

**TELEFÉRICO INDUSTRIAL PARA TRANSPORTE  
AGRÍCOLA; DISEÑO, MODELAMIENTO Y  
PROTOTIPADO VIRTUAL**

**CARLOS ALBERTO FLÓREZ ARIAS  
KATHERINE MARÍA GARCIA GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2.005**

**TELEFÉRICO INDUSTRIAL PARA TRANSPORTE  
AGRÍCOLA; DISEÑO, MODELAMIENTO Y  
PROTOTIPADO VIRTUAL**

**CARLOS ALBERTO FLÓREZ ARIAS  
KATHERINE MARÍA GARCIA GÓMEZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
ALFREDO PARADA CORRALES  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2.005**

## **DEDICATORIA**

A nuestros Padres.

A todas las personas que compartieron nuestras preocupaciones y que ahora comparten nuestra alegría.

## AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres y demás familiares.

Al profesor **Alfredo Parada Corrales**, ingeniero mecánico, director del proyecto, por su ingenio y colaboración.

A Angela, porque su ayuda y apoyo fueron decisivos para la culminación del proyecto.

A todos aquellas personas que con su amistad, confianza, compañía y consejos nos motivaron en la culminación de nuestra meta.

**Katherine y Carlos.**

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
<b>1. FASE DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1. IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD.....	3
1.2. INFORMACION GENERAL DE LA REGIÓN.....	5
1.3. CONCEPTUALIZACIÓN.....	6
1.3.1 TRANSPORTES POR CABLES AÉREOS.....	6
1.3.2 MODELAMIENTO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.....	6
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO.....	9
1.5. FASE DE ESTUDIO.....	11
1.5.1 CLASIFICACIÓN DE TELEFÉRICOS.....	11
1.5.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN TELEFÉRICO.....	15
VENTAJAS.....	15
1.5.3 DEFINICIÓN DE COMPONENTES DEL TELEFÉRICO.....	16
1.5.3.1 CABLE.....	17
1.5.3.1.1 MODELO MATEMÁTICO DEL CABLE.....	18
1.5.3.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES.....	24
1.5.3.1.3 UNIÓN DE CABLES.....	27
1.5.3.1.4 CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CABLES.....	31
1.5.3.1.5 TIPOS DE CABLES AÉREOS SEGÚN SU FUNCIÓN.....	32
1.5.3.2 CABINA.....	34
1.5.3.2.1 CARROS.....	35
1.5.3.2.2 GRAPA O PINZA (dispositivo de enganche y desenganche)..	35
1.5.3.2.3 HANGER.....	35
1.5.3.2.4 CANASTA.....	35
1.5.3.3 ESTACIONES.....	36
1.5.3.4 COMPONENTES MECÁNICOS DE LAS ESTACIONES.....	36
1.5.3.4.1 Accesorios.....	36
1.5.3.4.2 Sistema De Transmisión De Potencia.....	38
1.5.4 COMPONENTES ESTRUCTURALES.....	40
1.5.4.1 Torres.....	40
1.5.4.2 Apoyos (caballetes y Saddles).....	41
1.5.5 ESTRUCTURAS DE PROTECCION Y SEGURIDAD.....	42
1.6. CONDICIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL TELEFÉRICO A DISEÑAR.....	43
1.6.1 FOTOGRAFÍAS DE TODOS LOS TRAMOS.....	44
1.6.2 DESCRIPCIÓN DE LA CARGA.....	46

1.6.3	CAPACIDAD DE LA CABINA .....	47
1.6.4	VELOCIDAD DEL SISTEMA .....	48
1.6.5	ESPACIADO DE LAS CABINAS.....	48
1.7	SELECCIÓN DEL TELEFÉRICO A DISEÑAR .....	50
<b>2</b>	<b>FASE DE MODELADO. ....</b>	<b>51</b>
2.1	DEFINICIÓN DE DISEÑO. ....	51
2.1.1	PLAN DE SOLUCIÓN USANDO EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS .....	51
2.1.2	IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL .....	52
2.1.3	FUENTES DE ERROR .....	53
2.1.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO.....	54
2.2	COMPONENTES DISEÑADOS EN CAD/CAE.....	56
2.2.1	CABINA.....	56
2.2.1.1	CANASTA.....	58
2.2.1.2	HANGER.....	60
2.2.1.3	ASA.....	60
2.2.1.4	AGARRE DEL PIVOTE:.....	61
2.2.1.5	PINZA.....	63
2.2.1.6	CARROS.....	65
2.2.2	ESTACIONES .....	67
2.2.3	COMPONENTES ESTRUCTURALES .....	72
2.2.3.1	SEPARADORES .....	72
2.2.3.2	SADDLES.....	74
2.2.3.3	CABALLETES .....	75
2.2.3.4	DESVIADOR.....	76
2.2.3.5	POLEAS.....	78
<b>3.</b>	<b>DISEÑO DE LOS CABLES .....</b>	<b>81</b>
3.1	CONSIDERACIONES TÉCNICAS DEL DISEÑO DEL CABLE .....	81
3.1.1	RESEÑA DEL TRAZADO TOPOGRÁFICO.....	82
3.2	EL MODELO MATEMATICO UTILIZADO PARA LOS CABLES ..	86
3.3	ANÁLISIS DE LOS CABLES .....	90
3.3.1	CABLES PORTANTES (TRAMO D3-D4).....	90
3.3.2	CABLE TRACTOR (VANOS).....	95
3.4	CARGAS EN LAS TORRES.....	99
3.5	POTENCIA DEL MOTOR .....	100
3.6	RESULTADOS DEL ANALISIS EN SAP2000.....	101
<b>4.</b>	<b>FASE DE PROTOTIPADO, ANALISIS CAE .....</b>	<b>102</b>
4.1	INTRODUCCIÓN.....	102
4.2	ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS.....	102
4.3	COMPONENTES DE LA ETAPA DE PREPROCESO.....	103
4.3.1	Geometría.....	103

4.3.2	Contactos.....	103
4.3.3	Tipos de contactos.....	103
4.4	MESH.....	105
4.4.1	UTILIDADES DEL ENMALLADO .....	105
4.4.1.1	REFINAMIENTOS .....	105
4.4.1.2	SIZING.....	106
4.4.2	DETALLES DE LOS ENMALLADOS.....	106
4.4.2.1	HANGER Y ASA .....	106
4.4.2.2	PINZA.....	108
4.5	ENVIRONMENT.....	112
4.5.1	LA CANASTA .....	113
4.5.1.1	CARGAS .....	113
4.5.1.2	TIPOS DE SOPORTES.....	113
4.5.2	HANGER Y ASA.....	114
4.5.2.1	CARGAS .....	114
4.5.2.2	TIPOS DE SOPORTES.....	114
4.5.3	PINZA.....	115
4.5.3.1	CARGAS .....	116
4.5.3.2	TIPOS DE SOPORTES.....	116
4.5.4	PINZA ESCENARIO 2 .....	116
4.5.4.1	CARGAS .....	117
4.5.4.2	TIPOS DE SOPORTES.....	117
4.6	SOLUTION.....	117
4.6.1	DETAILS OF SOLUTION.....	117
4.7	POSTPROCESO.....	118
4.7.1	Opciones en la simulación de la fatiga.....	118
4.7.1.1	Fatigue tool .....	118
4.7.1.2	Fatigue strength factor (Kf).....	118
4.7.2	Loading.....	119
4.7.3	Options .....	119
4.7.3.1	Analysis type.....	119
4.7.3.2	Stress component .....	119
<b>5</b>	<b>RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....</b>	<b>120</b>
5.1	SIMULACIÓN GENERAL.....	120
5.2	RESULTADOS DE LA SIMULACION DE COMPONENTES.....	120
5.2.1	CANASTA.....	120
5.2.1.1	GENERAL.....	121
5.2.1.2	DETALLES .....	121
5.2.2	HANGER Y ASA.....	122
5.2.3	PINZA.....	123
5.2.3.1	CON CABLE PRESIONADO.....	123
5.2.3.2	TOTALMENTE ABIERTA.....	124

