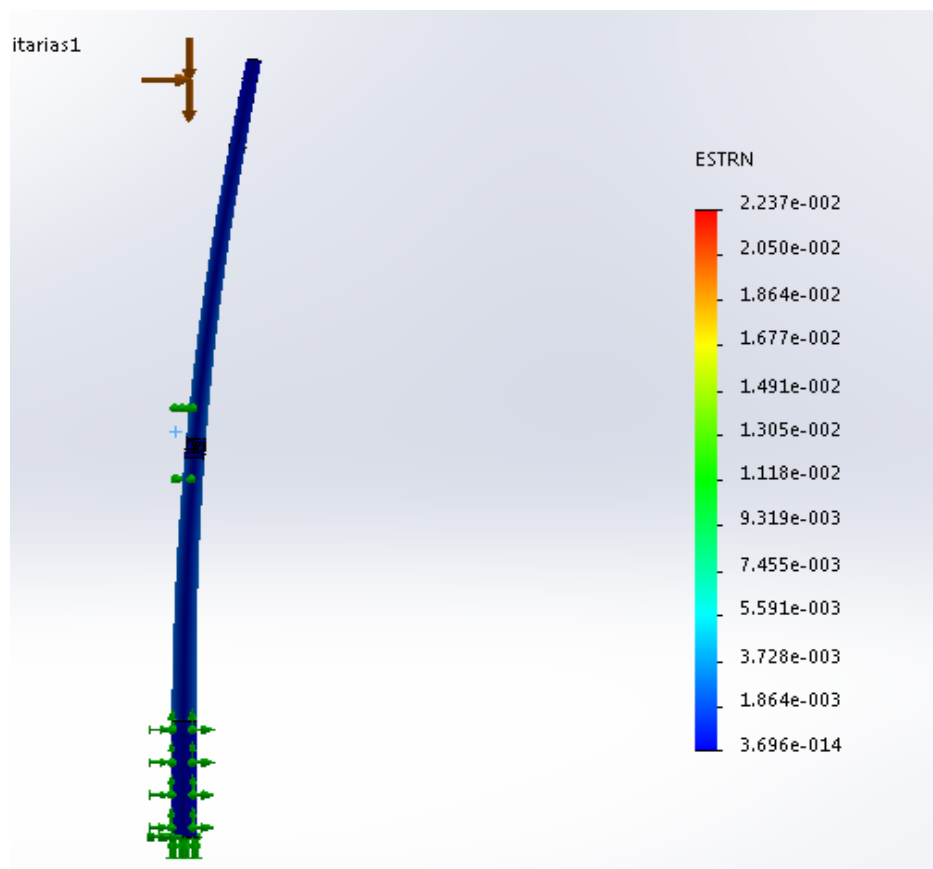


Figura 4. 87. Comportamiento de la deformación del poste.
Fuente: Elaboración Propia – SolidWorks.

4.5.3. Peso del Poste

Para obtener el cálculo del poste se ha tomado los volúmenes de cada elemento que conformar la estructura, estos volúmenes han sido tomados del análisis realizado por el programa durante la simulación. Para finalizar con la obtención del peso se han tomados las densidades de la madera plástica de acuerdo a los datos obtenidos de empresas referenciadas con anterioridad.

Elemento	Descripción	VOLUMEN PIEZA (cm ³)	DENSIDAD (g/ cm ³)	Masa (Kg)	Peso*Elemento	Peso*Modulo
Base Poste	BASE	55543.358	0.681	37.8250268	101.3368233	111.2279023
	CUERPO 1	93262.55	0.681	63.5117966		
	BRIDA 1	1256.808	7.87	9.89107896	9.89107896	
Punta Poste	BRIDA 2	2123.8191	7.87	16.7144563	16.71445632	66.36894139
	CUERPO 2	72914.075	0.681	49.6544851	49.65448508	
TOTAL (kg)						177.5968437

Podemos acotar que un poste a base de maderas plásticas tiene un peso global de 177.5968 kg, y a comparación de un poste de concreto que usualmente pesan 900 kg es el 19.733% del peso de este. Esta disminución de peso es importante, debido a que facilitara los traslados de estas estructuras en la zona rural, además está el factor que es armable o modular, lo que reduce aún más el peso del poste, y lo que aumenta aún más su facilidad.

A continuación visualizaremos algunos ejemplos de ensayos destructivos que se han aplicado en proyectos reales para las pruebas finales a los postes, que son usados actualmente en los proyectos de redes de distribución rural en baja tensión:

Ensayo realizado para postes de concreto, realizado por Prefabricados Fernández “P&F” de la ciudad de Chota en Cajamarca. Visualizaremos los ensayos realizados:



Figura 4. 88. Pruebas a postes de Concreto 8m.
Fuente: Prefabricados Fernández – Chota.

Ensayo realizado para postes de fibra de vidrio, realizado por EQUIPLAST S.A. “Polímeros y plásticos reforzados para la industria y la construcción” en el país de Ecuador. Visualizaremos los ensayos realizados:



Figura 4. 89. Ensayos a postes de fibra de vidrio.
Fuente: EQUIPLAST S.A. - Ecuador.

Los ensayos que se han referenciado, son con los cuales se ha enfocado en el análisis con ayuda del Software SolidWorks Simulations. Es un ensayo destructivo o por deformación de energías, con los cuales se somete a máximos esfuerzos al poste, hasta conocer su desplazamiento final y la energía con la que se provocara rotura en el poste.

4.6. EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE LA PROPUESTA DE DISEÑO DEL POSTE ARMABLE

De acuerdo al enfoque que tiene el presente proyecto de investigación, de utilizar un nuevo material como concepto de nuevo desarrollo tecnológico para la industria en el sector eléctrico, específicamente en la fabricación de estructuras de soporte o postes a base de materiales reciclados (plásticos termocontraíbles). Actualmente una de las ventajas competitivas para que una compañía tenga éxito en el mercado, es la innovación de sus productos y procesos; estos dos aspectos que ayudan a cualquier organización no solo aumentar la productividad y aguantar la presión de la competencia en cualquier mercado.

La creciente problemática mundial sobre temas ambientales como cambio climático, contaminación y pérdida de la biodiversidad, ha despertado en los últimos años un interés por la conservación del ambiente. Las organizaciones mundiales así como entidades del estado y privadas locales, han tomado una conciencia de conservación del planeta, que ha llevado a incluir la gestión ambiental y la responsabilidad social como parte del plan estratégico de la organización ubicándolos como factores críticos de éxito.

Un concepto ligado a la mejora de la gestión ambiental es el eco-diseño, el cual es una herramienta desarrollada a nivel mundial para trabajar, con el fin de gestionar la eficiencia y la calidad de sus procesos y las oportunidades en el mercado, incrementando el desempeño sus productos y/o servicios mientras que al mismo tiempo se hace partícipe del mejoramiento de la gestión ambiental. En otras palabras el eco-diseño nos brinda la oportunidad en el mercado de crear y producir para mejorar ganancias y competitividad y reducir los impactos ambientales negativos.

Con lo detallado se desarrollara un análisis económico tentativo de la propuesta de un diseño de un poste armable para redes de distribución en baja tensión a base de MADERAS PLASTICAS puede competir adecuadamente en el mercado frente a materiales convencionales y establecidos en la industria del sector eléctrico.

4.6.1. Cantidad y bajo costo de la materia

Los materiales plásticos que se utilizan para la creación de la madera plástica provienen en un 90% de un proceso de reciclaje, lo cual hace que su costo se reduzca. Lo que se logra con el material es eliminar la tala de bosques debido a que la madera plástica sustituye de forma total a la madera natural.

[28] Municipalidad Provincial de Chiclayo, “Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque”. Organización para el Desarrollo Sostenible ONG - ODS, 2012 (PIGARS). La gestión de los residuos sólidos urbanos constituye uno de los principales problemas que enfrentan actualmente los gobiernos locales; problemática que tiene su origen en diversos factores de índole económico, social, cultural y tecnológico. Entre los factores que más contribuyen y agravan esta problemática tenemos: la cantidad cada vez mayor de residuos que genera la población, la crisis económica que ha obligado en muchos casos a no realizar un cobro por los servicios prestados, el uso político del tema en las campañas electorales, la falta de educación y participación sanitaria de la comunidad, la formación de grandes botaderos de residuos, entre otros.