<b>6</b>	<b>ELEMENTOS DE SELECCIÓN.....</b>	<b>125</b>
6.1	HOJA TECNICA No. 001.....	125
6.2	HOJA TECNICA No. 002.....	125
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>128</b>
<b>8</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>130</b>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>131</b>
<b>10</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>133</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO.....	3
FIGURA 2. SISTEMA DE TRANSPORTE ACTUAL.....	4
FIGURA 3. DIBUJO ESQUEMÁTICO TELEFÉRICO DE VAIVÉN.....	11
FIGURA 4. DIBUJO ESQUEMÁTICO TELEFÉRICO DE MOVIMIENTO CONTINUO .....	12
FIGURA 5. DIBUJO ESQUEMÁTICO TELEFÉRICO DE MOVIMIENTO INTERMITENTE.....	13
FIGURA 6. CABINA PARA CARGA A GRANEL.....	14
FIGURA 7. ACARREO DE CABLES.....	17
FIGURA 8. INFLUENCIA EN LA FLECHA DE LA RIGIDEZ FLEXIONAL.....	23
FIGURA 9. MEDICIÓN CORRECTA DEL DIÁMETRO DEL CABLE.....	24
FIGURA 10. DISTRIBUCIÓN DE HILOS EN EL CABLE.....	25
FIGURA 11. FORMACIÓN DE UN ANILLO.....	30
FIGURA 12. UNIÓN DE CABLES.....	30
FIGURA 13. CABLES TRACTOR Y PORTANTE.....	33
FIGURA 14. CABINA DE TELEFÉRICO BICABLE.....	34
FIGURA 15. ESTACIÓN TENSIL DE TELESILLA.....	36
FIGURA 16. TORRES CON RODILLOS PARA DESVIAR EL CABLE.....	37
FIGURA 17. POLEA MOTRIZ.....	38
FIGURA 18. TORRE.....	40
FIGURA 19. SADDLE Y CABALLETE.....	41
FIGURA 20. CABALLETE.....	42
FIGURA 21. TRAZADO TOPOGRÁFICO.....	43
FIGURA 22. VISTA DE D2 TOMADA DESDE D1.....	44
FIGURA 23. VISTA DE D2-D3.....	44
FIGURA 24. VISTA DE D4 DESDE D3.....	45
FIGURA 25. VISTA DE D5 DESDE D4.....	45
FIGURA 26. VISTA DE D4 DESDE D5.....	46
FIGURA 27. CANASTILLAS PARA ACARREO DE FRUTAS.....	47
FIGURA 28. DIAGRAMA DE FLUJO DEL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.....	53
FIGURA 30. VISTAS LATERAL Y FRONTAL DE LA CABINA.....	57
FIGURA 31. LA CANASTA Y SUS PARTES.....	59
FIGURA 32. VISTAS COMPLEMENTARIAS DE LA CANASTA.....	59
FIGURA 33. CONJUNTO HANGER, ASA Y SUS PARTES.....	60
FIGURA 34. ASA.....	61
FIGURA 35. AGARRE DEL PIVOTE.....	62
FIGURA 36. VISTA LATERAL DEL AGARRE.....	62
FIGURA 37. UBICACIÓN DE LA PINZA.....	63
FIGURA 38. VISTAS COMPLEMENTARIAS DE LA PINZA.....	64
FIGURA 39. PANTALLA DE SELECCIÓN DEL RESORTE.....	65
FIGURA 40. EL CARRO Y SUS PARTES.....	66

FIGURA 41. ESTACIÓN TENSIL .....	68
FIGURA 42. ESTACIÓN MOTRIZ .....	69
FIGURA 43. EL SEPARADOR Y SUS PARTES .....	73
FIGURA 44. VISTA LATERAL DEL SEPARADOR.....	73
FIGURA 45. VISTAS COMPLEMENTARIAS DEL SEPARADOR .....	74
FIGURA 46. EL SADDLE Y SUS PARTES.....	75
FIGURA 47. CABALLETE Y BATERÍAS DE RODILLOS .....	76
FIGURA 48. VISTAS COMPLEMENTARIAS DEL CABALLETE .....	76
FIGURA 49. EL DESVIADOR Y SUS PARTES .....	77
FIGURA 50. DETALLES DEL DESVIADOR.....	77
FIGURA 51. LA POLEA MOTRIZ Y SUS PARTES.....	78
FIGURA 52. VISTAS COMPLEMENTARIAS DE LA POLEA MOTRIZ .....	79
FIGURA 53. TIJERAS DE ARRASTRE DE LA POLEA MOTRIZ .....	79
FIGURA 54. LA POLEA TENSIL.....	80
FIGURA 55. PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRAMO D1-D2.....	83
FIGURA 56. PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRAMO D2-D3.....	84
FIGURA 57. PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRAMO D3-D4.....	85
FIGURA 58. PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRAMO D4-D5.....	85
FIGURA 59. CURVAS DE LOS CABLES DEL TRAMO D3-D4 .....	94
FIGURA 60. TRANSMISIÓN DE TENSIÓN A LO LARGO DEL CABLE TRACTOR	95
FIGURA 61. ENMALLADO DEL CONJUNTO HANGER- ASA .....	107
FIGURA 62. DETALLE MESH DEL CONJUNTO HANGER- ASA .....	108
FIGURA 63. MESH DE LA PINZA.....	109
FIGURA 64. MESH DE LA PINZA -ESCENARIO 1.....	110
FIGURA 65 A. MESH DE LA PINZA- ESCENARIO 2 ( RESORTES COMPRIMIDOS)	
.....	111
FIGURA 65 B. MESH PINZA ESCENARIO 2 (RESORTES COMPRIMIDOS).....	111
FIGURA 66. EXIGENCIAS ESTRUCTURALES DE LA CANASTA.....	113
FIGURA 67. EXIGENCIAS ESTRUCTURALES DEL CONJUNTO HANGER-ASA	114
FIGURA 68. CARGAS ESTRUCTURALES EN LA PINZA COMPRIMIENDO EL	
CABLE .....	115
FIGURA 69. CARGAS EN LA MANDÍBULA MÓVIL COMPLETAMENTE	
ABIERTA .....	116
FIGURA 70. PANTALLA AMBIENTE DE LA HERRAMIENTA DE FATIGA. ....	120
FIGURA 71. FACTOR DE SEGURIDAD EN FATIGA PARA LA CANASTA. ....	121
FIGURA 72. FACTOR DE SEGURIDAD A FATIGA DEL AGARRE DE LA	
CANASTA.....	122
FIGURA 73. FACTOR DE SEGURIDAD A FATIGA DEL CONJUNTO HANGER Y	
ASA .....	122
FIGURA 74. PINZA CON CABLE PRESIONADO .....	123
FIGURA 75. FACTOR DE SEGURIDAD A FATIGA EN LA PINZA ABIERTA. ....	124
FIGURA 76. TRANSMISIÓN SELECCIONADA .....	126

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE ACTUAL .....	9
TABLA 2. NÚMERO DE ABRAZADERAS SEGÚN DIÁMETRO DEL CABLE* .....	29
TABLA 3. RENDIMIENTO Y NÚMERO DE CABINAS EN CADA TRAMO .....	49
TABLA 4. TRAMO D1-D2, DATOS TOPOGRÁFICOS .....	83
TABLA 5. TRAMO D2-D3, DATOS TOPOGRÁFICOS .....	83
TABLA 6. TRAMO D3-D4, DATOS TOPOGRÁFICOS .....	84
TABLA 7. TRAMO D4-D5, DATOS TOPOGRÁFICOS .....	85
TABLA 8. DATOS DE ENTRADA TRAMO D3-D4.....	91
TABLA 9. COORDENADAS Y TENSIONES DE LOS CABLES PORTANTES TRAMO D3-D4 .....	92
TABLA 10. FACTOR DE SEGURIDAD DE LOS GRUPOS DE CABLES PORTANTES. .....	93
TABLA 11. ANÁLISIS PRELIMINAR DEL CABLE TRACTOR. ....	96
TABLA 12. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL CABLE TRACTOR EN CADA VANO. ....	97
TABLA 13. CARGAS MÁXIMAS ENTRE VANOS.....	97
TABLA 14. VALORES DE LA PENDIENTE DEL CABLE TRACTOR.....	98
TABLA 15. RESULTANTES DE LAS TENSIONES SOBRE CADA SEPARADOR ....	99
TABLA 16. CARGAS EN LAS TORRES DEBIDAS A CABLES PORTANTES. ....	99
TABLA 17. CONDICIONES FÍSICAS INICIALES.....	100
TABLA 18. RESULTADOS POTENCIA MOTRIZ .....	100

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A. PLANOS

ANEXO B. HOJAS DE CÁLCULO

ANEXO C. INFORMES DE ANSYS WORKBENCH

ANEXO D. INFORME DE SAP2000

ANEXO E. ELEMENTOS FINITOS SAT-LAB

ANEXO F. EJEMPLO DE EVOLUCIÓN DE UN DISEÑO

ANEXO G. PLANOS TOPOGRÁFICOS

## RESUMEN

### TÍTULO:

**“TELEFÉRICO INDUSTRIAL PARA TRANSPORTE AGRÍCOLA;  
DISEÑO, MODELAMIENTO Y PROTOTIPADO VIRTUAL”\***

### AUTORES:

Carlos Alberto Flórez Arias.  
Katherine María García Gómez\*\*.

### PALABRAS CLAVES:

Teleférico, Diseño, Modelamiento, Prototipado, simulación.

### DESCRIPCIÓN:

En este trabajo de grado se diseñó, modeló y prototipó de forma virtual un sistema de transporte por cable tipo teleférico con propósito industrial, para transporte de productos agrícolas entre las veredas Cantagallo alto y Cantagallo bajo del municipio de San Vicente de Chucurí, departamento de Santander, con los objetivos de satisfacer las necesidades de los agricultores de la zona, generar desarrollo en la región, y contribuir con la misión y visión de la Universidad Industrial de Santander.

Este trabajo se desarrolló en cuatro etapas, investigación, diseño, modelado, y prototipado virtual. Los componentes mecánicos del diseño se modelaron mediante el uso del software CAD Solid Edge V 14 y luego se prototiparon en el software CAE ANSYS Workbench V. 8.0 . Por otro lado para el cable se utilizó un modelo matemático que se solucionó con ayuda de una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Los resultados obtenidos fueron comparados con los arrojados por el software CAE Sap 2000 V9.3 con el propósito de probar el modelo.