Cabe mencionar que la generación per cápita ponderada mostrada (0.511 kg/hab/día), resulta estar por debajo del promedio nacional de GPC, que es 0.53 kg/hab/día, y también al promedio de la región Costa que es de 0.539 kg/hab/día.[28]

Este valor nos refleja la cantidad de toneladas de residuos que se van a producir diariamente en la provincia de Chiclayo. La cual se presentara en los siguientes cuadros:

	Generación Domiciliaria Ton/día										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CHICLAYO	126.17	129.05	132.00	135.01	138.10	141.25	144.48	147.78	151.15	154.61	158.14
CAYALTI	7.86	8.01	8.18	8.34	8.51	8.68	8.85	9.03	9.21	9.40	9.59
CHONGOYAPE	7.66	7.80	7.94	8.09	8.24	8.39	8.55	8.71	8.87	9.03	9.20
ETEN	6.62	6.77	6.92	7.09	7.26	7.44	7.63	7.82	8.03	8.24	8.46
JOSE LEONARDO O.	97.88	100.47	103.09	105.73	108.40	111.10	113.83	116.58	119.37	122.18	125.01
LA VICTORIA	51.33	52.50	53.70	54.93	56.18	57.46	58.78	60.12	61.49	62.89	64.33
LAGUNAS	3.14	3.21	3.29	3.36	3.44	3.51	3.59	3.67	3.75	3.84	3.92
MONSEFU	12.41	12.67	12.94	13.21	13.49	13.77	14.06	14.35	14.64	14.94	15.24
NUEVA ARICA	0.97	0.98	0.99	1.01	1.02	1.04	1.05	1.07	1.08	1.10	1.11
OYOTUN	3.21	3.28	3.36	3.43	3.51	3.59	3.68	3.76	3.85	3.94	4.03
PATAPO	10.38	10.50	10.63	10.74	10.87	10.99	11.12	11.25	11.38	11.51	11.64
PICSI	3.31	3.38	3.45	3.52	3.59	3.66	3.73	3.81	3.89	3.96	4.04
PIMENTEL	17.27	18.09	18.94	19.83	20.77	21.75	22.77	23.85	24.97	26.15	27.38
POMALCA	8.48	8.64	8.76	8.88	9.01	9.13	9.26	9.39	9.52	9.65	9.79
PUCALÁ	4.02	4.10	4.18	4.27	4.35	4.44	4.53	4.62	4.71	4.81	4.90
PUERTO ETEN	1.04	1.06	1.07	1.09	1.11	1.13	1.15	1.17	1.19	1.21	1.23
REQUE	5.28	5.42	5.56	5.71	5.86	6.01	6.17	6.34	6.50	6.67	6.85
SANTA ROSA	5.44	5.61	5.79	5.97	6.15	6.34	6.53	6.73	6.93	7.14	7.35
TUMAN	11.23	11.35	11.48	11.61	11.74	11.87	12.01	12.14	12.28	12.41	12.55
ZAÑA	4.81	4.90	5.00	5.10	5.21	5.31	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87
PROVINCIA	388.49	397.80	407.27	416.93	426.80	436.88	447.18	457.69	468.44	479.41	490.63

Figura 4. 90. Generación de Residuos sólidos domiciliarios (ton/día)

Fuente: PIGARS- Chiclayo [28]

La cantidad de residuos que se producirán para un año es de una generación de 163,220 Ton/año. Ha esta cantidad de residuos producidos debemos sumarles los que se generan por origen no domiciliario.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CHICLAYO	76.07	74.37	76.07	77.81	79.59	81.40	83.26	85.16	87.11	89.10	91.13
CAYALTI	2.36	2.40	2.45	2.50	2.55	2.60	2.66	2.71	2.76	2.82	2.88
CHONGOYAPE	2.30	2.34	2.38	2.43	2.47	2.52	2.56	2.61	2.66	2.71	2.76
ETEN	1.98	2.03	2.08	2.13	2.18	2.23	2.29	2.35	2.41	2.47	2.54
JOSE LEONARDO O.	32.38	33.23	34.10	34.98	35.86	36.75	37.65	38.57	39.49	40.42	41.35
LA VICTORIA	13.28	13.58	13.89	14.21	14.53	14.87	15.21	15.55	15.91	16.27	16.64
LAGUNAS	0.94	0.96	0.99	1.01	1.03	1.05	1.08	1.10	1.13	1.15	1.18
MONSEFU	1.64	1.68	1.71	1.75	1.79	1.82	1.86	1.90	1.94	1.98	2.02
NUEVA ARICA	0.29	0.29	0.30	0.30	0.31	0.31	0.32	0.32	0.32	0.33	0.33
OYOTUN	0.96	0.98	1.01	1.03	1.05	1.08	1.10	1.13	1.16	1.18	1.21
PATAPO	2.52	2.55	2.58	2.61	2.64	2.67	2.70	2.73	2.76	2.79	2.82
PICSI	0.99	1.01	1.03	1.06	1.08	1.10	1.12	1.14	1.17	1.19	1.21
PIMENTEL	2.98	3.12	3.26	3.42	3.58	3.75	3.92	4.11	4.30	4.51	4.72
POMALCA	2.54	2.59	2.63	2.66	2.70	2.74	2.78	2.82	2.86	2.90	2.94
PUCALÁ	1.21	1.23	1.25	1.28	1.31	1.33	1.36	1.39	1.41	1.44	1.47
PUERTO ETEN	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25	0.26	0.26	0.27	0.27
REQUE	1.38	1.42	1.46	1.49	1.53	1.57	1.62	1.66	1.70	1.75	1.79
SANTA ROSA	1.63	1.68	1.74	1.79	1.85	1.90	1.96	2.02	2.08	2.14	2.20
TUMAN	4.10	3.41	3.44	3.48	3.52	3.56	3.60	3.64	3.68	3.72	3.77
ZAÑA	1.44	1.47	1.50	1.53	1.56	1.59	1.63	1.66	1.69	1.73	1.76

Figura 4. 91. Generación de Residuos sólidos no domiciliarios (ton/día)
Fuente: PIGARS- Chiclayo [28]

La generación de residuos sólidos de origen no domiciliario anual será de 61,656 toneladas (Chiclayo) en el año 2018. El aumento de generación de residuos domiciliario y no domiciliario al 2022, es elevado, lo que asegura un buen inicio para la generación de industria en la reutilización especialmente de plásticos y de biomasa.

La composición física de los residuos sólidos es importante, debido a que con ellos se puede conocer una cantidad tentativa de los materiales con los cuales se puede implementas programas formales de reciclaje, como el que enfoca este estudio.

Tipo de Residuo	CHICLAYO	ETEN	JOSE L. ORTIZ	LA VICTORIA	MONSEFU	PATAPO	PIMENTEL	PUERTO ETEN	REQUE	TUMAN	Promedio
Papel	4.635	4.970	1.661	2.074	3.919	10.140	4.333	4.134	4.780	6.500	4.71
Cartón	1.797	10.410	1.548	1.864	1.931	4.340	2.445	2.140	2.715	2.400	3.14
Vidrio	2.095	3.440	0.424	3.684	2.064	10.430	2.450	2.805	1.177	1.700	3.03
Hojalata (Metal Ferroso)	1.294	1.780	0.647	0.339	0.150	3.380	1.500	1.883	0.906	2.900	1.48
Aluminio (Metal No Ferroso)	0.108	1.040	0.028	0.354	0.772	0.560	0.317	0.012	0.039		0.36
PET(1)	1.441	2.870	0.447	0.123	1.054	7.050	2.865	1.140	0.931	1.500	1.94
PEAD (2)	0.510	0.610	1.738	2.260	1.917	0.950	0.582	0.640	1.806	2.400	1.34
PVC (3)	0.299		0.076	0.622	0.184		0.650	0.624	0.114		0.37
PEBD (4)	1.335		0.263	0.380	0.495		0.487	1.497	2.367		0.97
PP (5)	1.063		0.367	0.566	0.459	2.550	0.570	0.765	1.164		0.94
PS (6)	0.210		0.323	0.579	0.170		0.097	0.480	0.841		0.39
Otros (7)	0.544	2.380	0.941	0.436	0.664	5.480	0.375	0.103	0.454	6.300	1.77
Materia Orgánica	63.237	59.790	77.279	38.204	62.401	24.080	40.718	43.439	65.280	32.100	50.65
Tierra, arena, otros	2.358		4.205	21.011	5.302	18.160	5.981	8.073	0.266	23.800	9.91
Telas	1.981		1.650	1.169	3.641	2.140	2.105	2.081	2.325	3.400	2.28
Pañales	5.076		3.494	2.897	5.708		7.714	9.575	4.811		5.61
Papel Higiénico	4.081		1.020	2.094	2.312	6.450	4.690	4.273	2.095	7.700	3.86
Toallas Higiénicas	0.680		0.084	0.328	0.087		0.034	0.446	0.151		0.26
Productos Farmacéuticos	0.096		0.063	0.291	0.072		0.980	0.415	0.131		0.29
Pilas y baterías	0.031	0.130		0.003	0.015		0.020	0.015	0.033	0.400	0.08
Fluorescente y focos	0.059			0.026	0.034		0.522	0.060	0.107		0.13
Otros (Cuero, ceniza, porcelana)	7.071	12.580	3.742	20.896	6.649	4.290	20.565	15.400	7.527	8.900	6.50

Figura 4. 92. Composición física de los residuos.
Fuente: PIGARS- Chiclayo [28]

De acuerdo a este cuadro de composición física de los materiales reciclados, para nuestro estudio de análisis nos enfocaremos especialmente en materiales que sean de consistencia termoplástica como el PET, PEAD, PVC, PP.

Tipo residuo	% Residuo	Ton/año	Residuo (Ton/año)	Residuo (Ton/mes)
PET	1.94	224876	436259.44	36354.95333
PEAD	1.34		301333.84	25111.15333
PVC	0.37		83204.12	6933.676667
PP	0.94		211383.44	17615.28667
TOTAL			1032180.84	86015.07

Tabla 4. 21. Valores de residuos de plásticos.

Fuente: Elaboración Propia - PIGARS- Chiclayo [28]

El cuadro adjunto presentado nos revela que en la Provincia de Chiclayo tenemos una buena cantidad de residuos plásticos reutilizables, lo que podría convertirse en una buena industria, debido que tiene un factor de crecimiento medio de acuerdo a las tasas mostradas en el PIGARS. Asimismo este análisis nos refleja que proponer la fabricación de postes a base de maderas plásticas es conveniente, debido a las cantidades de basuras que se producen en la Ciudad de Chiclayo Provincia.

El costo promedio de los materiales que se utilizaran para la fabricación de madera plásticas son relativamente bajos en comparación a los costos de la materia que se utilizan para fabricar postes de concreto, o también costo menor a diferencia en los postes de fibra de vidrio. A continuación se presentara un cuadro resumen del costo del tipo de residuos que se utilizara para la fabricación del material:

Los precios que se consideran han sido referenciados al Informe Emitido por el Ministerio del Ambiente.

[29] Ministerio del Ambiente “Programa para el apoyo a las acciones de mitigación dentro del sector de manejo de residuos sólidos en el Perú” – Programa NAMA de Residuos Sólidos - Perú. Informe: Diagnóstico de los Residuos Sólidos en el Perú. Lima, 15 de noviembre del 2013.

Ítem	Descripción residuo	Nomenclatura	Costo x kg
1	Polietileno Tereftalato	PET	0.4
2	Polietileno Alta Densidad	PEAD	0.9
3	Cloruro de Polivinilo	PVC	0.8
4	Polipropileno	PP	0.9
5	Poliestireno	PS	0.9

Tabla 4. 22. Costo de residuos sólidos.

Fuente: Programa NAMA de Residuos Sólidos – Perú. [29]

Estos precios de costo citados en la Tabla 4.22, pueden variar de acuerdo a la condición de compra, lugar de compra. Pero relativamente son bajos para la producción de un material plástico, además que genera una fuente de trabajo y se convierte en un Plan de negocio y de acciones para mitigar el mal manejo de residuos sólidos de este tipo, y que pueden afectar e incrementar los efectos del cambio climático. La generación de maderas

plásticas es un nuevo enfoque de la industria a nivel internacional, muy poco conocido y explotado a nivel nacional.

4.6.2. Descripción y proceso de Fabricación del material

Iniciaremos describiendo las características de los residuos sólidos que se usan para la fabricación del poste a base de madera plástica:

- ✓ **PET** (polietileno tereftalato): Pertenece al grupo de materiales sintéticos llamados poliésteres. Se puede procesar por extrusión, inyección, soplado o termoconformado [31]. Botellas transparentes de gaseosas, cosméticos, empaques de electrónicos. [30]
- ✓ **HDPE o PEAD** (polietileno de alta densidad): elaborado a partir del etano, uno de los componentes del gas natural). Es muy versátil y se lo puede procesar por inyección, soplado, extrusión, o rotomoldeo [31]. Botellas de champú, botellas de yogur, baldes de pintura, bolsas de electrónicos, jabs de cerveza, bateas y tinas. [30]
- ✓ **PVC** (cloruro de polivinilo): Se produce a partir de dos materias primas naturales: petróleo o gas natural 43% y cloruro de sodio o sal común 57%. Se obtienen productos rígidos o totalmente flexibles por inyección, extrusión o soplado [31]. Tubos, botellas de aceite, aislantes eléctricos, pelotas, suela de zapatillas, botas, etc.[30]
- ✓ **PP** (polipropileno): Se obtiene por polimerización del propileno. Los copolímeros se forman agregando etileno durante el proceso. El PP es un plástico rígido [31]. Empaques de alimentos (fideos y galletas), tapas para baldes de pintura, tapas de gaseosas, estuches negros de discos compactos.[30]
- ✓ **PS** (poliestireno): Es un polímero de estireno monómero (derivado del petróleo), cristalino y de alto brillo. Es fácilmente moldeable a través de procesos de inyección, extrusión y soplado [31]. Juguetes, jeringas, cucharitas transparentes, vasos de tecnopor, cuchillas de afeitar, platos descartables (blancos y quebradizos), casetes. [30]

Ahora continuamos con el desarrollo del proceso de fabricación del poste, en el cual desarrollaremos nuestro diagrama de flujo previa descripción del proceso:

- 1. Recepción de Residuos plásticos:** Los residuos plásticos serán captados en el local donde se realizarán las operaciones y serán depositados en el almacén de materias primas. Antes de almacenarlos temporalmente, éstos serán pesados por tipo con la balanza. Una vez pesado, el plástico será colocado por tipo para no generar confusión a la hora de procesarlo, es decir, se dispondrán el PET, PEAD PVC, PP Y PS.

2. **Acondicionamiento:** Previo al molido, el plástico será acondicionado para que el proceso de molienda se realice sin retrasos. Este proceso consiste en cortar los elementos plásticos que sean demasiado grandes para ser molidos.
3. **Molienda:** La molienda del plástico se realizará en el molino de cuchillas. El plástico será molido por tipos (PEAD, PET, PVC, PP, PS), para mantener un orden de producción. El molino vendrá equipado con diversos tamices para poder establecer el tamaño del scrap. El tamaño del scrap será de 3/8" por lo que el tamiz será de 3/8 x 3/8 pulgadas. El molino será alimentado por los operarios y tendrá una tolva de alimentación para facilitar la carga.
4. **Lavado y Secado:** La máquina lavadora y secadora de plástico será provista de scrap que ha sido resultado del molido. El lavado del plástico se realizará con agua potable de la red pública y con detergente industrial. La máquina lavadora estará conectada a una red interna de agua (se trabajará con un tanque de agua en las instalaciones) y además estará conectada a la red pública de desagüe y alcantarillado, para desechar el agua utilizada.
5. **Extrusión:** La extrusión es el proceso fundamental para dar forma a los polímeros que se están utilizando en la fabricación del poste. La extrusión es un proceso donde se funde, calienta (250°C) y se le fuerza a fluir a través de un orificio practicado en un molde a fin de obtener un producto largo y continuo, cuya sección transversal adquiere la forma determinada por el molde. En este proceso se suministrara el material de acuerdo a las dimensiones y valoraciones requeridas.
6. **Vaciado:** Debido a la acción de empuje, se hunde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado donde se encuentran los moldes para ser vaciados con el plástico fundido.
7. **Enfriamiento:** La máquina cuenta con un sistema de enfriamiento gradual por medio de aire refrigerado incorporado a cada estación del molde. Se compone de un equipo de refrigeración de altas temperaturas.
8. **Desmoldado y revisión de dimensiones:** Luego del proceso de enfriamiento, se continua con el desmoldado para realizar la revisión de acabado y dimensiones del elemento producido, finalizando el proceso con el almacenamiento del producto ha espera de su distribución.