Como resultado final del proceso descrito anteriormente y gracias al análisis Ingenieril, se obtuvo un diseño que cumple con los parámetros establecidos en cuanto a funcionalidad, confiabilidad y economía, dando de esta forma fin al proyecto.

---

\* Proyecto de Grado.

\*\* Facultad de Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Alfredo Parada Corrales.

## SUMMARY

**TITLE:**

**“INDUSTRIAL AERIAL RAILWAYS FOR AGRICULTURAL TRANSPORT; DESIGN, MODELING AND VIRTUAL PROTOTYPE\*\*”**

**AUTHORS:**

Carlos Alberto Flórez Arias.

Katherine María García Gómez\*\*.

**KEY WORDS:**

Aerial railways, cable, modeling, prototype, design.

**DESCRIPTION:**

In this grade work it was designed, modeled and prototype in a virtual way a system of transport for cable type aerial railway with industrial purpose, for transport of agricultural products among the villages Cantagallo Alto and Cantagallo Bajo of the municipality of San Vicente de Chucurí, department of Santander, with the objective of satisfying the necessities of the farmers of the area, to generate progress in the region, and to contribute with the mission and vision of the Industrial University of Santander.

This work was developed by four stages, investigation, design, modeling, and virtual simulation. The mechanical components of the design were modeled by means of the use of the software CAD Solid Edge V 14, then these components were simulated in the software CAE ANSYS Workbench V8.0. On the other hand for the cable a mathematical model was used that It was solved with the help of a Account Sheet of Microsoft Excel, the obtained results were compared with the heady ones by the software CAE Sap 2000 V 9.3 with the purpose of validating the pattern.

As a result final of the process described previously and thanks to the analysis engineering, a design was obtained that completes with the established parameters as for functionality, dependability and economy, giving thus end to the project.

---

\* Degree Project

\*\* Fisicomecánicas's Faculty. Mechanical Engineering School. Director: Alfredo Parada Corrales.

## INTRODUCCIÓN.

Uno de los principales problemas en el sector agrícola colombiano, es la dificultad y alto costo del transporte de las cosechas a los centros de acopio. La búsqueda del desarrollo de este importante sector hace necesaria la implementación de medios de transporte eficientes para tal fin. En el desarrollo de estos medios de transporte, el transporte por cable es una solución bastante viable para lugares donde no es posible la construcción de carreteras por las dificultades topográficas, por normas de impacto ambiental y por costos comparados.

San Vicente de Chucurí es un municipio prospero que dista a 98 kilómetros de Bucaramanga y tiene una temperatura de 27° centígrados.

Este municipio, es reconocido a nivel nacional por sus deliciosos aguacates y por ser la Capital Cacaotera de Colombia.

La vereda Cantagallo Alto está ubicada sobre los 2000 metros de altura, clima propicio para la siembra de gran variedad de árboles frutales, como mora, tomate de árbol, lulo, durazno, entre otros, sus habitantes se dedican al trabajo de la tierra y no disponen de un medio de transporte adecuado que garantice la integridad de su producción agrícola al ser trasladada a la vía que comunica a los centros de acopio (Vía principal a San Vicente de Chucurí). En consecuencia, su producción está limitada a la capacidad de evacuación mínima que le proporciona el actual camino de herradura mediante porte animal. Además este ineficiente medio de transporte trae consigo el deterioro de sus productos.

En este proyecto se diseñara de forma virtual los componentes mecánicos de un teleférico industrial, para satisfacer las necesidades de transporte de carga para esta vereda. El sistema es un proyecto limpio que contribuye al desarrollo sostenible y para ello su funcionamiento es eléctrico.

Este diseño se realizó con herramientas computacionales que complementan el conocimiento Ingenieril, software de diseño CAD, de análisis ingeniería CAE y de manufactura CAM. Los programas CAD facilitan el desarrollo de elementos o conjuntos con geometrías complejas y dan una visualización previa de lo diseñado. Los software CAE permiten someter al modelo de forma virtual a las múltiples condiciones de carga a las que se proyecta estará sometido el modelo, y suministra información sobre las consecuencias de dichas cargas en él.

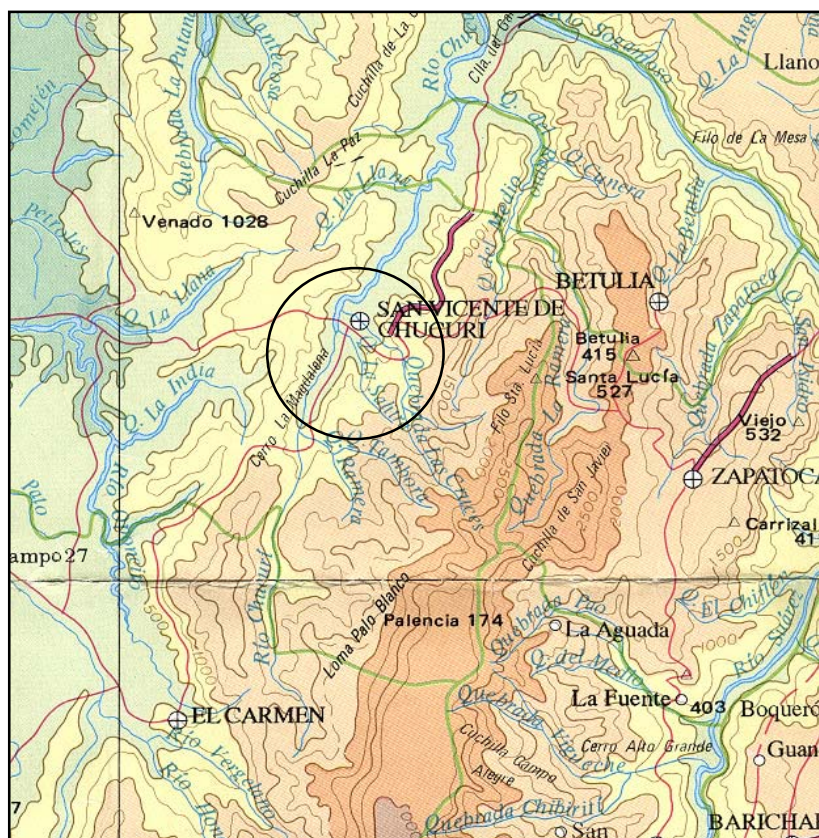
Aquí se presentará el diseño que se hizo con ayuda del software CAD Solid Edge V.14 en la fase de modelado y Ansys Workbench V.8.0 en su fase de análisis Ingenieril CAE.

## 1. FASE DE INVESTIGACIÓN.

### 1.1. IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD.

El proyecto se encuentra localizado entre las veredas de Cantagallo Alto y Cantagallo Bajo, en dirección de la quebrada Las Cruces, al sur oriente del sector urbano del municipio de San Vicente de Chucurí, departamento de Santander.

Figura 1. Zona de influencia del proyecto.



La vereda Cantagallo Alto está ubicada sobre los 2000 metros de altura, clima propicio para la siembra de gran variedad de árboles frutales, como mora, tomate de árbol, lulo, durazno, entre otros.

Los habitantes de las veredas Canta Gallo Alto y Bajo del municipio de San Vicente de Chucurí, se dedican al trabajo de la tierra y no disponen de un medio de transporte adecuado que garantice la integridad de su producción agrícola al ser trasladada a la vía que comunica a los centros de acopio (Vía principal a Sanvicente de Chucurí).

En consecuencia, su producción está limitada a la capacidad de evacuación mínima que le proporciona el actual camino de herradura mediante porte animal, además este ineficiente medio de transporte trae consigo el deterioro de la calidad de sus productos, mayores costos y menor rentabilidad.

**Figura 2. Sistema de transporte actual.**



## **1.2 INFORMACION GENERAL DE LA REGIÓN**

San Vicente de Chucurí es llamada la "Ciudad de los Frutos Valiosos", "Capital Cacaotera de Colombia", "Despensa Agrícola de Santander", es uno de los municipios más prósperos del departamento y su cabecera municipal está localizada aproximadamente a 86 Km de la ciudad de Bucaramanga.

La economía del municipio de San Vicente de Chucurí se basa en la producción de cultivos de cacao, café, plátano, maíz, caña de azúcar, yuca, arroz, frutas, legumbres. La explotación de los recursos forestales y la ganadería se ve favorecida por los excelentes pastos naturales. Complementan la economía municipal la explotación de algunos recursos mineros, significativos yacimientos de petróleo y el activo comercio.

Se distinguen dos regiones topográficamente diferentes: una al occidente, plana ligeramente ondulada y baja, cubierta parcialmente de selvas, la que corresponde al valle del Magdalena; y la otra, al oriente, montañosa presentando alturas cercanas a los 3.500 m.s.n.m., en la que se destaca la Serranía de los Yariguies o los Cobardes, cuyo relieve corresponde a la cordillera oriental, por la conformación del terreno se presentan los pisos térmicos cálido, medio frío y páramo. Riegan sus suelos las aguas de los ríos Cascajales, Chucurí, Llano, Oponcito, Sucio y además de las numerosas quebradas y fuentes menores.