4.6.2.1. Descripción de equipos:

A continuación se detalla mediante una tabla los equipos y cantidad, los cuales han sido considerados usar en la fabricación de postes a base de madera plástica, de los cuales nos enfocaremos específica y principalmente en su capacidad de producción, dato que nos servirá para calcular la producción que obtendremos, además el costo del postes, utilidades que generaremos en producir el mismo, también conoceremos tentativamente la inversión que

deberemos realizar y el tiempo en la cual tendremos la recuperación de lo invertido y nuestras primeras ganancias.

Descripción maquinaria	Cantidad
Balanza, 1000Kg	1
Molino, 500Kg/hr	1
Lavadora/secadora, 250 Kg/hr	1
Extrusora, 150Kg/hr	1
Moldes	2
Sierra de corte	1

Tabla 4. 23. Resumen Capacidades equipos.
Fuente: Elaboración propia

Luego de haber detallado las capacidades y cantidades de equipos se han evaluado utilizar, se describirá brevemente cada equipo:

✓ **Balanza de rampa:** Especificaciones de la balanza de rampa: [31]

- Capacidad: 1000 Kg
- Plataforma de acero para uso rudo
- Estructura de fierro estriado
- Rampa de 170 x 80 x 40 cm
- Pantalla LCD
- Luz de fondo
- Batería recargable
- Alimentación directa 220 V

✓ **Molino:** Especificaciones técnicas del molino de corte: [31]

- Capacidad de molienda (Kg/h): 500
- Tamaño del producto molido: Scrap de 3/8 " (Tamiz variable)
- Dimensiones del equipo (L x A x H) centímetros: 110 x 90 x 160
- Peso aproximado del equipo (Kg.): 600
- Potencia (HP): 3, Trifásico
- Voltaje (Voltios): 220 - 440
- Cuchillas: Rotor de 6 porta cuchillas, y 4 cuchillas paralelas
- Material Cuchillas: Acero especial Bohler K 100

✓ **Lavadora – secadora:** Especificaciones de la lavadora – secadora de plásticos:

- Capacidad del tambor (Kg): 50
- Capacidad de lavado – secado diaria (Kg/h): 250
- Potencia motor (HP): 3 HP, Trifásico
- Voltaje (Voltios): 220 – 440
- Combustible calentadores : Gas doméstico o energía eléctrica

✓ **Extrusora:** Especificaciones técnicas de la extrusora:

- Capacidad de molienda (Kg/h): 150
- Dimensiones del equipo (L x A x H) centímetros: 341.5 x 150 x 152
- Peso aproximado del equipo (Kg.): 5250
- Potencia (HP): 40, Trifásico

✓ **Moldes:**

La máquina cuenta con 2 moldes de acero al carbón con estructura de refuerzo, que corren a través de la misma sobre rieles que conforman un circuito cerrado. Cada molde tiene 4 trenes de rodamiento a base de ruedas embaladas de hierro fundido, alineación sobre los rieles.

✓ **Sierra caladora**

- Capacidad de corte (pulgadas): 1
- Potencia (Watt): 100
- Materiales de corte: Madera, plásticos y metales no ferrosos

4.6.2.2. Tiempo de fabricación poste:

De acuerdo a las capacidades de producción de cada equipo que están siendo consideradas dentro de este análisis, se determina los tiempos de trabajo en cada proceso de acuerdo a los porcentajes que representa cada peso de los módulos que forman el poste.

Es decir, del cuadro adjunto indicamos por ejemplo que el módulo 1 tiene un peso de 101.6668kg, lo que representa en el proceso de molido que tiene una capacidad de 500Kg/hr el 20.2674% de mencionado trabajo, que utilizaría un tiempo de 12 minutos.

Tiempo de fabricación del poste								
Módulos	Pesos (Kg)	Molido (500Kg/hr)		Lavado/Secado (250Kg/hr)		Extrusión (150Kg/hr)		Total Min. Modulo
		% Cap. Molido	Min. Molido	% Cap. Lav/sec	Min. Lav/sec	% Cap. Extrusión	Min. Extrusión	
1	101.3368	20.2674	12	40.5347	24	67.56	41	77
2	49.65449	9.9309	6	19.8618	12	33.10	20	38
Horas de Fabricación Poste								115

Tabla 4. 24. Tiempo fabricación poste
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla presentada, la cual nos muestra que para fabricar un poste se requiere de 115 min, lo que para nuestro análisis podríamos

considerarlo como una producción de 2 horas poste. Esta cantidad estimada de horas nos representa cuantos postes podríamos producir diariamente.

4.6.3. Diagrama de Flujo

De acuerdo a la descripción de nuestro proceso, desarrollaremos un diagrama de flujo, de manera que nos sintetice el desarrollo de producción que realizamos:

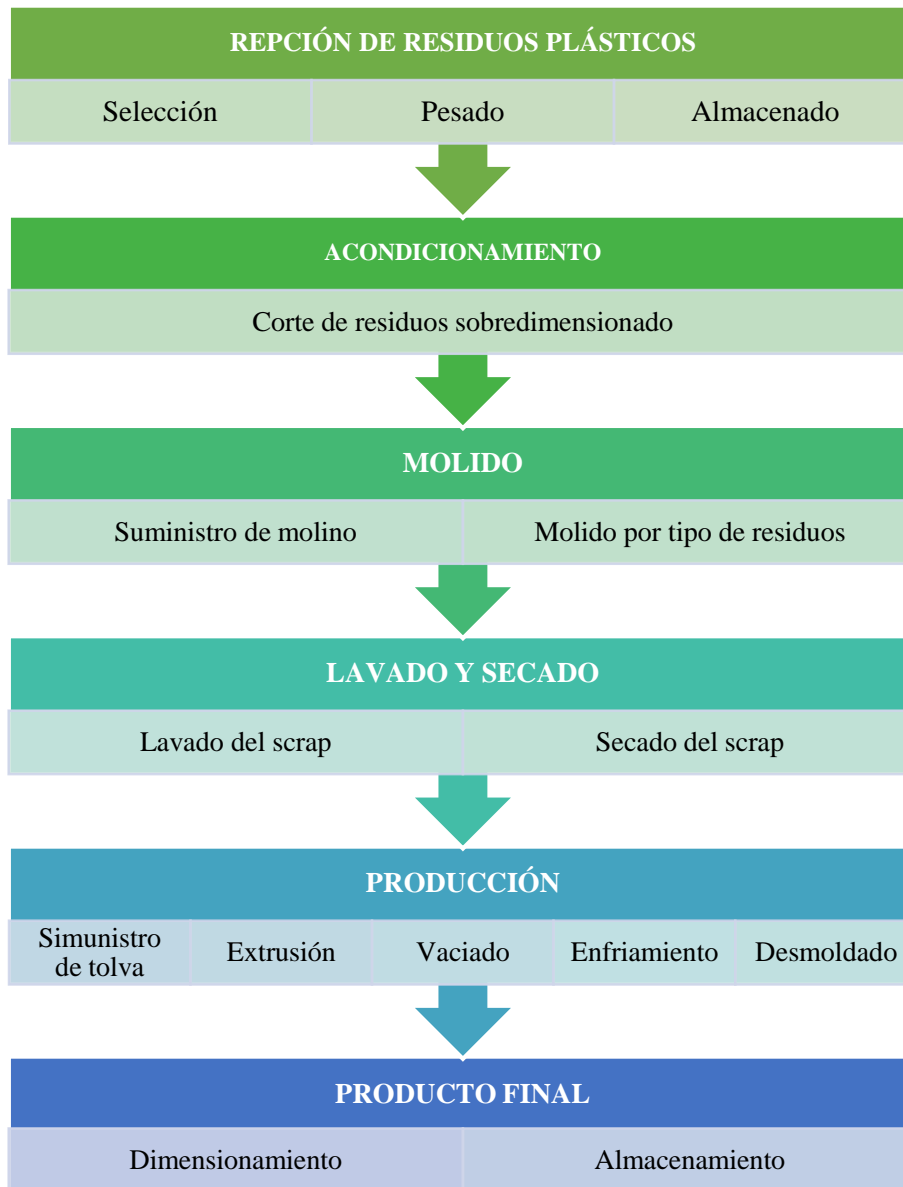


Figura 4. 93. Diagrama de flujo.
Fuente: Elaboración Propia.

4.6.4. Distribución de Planta:

De acuerdo al diagrama de flujo que hemos presentado, realizaremos una distribución de planta, para diferenciar y tener un orden en los procesos, que finalicen en un eficiente proceso de producción de postes de madera plástica.

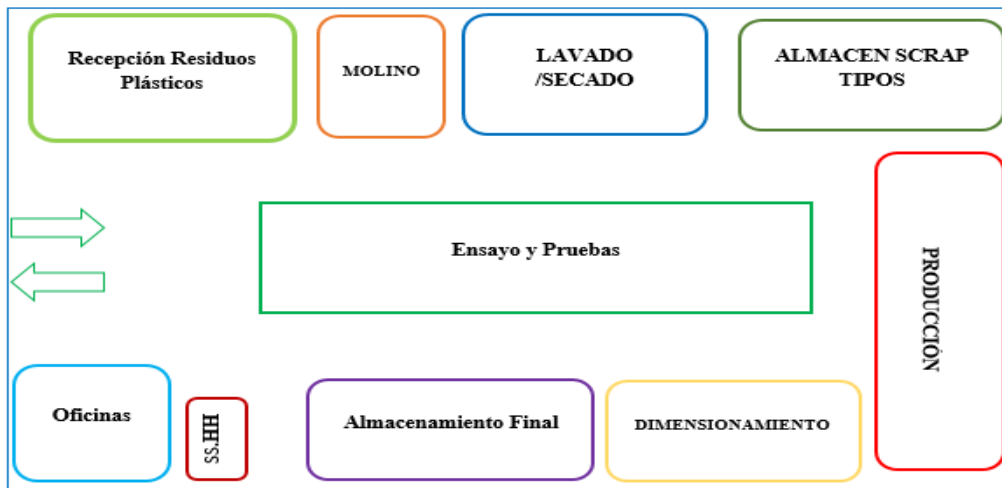


Figura 4. 94. Distribución de planta.
Fuente: Elaboración Propia.

4.6.5. Análisis económico:

Para iniciar nuestro análisis económico del proyecto de investigación referente a la *Propuesta de un poste armable para redes de distribución rural en baja tensión en región alto andina*, obtenemos inicialmente los costos e ingresos de un nuevo modelo de Poste, visto por una necesidad de mejorar el mercado eléctrico, enfocándonos en las necesidades principalmente de la Electrificación rural en regiones alto andinas, pero que también visualizando mejorar en la costa y selva posteriormente. Se ha determinado un periodo de análisis de 5 años.

INVERSIONES	
CAPITAL DE TRABAJO	S/. 450,000.00
TERRENOS	S/. 0.00
CONSTRUCC E INSTALACIONES	S/. 7,000.00
MAQUINARIA Y EQUIPOS	S/. 105,330.00
ACTIVOS FIJOS INTANGIBLES	S/. 5,000.00
TOTAL INVERSIONES.	S/. 567,330.00
ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO D/C	
DEUDA	70%
CAPITAL	30%
TASA DE DEP DE M/E	12%
AMORT DE INTANGIB	15%
TEA PRÉSTAMO	20%
PLAZO (AÑOS)	5
PERIODOS	MENSUALES
GRACIA PARCIAL (MESES)	6
GASTOS ADMINISTRATIVOS	10%
GASTOS DE VENTA	1%

Tabla 4. 25. Datos de costos e ingresos.
Fuente: Elaboración Propia.

Para el proyecto tendremos como primera inversión la adquisición de los equipos y maquinaria, elementos fundamentales para dar inicio al proceso de producción, lo cuales inicialmente influirán en la recuperación de la inversión.

Equipos y herramientas:

El detalle en costos de equipos y herramientas es el siguiente:

ITEM	MAQUINARÍA	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL	DEPRECIACIÓN
1	MOLINO	S/ 7,280.00	1	S/ 7,280.00	S/ 60.67
2	LAVADORA/SECADORA	S/ 12,000.00	1	S/ 12,000.00	S/ 100.00
3	BALANZA INDUSTRIAL	S/ 1,560.00	1	S/ 1,560.00	S/ 13.00
4	MAQUINA EXTRUSIÓN	S/ 70,000.00	1	S/ 70,000.00	S/ 583.33
5	CIERRA DE CORTE	S/ 170.00	1	S/ 170.00	S/ 1.42
6	MOLDES	S/ 6,000.00	2	S/ 12,000.00	S/ 100.00
				S/ 103,010.00	S/ 858.42

Tabla 4. 26. Costo equipos.

Fuente: Elaboración Propia.

ITEM	MAQUINARÍA	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL	DEPRECIACIÓN
1	ESCRITORIO	S/ 150.00	2	S/ 300.00	S/ 5.00
2	ESTANTES	S/ 100.00	1	S/ 100.00	S/ 1.67
3	SILLA DE ESCRITORIO	S/ 80.00	2	S/ 160.00	S/ 2.67
4	SILLAS	S/ 40.00	4	S/ 160.00	S/ 2.67
5	COMPUTADORA	S/ 1,500.00	2	S/ 3,000.00	S/ 50.00
6	IMPRESORA	S/ 600.00	1	S/ 600.00	S/ 10.00
				S/ 4,320.00	S/ 72.00

Tabla 4. 27. Costo herramientas.

Fuente: Elaboración Propia

Mano de obra:

El detalle del costo de mano de obra es el siguiente no calificada, es decir tareas que no representan tener diplomas por estudios profesionales:

MANO DE OBRANO CALIFICADA				
ITEM	COLABORADOR	SUELDO	CANTIDAD	TOTAL
1	AUXILIAR	S/ 930.00	2	S/ 1,860.00
2	ALMACENERO	S/ 930.00	1	S/ 930.00
3	SEGURIDAD	S/ 1,000.00	1	S/ 1,000.00
				S/ 3,790.00

Tabla 4. 28. Mano de obra no calificada

Fuente: Elaboración Propia

Mano de obra que requiere tener estudios universitarios y/o técnicos en especialidades específicas y acorde a la actividad:

MANO DE OBRA CALIFICADA				
ITEM	COLABORADOR	SUELDO	CANTIDAD	TOTAL
1	GERENTE /ADMINISTRADOR	S/ 3,500.00	1	S/ 3,500.00
2	OPERARIO	S/ 1,100.00	2	S/ 2,200.00
				S/ 5,700.00

Tabla 4. 29. Mano de obra calificada.
Fuente: Elaboración Propia

Evaluación de producción:

La proyección de elaboración del producto de acuerdo al cálculo realizado en el ítem 4.6.2.2. Tiempo de fabricación de Postes que resultan en un aproximado de 2 horas por unidad elaborada. Se consideran 5 días de trabajo de 8 horas, en un solo turno, además del día sábado trabajo de medio tiempo de lo habitual, teniendo la siguiente producción:

DÍAS	UNIDADES PRODUCIDAS	
LUNES	4	UND
MARTES	4	UND
MIERCOLES	4	UND
JUEVES	4	UND
VIERNES	4	UND
SABADO	2	UND
SEMANAL	22	UND
SEMANAL	22	UNID
MENSUAL	88	UND
ANUAL	1056	UND

Tabla 4. 30. Proyección elaboración del Producto.
Fuente: Elaboración Propia

Con relación a la proyección que se ha realizado, la producción semanal es de 22 unidades en un solo turno, la cual de acuerdo a la necesidad o la exclusividad en pequeños y grandes contratos de elaboración de este producto, podemos incrementar nuestra proyección lo cual resultaría en un aumento de trabajo, aumento de costos pero también en aumento de utilidades.

Además con lo producido de acuerdo a lo proyectado del primer año de elaboración se forma ya los costos fijos y variables de la producción.

Costo materia prima:

Se detallaran los costos de materia prima por producto, en cada uno de los 2 módulos que forman parte de un solo producto, es decir la fabricación del poste.