### **LÍMITES**

San Vicente de Chucurí se encuentra localizado en el departamento de Santander y pertenece a la provincia de Mares, se encuentra limitado al norte con Betulia, al sur con El Carmen, al oeste con Barrancabermeja, y al este con Zapatoca. San Vicente de Chucurí se encuentra limitado por la Serranía de La

Paz que lo flaquea hacia el oriente hasta encontrarse con las estribaciones de la Cuchilla del Ramo y al sur los Cerros de los andes y los montes del Tambor.

### **1.3 CONCEPTUALIZACIÓN.**

#### **1.3.1 TRANSPORTES POR CABLES AÉREOS**

Muchos terrenos de difícil topografía, especialmente los más montañosos, requieren de sistemas particulares para el transporte masivo de personas o bienes materiales, es así como desde finales del siglo XVIII, en países principalmente alpinos, ha venido perfeccionándose un sistema técnico de aplicación práctica y de resultados económicos favorables: el funicular aéreo o Teleférico.

El teleférico se podría definir como un sistema conformado por cabinas de una determinada capacidad que son trasladadas aéreamente desde un terminal a otro mediante una red de cables metálicos que le sirven de riel, así como de sistema de tracción.

Si la extensión del teleférico es considerable esta se divide en secciones, cada una con su propio sistema de manejo y tensión. Estas secciones unidas por estaciones permiten el traslado del carro de carga a lo largo del trazado desde una estación a otra, permitiendo cambiar la carga o los pasajeros entre estaciones.

#### **1.3.2 MODELAMIENTO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS**

Muchos de los problemas de la ingeniería y de las ciencias aplicadas están gobernados por ecuaciones diferenciales o integrales. La complejidad de la

geometría o de las condiciones de frontera halladas en muchos de los problemas del mundo real impide obtener una solución exacta del análisis considerado, por lo que se recurre a técnicas numéricas de solución de las ecuaciones que gobiernan los fenómenos físicos. El Método de los Elementos Finitos (MEF) es una de estas técnicas numéricas, muy apropiada para su implementación en computadores, dada su facilidad para el manejo de algoritmos numéricos, rapidez en los cálculos y precisión en la respuesta. Esta técnica puede ser aplicada para resolución de problemas de diversa índole: mecánica de sólidos, mecánica de fluidos, transferencia de calor, vibraciones, etc.

En todos los modelos de elementos finitos el dominio o continuo (el sólido en problemas de mecánica de sólidos) se divide en un número finito de formas simples denominadas elementos. Las propiedades y las relaciones gobernantes del fenómeno estudiado se asumen sobre estos elementos, y se expresan matemáticamente en términos de valores desconocidos en puntos específicos de los elementos denominados nodos. Estos nodos sirven de conexión entre los elementos. En los modelos sólidos, los desplazamientos en cada elemento están directamente relacionados con los desplazamientos nodales, y los desplazamientos nodales se relacionan a su vez con las deformaciones y los esfuerzos en los elementos. El método de Elementos Finitos trata de seleccionar los desplazamientos nodales de tal forma que los esfuerzos estén en equilibrio (de forma aproximada) con las cargas aplicadas. Los desplazamientos nodales también deben ser consistentes con cualquier restricción de movimiento de la estructura.

El Método de los Elementos Finitos convierte las condiciones de equilibrio en un conjunto de ecuaciones algebraicas lineales (o no lineales) en función de

los desplazamientos nodales. Después de obtener la solución de las ecuaciones se pueden hallar las deformaciones y los esfuerzos en los elementos. A medida que se utiliza un mayor número de elementos para representar la estructura, los esfuerzos se acercan más al estado de equilibrio con las cargas aplicadas. Por lo tanto, un concepto importante en el uso del método de los Elementos Finitos es que, en general, un modelo de Elementos Finitos se aproxima a la solución real del problema a medida que se incrementa la densidad de elementos, lo cual conduce a la realización de un análisis de convergencia de la solución.

#### 1.4 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO.

Actualmente los productos agrícolas de las veredas Cantagallo Alto y Cantagallo Bajo son transportados en bestias (mulas, yeguas y asnos) hasta los puntos de comercialización de los productos; este tipo de transporte disminuye la calidad de los productos debido al maltrato que sufren estos en su viaje por las malas condiciones del camino, además el rendimiento de este sistema de transporte es muy bajo, lo que incrementa significativamente los costos de los productos.

**Tabla 1. Rendimiento Del Sistema De Transporte Actual**

Rendimiento Actual (Sistema de transporte en Bestia)	
Tiempo de Viaje (1 Animal)	T (horas)
Cargue	0.5
Bajada	3
Descargue	0.5
Subida	3
<b>Tiempo total de Viaje</b>	<b>7</b>

Carga por animal	125 Kg.
Rendimiento por animal	17.86 Kg/h
Nro.de animales disponibles	50
Número de Viajes por día	1.5
Rendimiento Total	1339.29 Kg/día 1.34 Ton/día

Este rendimiento es muy bajo comparado con la productividad agrícola de la zona de influencia del proyecto, es decir, los agricultores pueden producir mucho más, pero están restringidos por la capacidad del sistema de transporte existente. El sistema mecánico objeto de este estudio aumentará el

rendimiento del transporte de carga para que los cultivadores puedan producir y transportar mayores volúmenes en forma eficiente.

El sistema de transporte de cable aéreo propuesto es eficiente teniendo en cuenta los costos de este tipo de sistemas, ya que permite obtener un rendimiento de 5 Ton/hora, lo cual incrementaría el rendimiento actual en más de un 1000 %, esto posibilitaría un mejor aprovechamiento de las tierras y generaría desarrollo en la región.

Rendimiento sugerido	5 Ton/hora
Tiempo de trabajo sugerido	8 horas
Rendimiento diario	40 Ton/día

Se plantea entonces, un medio de transporte económico y que cumpla con los requerimientos de flujo de carga y de deterioro mínimo del producto, aunado a un bajo impacto ambiental, siendo ésta una condición importante en la zona, ya que en la cercanías de las veredas Cantagallo alto y bajo se encuentra el parque nacional natural de los Lloriquíes.

## 1.5 FASE DE ESTUDIO.

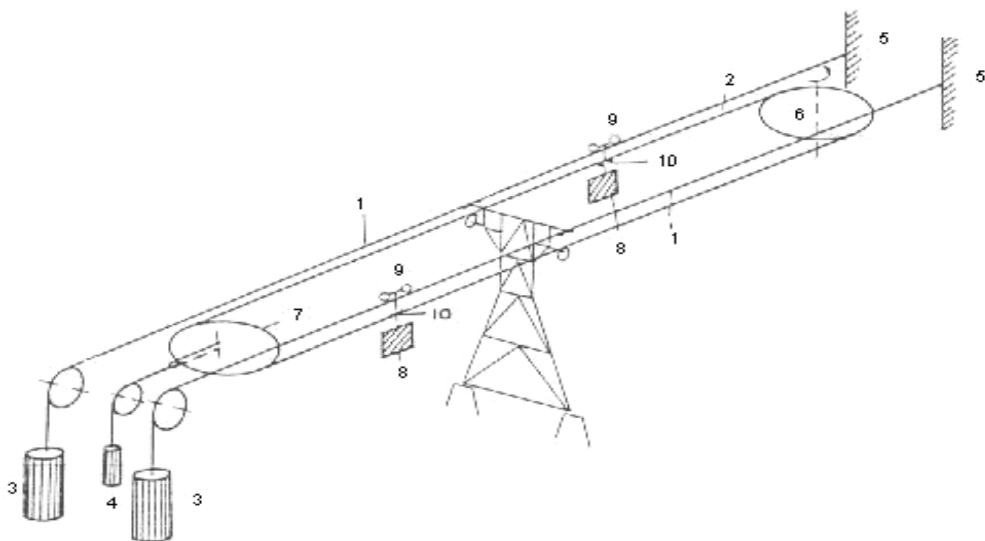
### 1.5.1 CLASIFICACIÓN DE TELEFÉRICOS

Según el tipo de movimiento para hacer el traslado de la carga, se tienen: teleféricos de vaivén, cable de tipo continuo y cable de movimiento intermitente.

- **DE VAIVÉN**

Este sistema puede ser del tipo simple o doble, si cuenta con una o dos cabinas.