COSTO VARIABLE POR UNIDAD						
Nombre	Abreviatura	UND	MÓDULO 1 (Kg)	MÓDULO 2 (Kg)	MASA TOTAL (M1 + M2)	PRECIO
Polietileno tereftato	PET o PETE	KG	60.80209401	29.79269109	90.5947851	S/ 36.24
Polietileno de alta densidad	PEAD o HDPE	KG	15.2005235	7.4481728	22.6486963	S/ 20.38
Policloruro de vinilo o vinilo	PVC o V	KG	10.13368233	4.96544847	15.0991308	S/ 12.08
Polipropileno Poliestireno	PP - PS	KG	15.2005235	7.4481728	22.6486963	S/ 20.38
BRIDAS DE ACERO GALVANIZADO		UND			2	S/ 240.00
PERNOS C/T /AISI 1020		UND			6	S/ 60.00
*ESTOS PRECIOS INCLUIDO IGV						S/ 389.08

Tabla 4. 31. Costo Materia Prima.
Fuente: Elaboración Propia

Los precios del plástico podrían variar de acuerdo al modo de adquisición, que podrían aumentar en un porcentaje al ver la necesidad de producir grandes cantidades de nuestro producto, por lo que al no tener la materia prima necesaria se tendría que recurrirse a empresas que se dediquen a vender plásticos reciclado a nivel de molido, para poder cumplir con nuestras metas.

Costo unitario poste:

Calcularemos el precio del poste de acuerdo a los costos variables y costos fijos:

✓ Costos fijos:

SERVICIOS				
ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
1	TELEFONO	45	7	S/ 315.00
2	INTERNET	199	1	S/ 199.00
3	AGUA			S/ 1,000.00
4	ALQUILER			S/ 4,000.00
5	ELECTRICIDAD			S/ 8,000.00
				S/ 13,514.00

Tabla 4. 32. Costos de servicios.
Fuente: Elaboración Propia

OTROS					
ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL	
	MANO DE OBRA			S/	7,290.00
	DEPRECIACIÓN			S/	389.08
	GASTOS FINANCIEROS			S/	6,500.00
				S/	14,179.08

Tabla 4. 33. Costos varios.
Fuente: Elaboración Propia

Calculamos el costo fijo:

COSTO FIJO		
(Servicios + otros)/Und. Prod. Anual	S/	26.22

✓ **Costos variables:**

ITEM	DETALLE	S/	
1	MATERIA PRIMA	S/	389.08
2	MANO DE OBRA DIRECTA	S/	25.00
		S/	414.08

Tabla 4. 34. Costo variable.
Fuente: Elaboración Propia

Calculados tanto el costo fijo como el costo variable, procedemos a calcular el precio del producto.

COSTO FIJOS	S/	26.22
COSTO VARIABLE UNITARIO	S/	414.08
COSTO TOTAL UNITARIO	S/	430.31
PRECIO UNITARIO = Csto Total Unitario + Detracción + renta	S/	616.43
Ganancia 35%	S/	283.17
Precio Final Poste	S/	900.00

Ahora evaluaremos las estimaciones que se están proponiendo, para con ello poder visualizar la factibilidad del proyecto que se viene desarrollando:

CONCEPTO		Año 01	Año 02	Año 03	Año 04	Año 05
1	Volumen de ventas (Ingr)	1,056	1,140	1,231	1,329	1,435
2	Precio de venta (S/.)	900.00	945.00	992.25	1,041.86	1,093.95
(1x2)	Ingr x Vtas	950,400.00	1,077,300.00	1,221,459.75	1,384,631.94	1,569,818.25

Tabla 4. 35. Ingreso por ventas.
Fuente: Elaboración Propia

Esta tabla nos detalla como nuestro producto a la proyección de 5 años, aumentara en su producción y con ello el presupuesto de ingresos por ventas. Por lo que nuestras ganancias también aumentarán y esto sería en beneficio del producto.

Para determinar la factibilidad de la inversión se emplearán dos índices que se utilizan en términos financiero, los que reflejarán la continuidad y desarrollo del proyecto.

Flujo caja anual:

Este flujo de caja se evalúa los costos e ingresos cada año, al usar únicamente costos e ingresos de caja.

CONCEPTO	Año 00	Año 01	Año 02	Año 03	Año 04	Año 05
Ingresos por ventas	0	950,400.00	1,077,300.00	1,221,459.75	1,384,631.94	1,569,818.25
Total ingresos	-	950,400.00	1,077,300.00	1,221,459.75	1,384,631.94	1,569,818.25
EGRESOS						
Inversiones	567,330.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cto Prod. (Sin Descuento)	-	255,675.19	274,618.27	293,561.36	312,504.44	331,447.53
Gtos Adm.	-	26,976.48	28,870.79	30,765.10	32,659.40	34,553.71
Gtos DE Vtas	-	9,504.00	10,773.00	12,214.60	13,846.32	15,698.18
Part., o deduc., a Trabaj.	-					
Impuesto a la Renta	-	171,851.01	207,528.31	249,935.61	299,157.44	352,208.77
TOTAL EGRESOS	567,330.00	464,006.68	521,790.37	586,476.67	658,167.61	733,908.19
Flujo de Caja Econ.	(567,330.00)	486,393.32	555,509.63	634,983.08	726,464.33	835,910.06
Ptamos a Bcos.	397,131.00	-	-	-	-	-
Gastos Financiero	-	71,318.03	57,187.31	37,710.38	14,340.69	-
Amort., de Princip.	0	42,457.28	97,450.06	116,926.98	140,296.67	-
Flujo de Caja Financiero.	(170,199.00)	372,618.01	400,872.26	480,345.72	571,826.96	835,910.06
Aporte de Socios	170,199.00	-	-	-	-	-
Saldo del Periodo	-	372,618.01	400,872.26	480,345.72	571,826.96	835,910.06
Caja Acumulada	-	372,618.01	773,490.28	1,253,835.99	1,825,662.96	2,661,573.01

Tabla 4. 36. Flujo caja anual.
Fuente: Elaboración Propia

El flujo de caja anual muestra si el proyecto estará en capacidad de generar suficiente efectivo para pagar la totalidad de los costos y aun así cubrir los costos del financiamiento.

Se toma en cuenta únicamente el dinero en efectivo, este enfoque puede pasar por alto costos y beneficios importantes, que no se registran en términos de efectivo.

En la tabla 4.36 podemos observar que para nuestro año “0”, al restas el flujo de caja económico vs los préstamos al banco tenemos un déficit de S/. 170 199.00 de efectivo para recuperar lo invertido, pero en los años siguientes se cumple la expectativa de la inversión de cubrir los costos y gastos y aun así tener liquidez, es decir en el año “1” se cuenta con saldo de S/. 372 618.01. En el 5 año (último año de estimación) se tendrá una ganancia efectivo de S/. 835 910.06 el cual podrá ser usado en otras inversiones, o repartido entre los socios de la empresa. Siempre manteniendo una política de 50% de acumulado quede en las cuentas asociadas al proyecto, para contar con la liquidez indicada, por si se presente una emergencia laboral.

Rentabilidad Financiera:

Usamos dos índices: el Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). Ambos tienen en común varios elementos clave:

- ✓ Ambos cargan el costo total de la inversión en el año en que ésta tiene lugar, a fin de que el método y costo de financiamiento no afecten el resultado del análisis. Recuerde, el propósito del análisis es identificar la factibilidad del proyecto de la *Propuesta de un poste armable para redes de distribución rural en baja tensión en región alto andina*, no seleccionar la mejor opción de financiamiento.
- ✓ Ambos incluyen el valor de los principales activos del proyecto al final del período de análisis (como edificios, maquinaria y otros ítems sustanciales). Éstos no están en efectivo, y por lo tanto se excluyen del análisis del flujo de caja anual, pero tienen valor y no se deben pasar por alto.
- ✓ Ajustan el valor de los beneficios futuros de tal manera que un 1 sol. hoy tiene un valor superior a 1 sol en un año y éste a su vez, tendrá un valor superior a 1 sol en dos años, etc. Este proceso se conoce como descuento de los beneficios futuros en comparación con los beneficios actuales.