**Figura 3. Dibujo esquemático teleférico de vaivén**



1. Cables portadores 2. Cable tractor 3. Pesos de tensión para cables portadores 4. Pesos de tensión para los cables tractores 5. Anclaje de cable portador 6. Manejo 7. Polea de retorno 8. Cabinas 9. Cojinetes 10. Pinzas

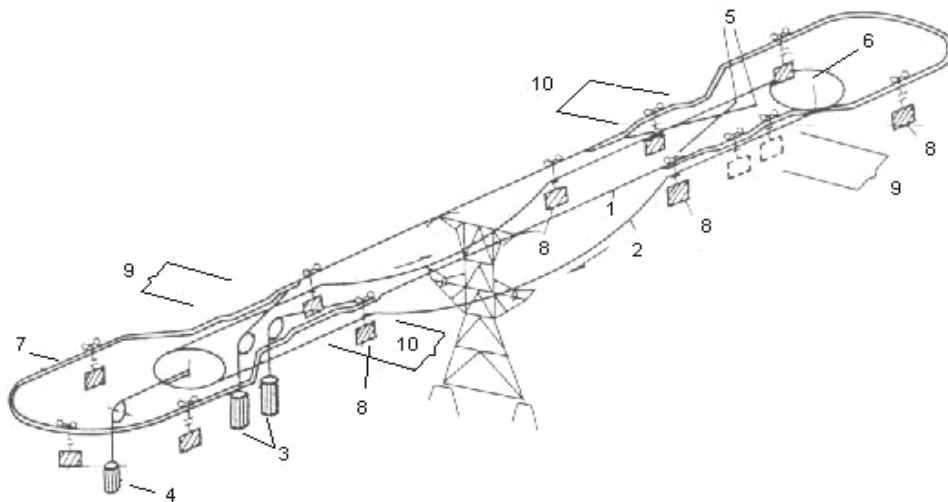
Las cabinas viajan a lo largo del cable portador entre las estaciones de tracción, si hay dos unidades de transporte, se requieren dos cables rieles y cuando una de las dos cabinas se acerca de la estación, la otra se aleja. Como

sólo existe una cabina por vía, su capacidad de transporte depende de la velocidad y la capacidad del compartimiento así como de la longitud de la ruta.

#### ▪ CABLE DE MOVIMIENTO CONTINUO

En éste sistema el cable tractor se desplaza a una velocidad uniforme que es transmitida por la polea de tracción. Las cabinas están sujetadas al cable tractor, ya sea por grapas fijas (los materiales se cargan y descargan mientras el cable tractor esta en movimiento) o por algún sistema de enganche y desenganche. Este puede ser de tipo Monocable o Bicable.

**Figura 4. Dibujo Esquemático Teleférico de Movimiento Continuo**

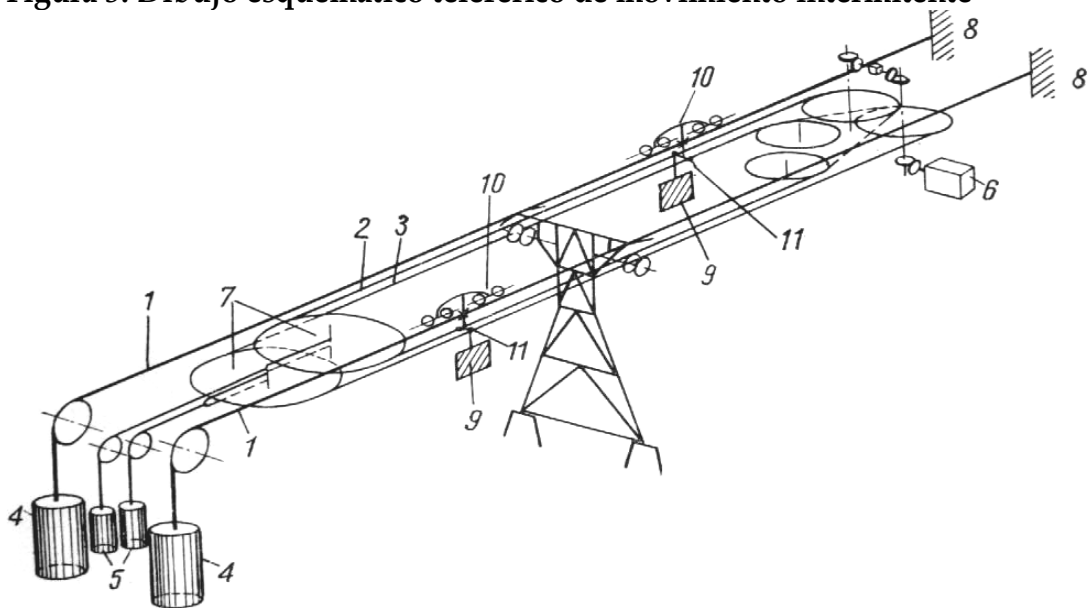


1. Cables portadores 2. Cable Tractor 3. Pesos de tensión para los cables portadores 4. Pesos de tensión para los cables tractores 5. Anclaje del cable portador 6. Manejo 7. Rieles de desvío 8. Cabinas 9. Zona de descargue 10. Zona de ajuste

- **CABLE DE MOVIMIENTO INTERMITENTE**

Este sistema puede ser Monocable o Bicable, requiere estructuras simples y su capacidad se calcula de forma similar al de vaivén, la diferencia esta en que, en lugar de la longitud total se utiliza el espaciamiento de las cabinas.

**Figura 5. Dibujo esquemático teleférico de movimiento intermitente**



1. Cables portadores. 2 y 3. Cable tractor. 4. Pesos de tensión para los cables portadores. 5. Pesos de tensión para los cables tractores. 6. Manejo. 7. Polea de retorno. 8. Anclaje de cable portador. 9. Cabinas. 10. Cojinetes. 11. Pinzas.

La clasificación de acuerdo a la cantidad de cables, tiene las siguientes modalidades:

- **Mono cable continuo**, en el cual un cable sinfín soporta y arrastra en movimiento continuo las vagonetas, se denomina también sistema inglés o HODGSON.
- **Bicable continuo**, en el cual la cabina es soportada por un cable guía sobre el que rueda, y es arrastrada por un segundo cable denominado tractor.

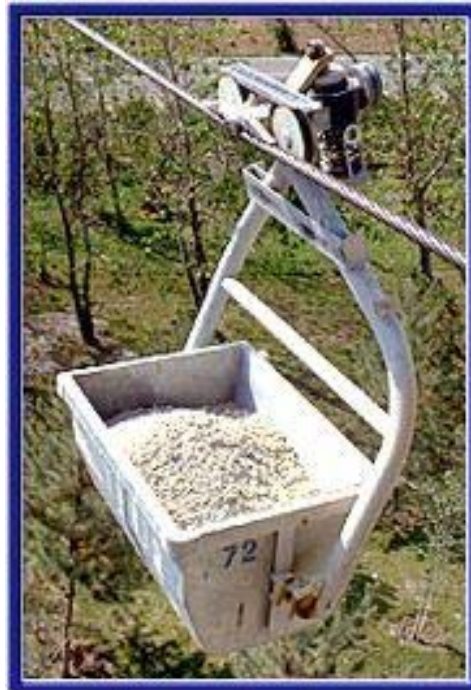
- **Tricable continuo**, en este sistema las cabinas son soportadas por dos cables guía sobre los que rueda y son arrastradas por un tercer cable motor llamado tractor, se conoce también como sistema alemán o BLEICHENT.
- **De grúa funicular**, llamado también BLONDIN, que consta de un cable guía sobre el que rueda un carretón con un polipasto del que cuelga la cabina. El carretón y el polipasto se accionan mediante cables desde tierra.

Y de acuerdo a su uso se clasifican en:

- Teleféricos de carga

Tienen un amplio rango de aplicaciones, ya que pueden movilizar grandes cantidades de víveres y materiales desde la fábrica a los diferentes puntos de distribución y viceversa.

**Figura 6. Cabina para carga a granel**



➤ Teleféricos de pasajeros

Los teleféricos se usan para transporte de pasajeros, materiales, o para una combinación de ambos. Anteriormente se dividían en teleféricos para pasajeros e industriales, lo cual se justificaba desde el punto de vista técnico teniendo en cuenta las regulaciones de seguridad más rigurosas para el transporte de pasajeros, uso que implica diferencias marcadas en la construcción, sin embargo, durante su desarrollo técnico estas diferencias decrecen, razón por la cual en muchos teleféricos de transporte de pasajeros se ha adoptado el transporte de carga y pasajeros.

➤ Teleféricos mixtos

Su diseño permite transportar tanto pasajeros como carga, debido a que poseen los factores de seguridad, la normativa técnica requerida para transportar pasajeros, y es susceptible a la integración de automatización en procesos industriales; sin embargo, es importante resaltar que un teleférico de pasajeros puede adaptarse fácilmente para transporte de carga, mientras que uno de carga no puede ser adaptado para pasajeros sin cambios sustanciales en sus componentes.

## **1.5.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN TELEFÉRICO**

### **VENTAJAS**

- Poseen una capacidad relativamente alta de transporte, hasta 500 ton/h en líneas sencillas.
- Regularidad de servicio
- Inmunidad a todas las condiciones climáticas, excepto a fuertes vientos y hielo o escarcha.

- Capacidad para sortear obstáculos naturales, como ríos, edificaciones u otras vías de comunicación.
- Posibilidad de superar grandes pendientes, 70 % o más.
- Facilidad para introducir la automatización en su construcción.
- Implica bajos costos de construcción en comparación con otros medios de transporte.
- Bajos costos de operación
- Simplicidad en el manejo
- Corto tiempo de retorno de capital

### **DESVENTAJAS**

- Rigidez en la línea de la ruta, ya que es preferible que la ruta siga una línea recta, evitando las desviaciones que incrementan los costos de construcción y operación, sin embargo, si la línea es larga y se requiere una estación intermedia de división, esta no es mas costosa si es una estación en ángulo.
- Localización fija de las estaciones de carga y descarga.
- Susceptibilidad a daños causados por fuertes vientos y hielo.
- La longitud de la línea y la capacidad de transporte determinada son limitadas por consideraciones técnicas y económicas.

### **1.5.3 DEFINICIÓN DE COMPONENTES DEL TELEFÉRICO**

Los componentes esenciales de un sistema de transporte por cable aéreo son: Cables, estructuras y soportes, estaciones con el equipamiento mecánico, instalaciones alimentadoras, instalaciones de señalización con dispositivos de seguridad, y si es necesario estructuras de protección.

Cuando el trayecto es bastante largo y con cambios de dirección en el recorrido, este es dividido en una serie de secciones independientes, o tramos, cada una con su sistema de potencia y de tensión. Estas secciones están unidas por estaciones divididas (de tránsito) donde la carga es transportada de una estación a la otra.

El perfil de cada sección para sortear el terreno depende de la línea de tierra, la altura de los caballetes y la flecha del cable entre caballetes.

### 1.5.3.1 CABLE

Los cables metálicos son elementos ampliamente utilizados en la mayoría de actividades industriales. Así los encontramos formando parte de los equipos para la manipulación y sujeción de cargas, (grúas, cabrestantes, eslingas, etc.) e incluso en el transporte de personas (teleféricos, ascensores, etc.).

Es por ello conveniente conocer las características de dichos elementos, así como las condiciones básicas a tener presentes tanto para su instalación o montaje, como para su manipulación y conservación.

**Figura 7. Acarreo de cables**



### 1.5.3.1.1 MODELO MATEMÁTICO DEL CABLE

Para comenzar se apela al caso más sencillo: el cable se asume inextensible y los soportes se encuentran al mismo nivel. Luego se considera el caso de extremos a distinta altura, y se obtienen además las expresiones paramétricas para las coordenadas cartesianas. En todos los casos, el tradicional ejemplo de problema isoperimétrico del cálculo de variaciones se emplea como punto de partida para la obtención de las ecuaciones de equilibrio. Dentro de este marco se incorpora la ley de Hooke para analizar el cable elástico.

- **EL CABLE ELÁSTICO**

A continuación se trata la respuesta estática de un cable suspendido de dos soportes fijos que no se encuentran necesariamente al mismo nivel. El cable tiene una sección transversal constante cuando se encuentra descargado y está compuesto por un material homogéneo y linealmente elástico. Las coordenadas cartesianas que describen el perfil deformado se obtienen como función de una única variable independiente convenientemente tomada como la coordenada lagrangiana asociada al perfil no deformado y a la longitud de cable inextensible entre el soporte origen y un punto cualquiera. Las expresiones contienen como incógnitas las reacciones horizontal y vertical en el apoyo de partida  $(i, s = 0)$ , valores que pueden ser determinados resolviendo un sistema no lineal de dos ecuaciones planteado a partir de las condiciones de frontera. El cable cuelga de dos puntos fijos I y J (nodos extremos del elemento) de coordenadas cartesianas  $(0,0)$  y  $(l,h)$ , respectivamente, donde la luz cubierta por el cable es  $l$ , y la diferencia de nivel entre soportes es  $h$ . La longitud no deformada del cable es  $L_0$  y no es necesario que sea mayor que  $(l^2 + h^2)^{1/2}$ , sin embargo, no puede ser mucho menor con el fin de no violar la ley de Hooke. Un punto cualquiera en el cable

tiene coordenada lagrangiana  $s$  en la curva de equilibrio estático para el cable inextensible (la longitud desde el origen hasta este punto cuando el cable se encuentra descargado). Bajo la acción del peso propio  $\mathbf{W} = \mathbf{mgL}_0$  este punto se desplaza a su nueva posición en el perfil deformado descrito por las coordenadas cartesianas  $\mathbf{x}$  y  $\mathbf{z}$  y la coordenada lagrangiana  $\mathbf{p}$ .

Con base en el enfoque variacional para la deducción de las ecuaciones, la energía potencial  $\mathbf{V}$  del sistema se compone ahora de dos términos, energía de deformación  $\mathbf{V}_e$  y variación de la energía gravitacional  $\Delta\mathbf{V}_g$  respecto al estado inextensible:

$$V_e = \int_0^{L_0} \frac{1}{2} EA \left( \frac{dp}{ds} - 1 \right)^2 ds,$$

$$\Delta V_g = \int_0^{L_0} mg(z - z_0) ds,$$

La solución de problemas relativos a un simple cable suspendido, es laboriosa debido a la necesidad de recurrir a métodos numéricos. Esta circunstancia no parece a priori un gran obstáculo, debido a la difusión que estas técnicas tienen en el área de Ingeniería en la actualidad, sin embargo, la etapa de diseño preliminar requiere métodos más expeditivos. Con estos no sólo se logra agilizar el proceso, sino que además se obtiene un mayor conocimiento de las magnitudes físicas que participan del problema, con una pérdida de precisión inconsecuente en esta instancia. Con este fin, se exponen las simplificaciones que pueden realizarse en cables de flecha reducida, que son los que comúnmente se encuentran en aplicaciones estructurales.

- **EL PERFIL PARABÓLICO**

Considérese la curva formada por un cable suspendido de dos apoyos ubicados al mismo nivel, bajo la acción de su propio peso. Si el perfil es muy

tendido, de manera que la relación entre la flecha y la luz sea 1 : 8 o menor, la ecuación diferencial que aproxima la condición de equilibrio vertical puede escribirse como:

$$H \frac{d^2 z}{dx^2} = mg,$$

La cual resulta de tomar  $ds/dx = 1$  y permite obtener por integración una expresión para  $z$  en función de  $x$ . Si se incorporan las condiciones de frontera  $z(0) = z(l) = 0$ , la solución es:

$$z(x) = \frac{mgl^2}{2H} \frac{x}{l} \left( \frac{x}{l} - 1 \right).$$

Denominando la flecha como  $d = -z(l/2)$ , la componente horizontal de la tracción en el cable es:

$$H = \frac{mgl^2}{8d},$$

Donde  $H \geq mgl$ , en virtud del límite impuesto a la relación  $d/l$ . La longitud del cable puede escribirse:

$$\begin{aligned} L &= \int_0^l \left[ 1 + \left( \frac{dz}{dx} \right)^2 \right] dx \\ &= l \left[ 1 + \frac{8}{3} \left( \frac{d}{l} \right)^2 - \frac{32}{5} \left( \frac{d}{l} \right)^4 + \frac{256}{7} \left( \frac{d}{l} \right)^6 \dots \right] \end{aligned}$$

Otra forma de obtener la longitud es expresando  $dz/dx = mgx/H$ :

$$L = 2 \int_0^{l/2} \sqrt{1 + \left( \frac{mgx}{H} \right)^2} dx = \frac{l}{2} \sqrt{1 + \left( \frac{mgl}{2H} \right)^2} + \frac{H}{mg} \sinh^{-1} \left( \frac{mgl}{2H} \right).$$

- **EL PERFIL DEL CABLE TENSO INCLINADO**

Ahora se presenta una expresión para la curva descrita por un cable relativamente tenso, de manera que permanece próximo a la cuerda, la cual se encuentra inclinada un ángulo  $\theta$  con respecto a la horizontal, con  $0 \leq \theta \leq \pi/2$ . Si  $z$  se mide ahora desde la cuerda, la ecuación de equilibrio vertical puede escribirse:

$$H \frac{d^2 z}{dx^2} = mg \left[ 1 + \left( \tan \theta + \frac{dz}{dx} \right)^2 \right]^{1/2},$$

Si el valor  $dz/dx$  se considera suficientemente pequeño como para poder despreciar su cuadrado, se obtiene:

$$H \frac{d^2 z}{dx^2} = -mg \sec \theta \left( 1 + 2 \frac{\sin \theta}{\sec \theta} \frac{dz}{dx} \right)^{1/2}$$

- **INFLUENCIA DE LA RIGIDEZ FLEXIONAL**

Después de realizar las simplificaciones admitidas para investigar la influencia de la rigidez flexional del cable, se plantea la ecuación de la fuerza de corte para una viga uniforme bajo peso propio y tracción axial:

$$-EI \frac{d^3 z}{dx^3} + H \frac{dz}{dx} = mg \left( x - \frac{l}{2} \right)$$

Donde  $E$  es el módulo de Young e  $I$  el segundo momento de área de la sección transversal. La solución que se busca es la que satisface las condiciones de desplazamiento y momento (segunda derivada) nulos en los

extremos. Puede escribirse  $z = z_p + z_h$ , donde  $z_p$  representa la solución particular y  $z_h$  la homogénea. La solución particular es:

$$z_p = \frac{mgl^2}{H} \frac{x}{l} \left( \frac{x}{l} - 1 \right),$$

Y la solución homogénea:

$$z_h = C_1 + C_2 \sinh \alpha x + C_3 \cosh \alpha x,$$

Donde

$$\alpha = \sqrt{H/EI}.$$

Incorporando las condiciones de borde, y empleando nuevamente variables adimensionales, se obtiene la solución completa:

$$z = \frac{1}{2}x(x-1) + \frac{1}{\gamma^2} \left[ 1 + \tanh \frac{\gamma}{2} \sinh \gamma x - \cosh \gamma x \right]$$