Valor Actual Neto (VAN)

El índice más sencillo es el Valor Actual Neto (VAN). Después de calcular el ingreso anual neto para cada año. Se aplica una tasa de descuento para reducir el valor tanto de los beneficios como de las pérdidas netas en años futuros. Recuerde que la tasa de descuento es lo opuesto a la tasa de interés. Si tengo 1 sol, una tasa de interés del 10% me dará 1,10 soles en un año. Así mismo una tasa de descuento de 10% significará que los 1,10 soles que recibiré en un año tiene en la actualidad únicamente el valor de 1 sol (su valor presente). Así, el VAN es una cifra que representa el valor del proyecto después de descontar los beneficios netos a futuro.

Se ha seleccionado una tasa de evaluación del 23%, cabe señalar que no se puede elegir una tasa de evaluación del 100% debido a que el producto es nuevo, tampoco se puede seleccionar la tasa del 50% al no existir empresas que se dediquen al mismo rubro, es por ello que se simula en análisis con el 23%.

Tasa de evaluación, 23%.

VALOR ACTUAL NETO		
VANE	S/. 1,150,830.12	203%
VANF	S/. 1,202,588.01	707%

Tabla 4. 37. Valor del VAN
Fuente: Elaboración Propia

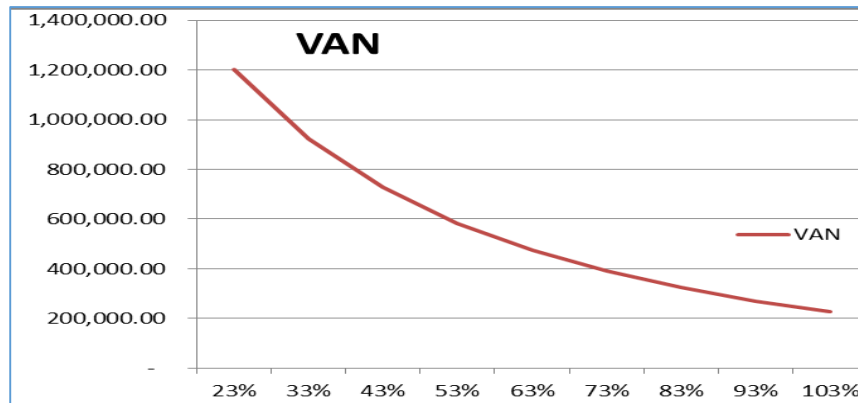
El VANE (Valor actual neto económico) nos detalla que la inversión que se realizó de S/. 567 330.00 en 5 años de proyección ahora tienen un valor de S/. 1 150 830.12. Es decir mi inversión después de los 5 años ahora tiene el valor de 203%.

El VANF (Valor actual neto financiero) me detalla que la inversión que realice inicialmente de S/. 170 199.00 que equivale al 30% del capital invertido inicialmente ahora tiene un valor de S/. 1 202 588.01. El valor porcentual del capital invertido a incrementado su valor en un 707%.

Se realizara una gráfica para simular la tasa de evaluación del valor actual neto:

TASA	VAN
23%	1,202,588.01
33%	924,374.52
43%	727,212.36
53%	582,758.17
63%	473,849.00
73%	389,680.32
83%	323,215.36
93%	269,731.97
103%	225,975.95

Tabla 4. 38. Porcentajes simulación VAN
Fuente: Elaboración Propia



Gráfica 4. 3. Simulación VAN proyecto.
Fuente: Elaboración Propia

Se requiero una tasa del 23% de interés por el dinero invertido, aplicar la tasa de descuento del 23% a los beneficios netos a futuro de un proyecto, asegurará que yo obtenga ese retorno.

Si el monto restante (el VAN) es S/. 1 102 588.02, he obtenido la tasa que requería (el 23%) y tengo esta suma como un extra.

Es claro, entonces, que el aspecto crítico del cálculo del VAN es la selección de la tasa de descuento (o tasa de interés). Una tasa alta tendrá como resultado el rechazo de más proyectos y favorecerá aquellos proyectos que generen ganancias en los primeros años. Generalmente, una tasa de descuento baja, tendrá como resultado la aceptación de más proyectos y dará más peso a los beneficios generados en un futuro mediano.

Según la simulación elaborada con los costos y gastos realizados para el proyecto de la *Propuesta del diseño de poste armable para redes de distribución en baja tensión en región alto andina* podemos afirmar que por el VAN se ha aplicado desde una tasa de descuento bajo hacia una tasa de descuento alto, es proyecto es factible en cualquier de las situaciones.

Esto quiere decir que el VAN de inversión de S/. 567 330.00 se requiere que la inversión rinda una tasa de interés máxima de 53% tiene como resultado en un año S/. 582 758.17.

Por el resultado mostrado, se deduce: ***ejecutar el proyecto.***

Tasa de Retorno Interno (TIR)

El TIR nos muestra que la inversión inicial rendirá una tasa de interés durante la vida del proyecto.

TASA INTERNA DE RETORNO	
TIREE	93.94%
TIREF	229.8%

Tabla 4. 39. Porcentaje TIR
Fuente: Elaboración Propia

Al tener estas dos tasas, analizamos el TIREF (Tasa Interna de Retorno Financiera), es mayor a la TIREE (Tasa Interna de Retorno Económica)

$$229.8 \% > 93.94\%$$

Este análisis refleja que el esquema financiero elegido para este proyecto ha sido óptimo en los resultados finales.

Es aquella tasa de interés cuyo valor corresponde a los méritos propios del proyecto de todos los ingresos generados durante la vida del proyecto menos los gastos generados por el proyecto sin tener en cuenta los gastos por concepto de pago al capital y los intereses correspondientes.

El resultado mostrado indica *Ejecutar el proyecto*.

V. CONCLUSIONES

- ✓ El análisis comparativo de las características de la madera plástica frente a los materiales convencionales, nos permite respaldar que tiene cualidades adecuadas de trabajo enfocándonos en el bajo peso, durabilidad, bajo costo, asimismo tener apropiadas propiedades mecánicas (Esfuerzo a tensión de 30.3MPa Madera plástica vs Esfuerzo a tensión de 50 MPa madera convencional) que pueden ser mejoradas combinando su composición con otros materiales que mejoren su rigidez, tal es el caso con fibra de vidrio, pero ello implica que se realicen pruebas de laboratorio lo que para esta investigación esta excepto. La madera plástica es un material alternativo para la producción de postes, debido a que sus cualidades permitirán facilitar y mejorar los montajes electromecánicos.
- ✓ Los parámetros mecánicos se han especificado de normativa ETS205 o la ETS-LP29, lineamientos de diseño, basándose en longitudes y diámetros. Las característica principal es ser seccionable, teniendo una carga de trabajo de 100Kg y una carga de diseño de 250Kg, fuerzas que nos han permitido evaluar el comportamiento del poste, además de factores de entorno teniendo una altura máxima de 4500msnm por ser en una región alto andina. Se ha especificado el tipo de ensayo (de rotura aplicando la fuerza en la punta del poste) que se ha realizado al diseño del poste, las características mecánicas y físicas de la madera plásticas han permitido tener una matriz de trabajo en el software de simulación, con las cuales se ha podido evaluar el comportamiento del poste armable.
- ✓ El diseño CAD de las tres propuestas bosquejados ha permitido realizar la selección final del modelo del poste armable, enfocándonos en la facilidad de acople, elementos de sujeción, facilidad de manufactura y estética de los elementos. Se consideraron cambios en el diseño durante el proceso de investigación, lo que ha permitido tener una propuesta adecuada considerando parámetros de longitud y diámetro. Se han tomado procesos de descripción del diseño, planificando tareas de evaluación y mejora continua de cada elemento del poste.
- ✓ El análisis matemático nos muestra la acción de las fuerzas en el poste, modelando todos los componentes del poste como un solo cuerpo rígido, flexionando la estructura con una intensidad de 250kg, siendo cargas por flechado del conductor, la carga de 100kg comprime por efecto de peso de conductores, y ferretería de armado eléctrico. Las fuerzas para el análisis se concentran a 1.10m de la base, distancia de empotramiento del poste, en el cual se obtuvo el valor máximo de esfuerzo en la estructura (19.0916MPa a compresión).
- ✓ Se detalló la sujeción y unión entre cada elemento conformante del poste. Seleccionando una carga de diseño 250kg, el software nos permite un análisis estático por Von Mises o energías de deformación, referenciado a un ensayo de rotura, obteniendo un valor de 10.482MPa el cual es menor al valor calculado en el análisis matemático siendo 19.0294MPa, que muestra que las características del material es

estable, el poste es rígido y trabaja en condiciones intermedias. Los desplazamientos máximos son de 674.83mm, desplazamiento que no han ocasionado rotura en el poste, pero exceden los desplazamientos permitidos en la normativa.