Donde el parámetro

$$\gamma = \alpha l = \sqrt{Hl^2/EI}.$$

Indica la importancia relativa de las acciones de cable y viga. En el centro la flecha es:

$$d = \frac{mgl^2}{8H} \left[ 1 - \frac{8}{\gamma^2} \left( 1 - \operatorname{sech} \frac{\gamma}{2} \right) \right] < \frac{mgl^2}{8H}$$

Cuando  $\gamma$  es muy pequeño, indicando que predomina la acción de viga, se puede reemplazar  $\operatorname{sech}(\gamma/2)$  por el desarrollo en serie  $\operatorname{sech}(x) = 1 - 1/2x^2 + 5/24x^4 - \dots$ , de manera que:

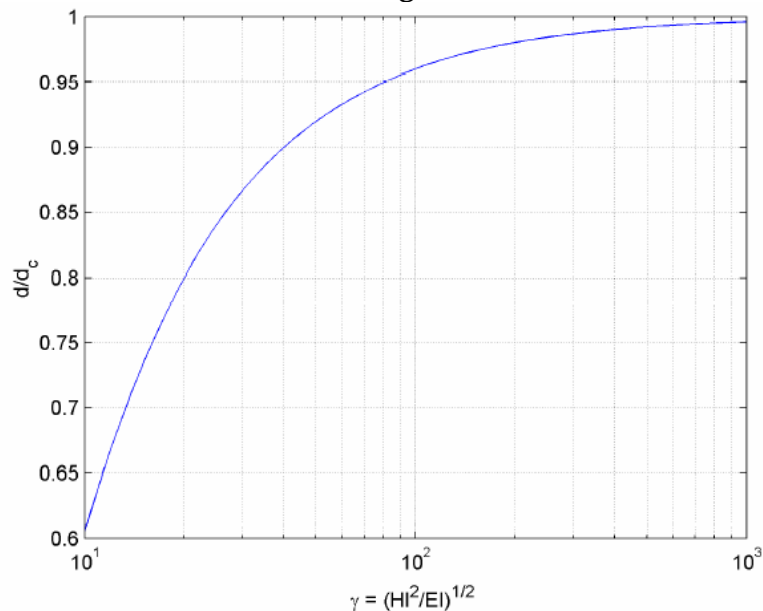
$$\left[ 1 - \frac{8}{\gamma^2} \left( 1 - \operatorname{sech} \frac{\gamma}{2} \right) \right] \rightarrow \frac{5}{12} \left( \frac{\gamma}{2} \right)^2.$$

Entonces se obtiene la deflexión en el centro de la luz en una viga simplemente apoyada bajo peso propio:

$$d \rightarrow \frac{5}{384} \frac{mgl^4}{EI}.$$

Por otro lado, cuando  $\gamma$  es grande, la acción de cable es la principal y  $d \rightarrow mgl^2/8H$ , como puede verse en la siguiente figura:

**Figura 8. Influencia en la flecha de la rigidez flexional**



En la gran mayoría de aplicaciones estructurales de cables  $\gamma$  es grande, del orden de  $10^3$  o mayor. Entonces, los efectos de la rigidez flexional son poco importantes y pueden ser ignorados. Sin embargo, cuando no pueden evitarse cambios bruscos de curvatura, como ocurre en los puntos de aplicación de cargas concentradas, o en los apoyos de las torres de puentes colgantes, los efectos de flexión son localmente importantes. Por otro lado, cabe señalar que los cables, al estar compuestos por un gran número de

alambres, poseen un segundo momento de área mucho menor al que correspondería si se considerara la sección transversal maciza.

### 1.5.3.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES

- **Constitución**

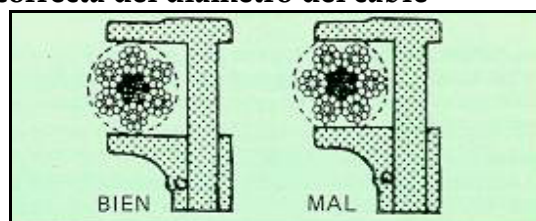
Un cable metálico, de forma genérica, puede considerarse compuesto por diversos cordones metálicos dispuestos helicoidalmente alrededor de un alma, que puede ser textil, metálica o mixta. Esta disposición es tal que su trabajo se comporta como una sola unidad. A su vez un cordón puede considerarse compuesto por diversos alambres metálicos dispuestos helicoidalmente en una o varias capas.

Se denomina arrollamiento cruzado cuando el sentido de arrollamiento de los cordones, en el cable, es contrario al de los alambres. Si los alambres y cordones tienen el mismo sentido, el arrollamiento recibe el nombre de Lang.

- **Diámetro y sección útil**

Se considera como diámetro de un cable el del círculo máximo que circunscribe a la sección recta del mismo; comúnmente se expresa en milímetros. Este diámetro debe medirse con la ayuda de un pie de rey.

Figura 9. Medición correcta del diámetro del cable



La sección útil de un cable es la suma de las secciones de cada uno de los alambres que lo componen. La sección útil de un cable no debe calcularse nunca a partir de su diámetro.

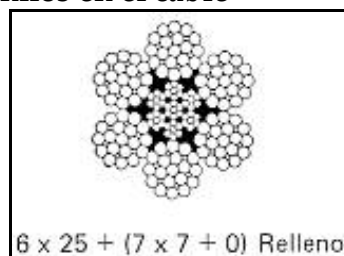
- **Designación del cable**

La composición de un cable se expresa en la práctica de forma abreviada, mediante una notación compuesta por tres signos, cuya forma genérica es:  $A \times B + C$  siendo A el número de cordones; B el número de alambres de cada cordón y C el número de almas textiles. Cuando el alma del cable no es textil o sea formada por alambres, se sustituye la última cifra C, por una notación entre paréntesis que indica la composición de dicha alma. Si los cordones o ramales del cable son otros cables, se sustituye la segunda cifra B por una notación entre paréntesis que indica la composición.

A efectos de designación debe considerarse también las distintas formas de disposición de los alambres en los cordones, el tipo de arrollamiento y si el material que lo constituye es preformado o no.

Por ejemplo, un cable constituido por 6 cordones de 25 alambres cada cordón, dispuestos alrededor de un alma compuesta por un cordón metálico formado por 7 cordones que contienen 7 hilos cada uno, se representaría por:

**Figura 10. Distribución de hilos en el cable**



- **Resistencia del cable**

La resistencia a la rotura a tracción de un cable está determinada por la calidad del acero utilizado para la fabricación de los distintos alambres, el número y sección de los mismos y su estado de conservación.

La carga de rotura de un alambre es el producto de su resistencia mínima por la sección recta del mismo.

Se denomina carga de rotura calculada de un cable, a la suma de las cargas de rotura de cada uno de los alambres que lo componen.

Se denomina carga de rotura efectiva de un cable al valor que se obtiene rompiendo a tracción un trozo del cable, en una máquina de ensayo.

- **Coefficiente de seguridad**

El coeficiente de seguridad de trabajo de un cable es el cociente entre la carga de rotura efectiva y la carga que realmente debe soportar el cable.

$K = \frac{C_{re}}{Q}$	siendo	$K$ = Coeficiente de seguridad $C_{re}$ = Carga de rotura efectiva $Q$ = Carga a soportar por el cable
------------------------	--------	--

- **Flexión de los cables**

Los cables, al ser doblados, pasar por una polea o ser arrollados, sufren esfuerzos inversamente proporcionales al diámetro del arrollamiento y en función de la rigidez constructiva del cable.

La fatiga por flexión en un cable está íntimamente relacionada con el diámetro del arrollamiento en los tambores y poleas. Para evitar que estos valores sean excesivos es conveniente tener en cuenta dos mínimos:

- Relación entre el diámetro de la polea o tambor y el del cable.
- Relación entre el diámetro de la polea o tambor y el del mayor alambre.

- Cada fabricante los tiene establecidos para sus fabricados.

### **1.5.3.1.3 UNIÓN DE CABLES**

En este diseño contemplaremos tanto la realización de empalmes entre cables como la ejecución de distintos tipos de terminales. Los sistemas comúnmente empleados son:

- **Trenzado**

La unión de cables mediante el trenzado es un trabajo muy delicado que requiere operarios muy especializados. La operación consiste en destrenzar los extremos de los cables a empalmar, para trenzarlos de nuevo conjuntamente de forma manual.

La longitud que se recomienda dar a los empalmes es: de 900 veces su diámetro para los cables de arrollamiento cruzado; y de 1.200 veces su diámetro para cables de arrollamiento lang.

Para realizar los terminales mediante trenzado, es recomendable que la longitud de trenzado no sea inferior a 30 veces el diámetro del cable de que se trate.

- **Con casquillos**

Consiste en un manguito de aleaciones especiales que presenta muy buenas características para su conformación en frío. Se coloca a presión sobre los ramales del cable que se pretende unir.

- **Con metal fundido**

Se emplean casquillos generalmente de forma cónica, en los que por el extremo menor se introduce el cable, y en el que se vierte un metal fundido que suele ser zinc puro o una aleación de plomo-antimonio.