- ✓ Lambayeque produce 86 015.07 Ton/mes de residuos sólidos consistentes en PET, PEAD, PVC, PP, PS los cuales no son aprovechados; las maderas plásticas utilizan estos residuos para su conformación. El bajo costo de esta materia resulta en un bajo precio del poste, siendo este de S/. 389.08 en materia prima utilizando 151 kg de residuos, al sumarle otros gastos como los fijos nos costaría S/. 604.83, evaluando una ganancia del 35%, el precio final sería de S/. 900.0, precio que puede competir referente al costo de un poste convencional, enfocándose en su facilidad de montaje y traslado.

RECOMENDACIONES

- ✓ El valor utilizado como carga de diseño equivalente a 250kg es el principal factor que influye en el comportamiento del poste de madera plástica, de evaluarse cambiar o aumentar la carga de diseño por ejemplo a 510kg, se deberá tener en cuenta que los desplazamiento en el diseño propuesto van a aumentar, por lo que se entendería que el poste no es estable, pero por el contrario los esfuerzos de deformación o ensayos destructivos indica que a esa intensidad de fuerza el poste puede romperse o sufrir esfuerzos que perjudican tanto a la brida de acople o a los pernos de sujeción y estos se tendría que evaluar en cambiar el tipo de material.
- ✓ Para obtener una mayor rigidez en el poste fabricado a base de maderas plásticas, es necesario crear una nueva matriz, donde se combinen las características físicas y/o químicas del material que le va a aportar rigidez, por ejemplo combinar plásticos con fibra de vidrio. Se tendrá que realizar pruebas de laboratorio. También es una alternativa insertarle a los módulos elementos estructurales como fierro de una medida elegida, pero esta adición ocasionaría que el poste incremente su peso, lo que aun seguirá siendo una ardua labor en el traslado del poste fabricado a su punto de izaje.

VI. BIBLIOGRAFÍA/LINCOGRAFÍA

- [1] José Sanz y José Toledano, *Instalaciones de Distribución, Electricidad – Electrónica*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2010.
- [2] Antonio Colmenar y Juan Hernández, *Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión: diseño, calculo, dirección, seguridad y montaje*, 1era Ed. Madrid: Ediciones Ra - Ma, 2007.
- [3] Juan Yebra, *Sistemas Eléctricos de Distribución*, 1era Ed. México: Editorial Reverte, 2009.
- [4] Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Electricidad, *Código Nacional de Electricidad*, Sistema de Distribución, Tomo IV
- [5] Dirección General de Electrificación Rural, “Plan Nacional de Electrificación Rural PNER 2015 - 2024, Ministerio de Energía y Minas, Gobierno del Perú, Part. I y II, diciembre 2014.
- [6] Ecosistemas del Perú, “Los climas del Perú”, SF, [Online] Disponible: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/handle/minam/1776/BIV01547.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [7] Información Educativa, Madera Plástica España. “Maderas Plásticas”, noviembre 2015. [online]. Available: <http://www.maderaplastica.es/madera-plastica/definicion-madera-plastica.pdf>.
- [8] Emerson Pérez Méndez, “Análisis De Las Propiedades Físico Mecánicas Para Un Sustituto De Madera Natural Elaborado A Base De Plásticos Reciclados”, Ing. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010.
- [9] Empresa - Producción, Ecolaminados S.A. de C.V. “Maderas Plásticas - descripción”, noviembre 2015. [online]. Available: <http://www.ingenieroscivilesloja.com.ec/CICL/images/stories/Caracteristicas%20de%20la%20madera%20plastica.pdf>
- [10] Información Educativa, Ingenieros Civiles - Loja. “Maderas Plásticas - propiedades”, noviembre 2015. [online]. Available: <http://www.ingenieroscivilesloja.com.ec/CICL/images/stories/Caracteristicas%20de%20la%20madera%20plastica.pdf>
- [11] J. M. Gere, *Mecánica de Materiales*, 6ta Ed. México: Thomsom, SF
- [12] J. M. Gere, B. J. Goodno; *Mecánica de Materiales*, 7ta Ed. México: CENGAGE Learning Editores, 2009

- [13] Alcaide, J., Diego J., y Artacho, M., Diseño de un Producto, el proceso de diseño. (2001). Valencia: Ediciones UPV.
- [14] Pugh, S., Total design. Integrated Methods for Successful Product Engineering. (1990) Wokingham, England: Addison-Wesley Pub. Co.
- [15] Dym, C., y Little, P. El proceso de diseño de ingeniería. Cómo desarrollar soluciones efectivas. (2000). México: Limusa Wiley.
- [16] Lloyd, P., Roozenburg N., y van del Lugt R., Design Methodology Group. (2004). [online] Available: www.io.tudelft.nl/dmg/aboutus.html. Nigel Cross
- [17] Cross, N., Métodos de diseño. Estrategias para el diseño de productos. . (1999) México: Limusa Wiley.
- [18] Takeda, L., Modeling Design Process. (1990) AI Magazine 11, pp. 37 – 48
- [19] Feijó, B., y Bento, J. A Framework for cognitive models of design. (1991). Centro de Mecânica E Engenharia Estruturais da Universidade. Técnica de Lisboa Wokingham, Lisboa
- [20] David, G., Ullman, The Mechanical Design Process. (4 Ed.) (2010) New York: Mc Graw Hill.
- [21] Recycled Plastics Industries, “Product Data: Manufacturing Plastic Lumber”, 2012. [online] Available: www.rpi2.com/data.html
- [22] Oswaldo Seminario Vega, “Evaluación De La Corrosión En Postes De Concreto Armado De La Urbanización Los Tallanes”, Tesis Universidad de Piura, Piura, Perú, 2003.
- [23] MADERPLASTIC, “Producto: Línea de construcción”, 2014. [online] Available: www.maderplastic.com.
- [24] Dirección General de Electricidad, Especificaciones Técnicas para el Suministro de materiales y equipos de redes secundarias para electrificación rural, Ministerio de Energía y Minas, Diciembre 2003.
- [25] Likinormas Codensa, “ET205 Postes de Fibra, Especificación técnica”, 2015. [online] Disponible en: <http://likinormas.micodensa.com>, España.:
- [26] Ministerio de Energía y Minas – Dirección General de Electricidad, “Especificaciones Técnicas ETS – LP 29” – Postes de Poliéster Reforzado con fibra de vidrio, 2015. [online] Disponible en: <http://www.minem.gob.pe>. Perú.

[27] Empresa Nacional de Telecomunicaciones ENTEL S.A., “Especificaciones Técnicas Provisión de Postes de PRFV”, 2016. [online] Disponible en: <http://www.entel.bo/inicio3.0/index.php/por-fecha-de-publicacion/item/1453-05-2017-provision-de-postes-de-poliester-reforzado-con-fibra-de-vidrio-prfv>. Bolivia.

[28] Municipalidad Provincial de Chiclayo, “Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque”. Organización para el Desarrollo Sostenible ONG - ODS, 2012.

[29] Ministerio del Ambiente “*Programa para el apoyo a las acciones de mitigación dentro del sector de manejo de residuos sólidos en el Perú*” – Programa NAMA de Residuos Sólidos - Perú. Informe: Diagnóstico de los Residuos Sólidos en el Perú. Lima, 15 de noviembre del 2013.

[30] OEFA - Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental “*Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos de gestión municipal provincial*”. Informe: Índice de cumplimiento de los municipios provinciales a nivel nacional. Perú, 2013 -2014.

[31] Cristian Enrique Villar Navarro, “Evaluación Técnica y Económica para implementar una planta de procesamiento de plástico reciclado en Chíncha”, Tesis Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú, 2013.

[32] Juan D. Navarro Burgos, Jorge Octavio Calle, “Proyecto de factibilidad de crear una empresa dedicada a la producción y comercialización de formaleta plástica a base de residuos sólidos reciclados para la construcción”, Tesis Universidad Católica de Pereira. Pereira 2016.

VII. PLANOS