Este sistema es algo más laborioso que los demás, pero es el que proporciona un mayor índice de seguridad.

Para la preparación de estos terminales debe procederse como sigue:

1. Practicar una ligadura en el extremo del cable y otras dos a una distancia ligeramente mayor que la profundidad del casquillo.
2. Eliminar la ligadura del extremo y descablear los alambres, procediendo a quitar el alma textil, caso de tenerla.
3. Limpiar cuidadosamente tanto el casquillo como los alambres, sumergiéndolos en ácido clorhídrico y finalmente lavarlos con agua.
4. Atar los alambres por el extremo para pasarlos al interior del casquillo y quitar la ligadura.
5. Verter la colada de metal fundido al interior del casquillo, procurando que no se produzcan fugas de metal. La temperatura de la colada debe ser adecuada para no "recocer" los alambres del cable.

- **Con abrazaderas**

Este sistema es la forma más sencilla para realizar tanto las uniones entre cables, como para la formación de los anillos terminales u ojales.

El número de abrazaderas o sujeta-cabos a emplear en cada caso, variará según se trate de formar anillos terminales o de uniones entre cables; y según el diámetro del cable. A título orientativo se presenta la siguiente tabla:

Las abrazaderas deben ser adecuadas al diámetro del cable al que se deben aplicar (la designación comercial de las abrazaderas se realiza por el diámetro del cable).

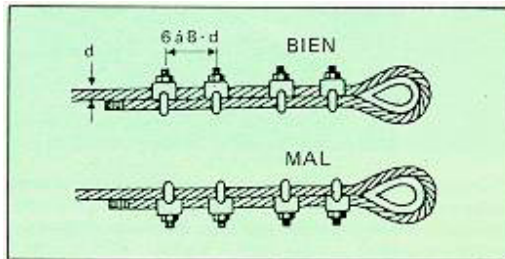
**Tabla 2. Número De Abrazaderas Según Diámetro Del Cable\***

Diámetro del cable en mm.	Abrazaderas precisas	
	para formar un anillo	para unir cables
5 a 12	4	4
12 a 20	5	6
20 a 25	6	6
25 a 35	7	8
35 a 50	8	8

Esta circunstancia debe observarse escrupulosamente puesto que si se emplea una abrazadera pequeña el cable resultará dañado por aplastamiento de la mordaza. Por el contrario si se utiliza una abrazadera o grapa excesivamente grande no se logrará una presión suficiente sobre los ramales de los cables y por tanto se pueden producir deslizamientos inesperados. Es de suma importancia una cuidadosa observancia de las siguientes medidas para alcanzar una eficaz y adecuada disposición de los grilletes o abrazaderas:

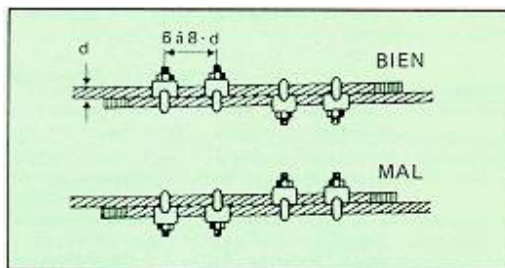
1. Para la realización de anillos u ocales terminales debe emplearse guardacabos metálicos.
2. En los anillos u ocales la primera abrazadera debe situarse lo más próxima posible al pico del guardacabos.
3. La separación entre abrazaderas debe oscilar entre 6 y 8 veces el diámetro del cable.

**Figura 11. Formación de un anillo**



4. El ramal de cable que trabaja a tracción debe quedar en la garganta del cuerpo de la abrazadera, en tanto que el ramal inerte debe quedar en la garganta del estribo.
5. Las tuercas para el apriete de la abrazadera deben quedar situadas sobre el ramal largo del cable, que es el que trabaja a tracción.

**Figura 12. Unión de cables**



6. El apriete de las tuercas debe hacerse de forma gradual y alternativa, sin aprietes excesivos. Después de someter el cable a una primera carga debe verificarse el grado de apriete de las tuercas, corrigiéndolo si fuera preciso.

#### 1.5.3.1.4 CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CABLES

- **Revisiones Periódicas**

Los cables deben ser sometidos a un programa de revisiones periódicas conforme a las recomendaciones establecidas por el fabricante y teniendo presente el tipo y condiciones de trabajo a que se encuentre sometido. Este examen debe extenderse a todos aquéllos elementos que pueden tener contacto con el cable o influir sobre él. Fundamentalmente debe comprender: los tambores de arrollamiento, las poleas por las que discurre, los rodillos de apoyo; y de forma especial debe comprobarse el estado de los empalmes, amarres, fijaciones y sus proximidades.

- **Mantenimiento**

En general el mantenimiento se concreta a operaciones de limpieza y engrase. Para el engrase es conveniente proceder previamente a una limpieza a fondo y seguidamente engrasarlo por riego al paso por una polea, pues se facilita la penetración en el interior del cable. Por la incidencia que tiene el engrase respecto a la duración del cable es conveniente seguir las instrucciones del fabricante y utilizar el lubricante recomendado.

- **Sustitución de cables**

Existen aparatos de control especiales, que detectan los defectos, tanto visibles como interiores de los cables. Ello permite determinar con certidumbre la conveniencia o no de la sustitución.

En los casos no sometidos a Reglamentaciones específicas, la sustitución de un cable debe efectuarse al apreciar visiblemente las siguientes anomalías:

- Rotura de un cordón.
- Formación de nudos.

- Cuando la pérdida de sección de un cordón del cable, debido a rotura de sus alambres visibles en un paso de cableado alcance el 40% de la sección total del cordón.
- Cuando la disminución de diámetro del cable en un punto cualquiera del mismo alcance el 10% en los cables de cordones o el 3% en los cables cerrados.
- Cuando la pérdida de sección efectiva, por rotura de alambres visibles, en dos pasos de cableado alcance el 20% de la sección total.

#### **1.5.3.1.5 TIPOS DE CABLES AÉREOS SEGÚN SU FUNCIÓN**

En las construcciones de transportes de cable aéreo sólo se utilizan cables de fibras de acero. Estos se clasifican de acuerdo a su funcionalidad como:

- **CABLES PORTANTES**

Son los que sirven de rieles para el recorrido de las cabinas, es decir soportan el peso de ellas y también de los cables portantes.

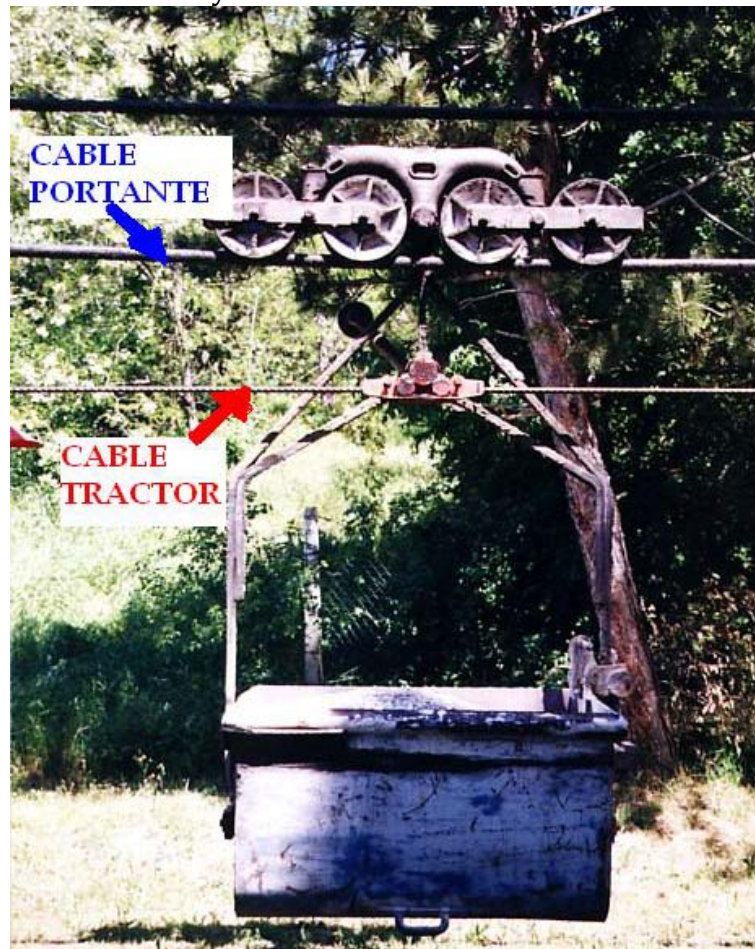
Para teleféricos Bicable o tricable, los cables portantes son anclados a un extremo, mientras que el otro extremo es tensionado por un peso flotante, si la luz de instalación y la flecha fuesen cortas, los cables portantes podrían ser anclados a ambos extremos o tensionados por resortes a compresión.

El uso de este tipo funcional de cable, tiene como objeto:

Reducir el diámetro de los cables (sección transversal que se obtiene del cálculo de esfuerzos de tensión en los tramos del teleférico).

Obtener una potencia de arrastre menor para el cable tractor, así como, dispositivos de frenado menos exigidos, al tener una sección transversal menor se obtiene una inercia total menor.

Figura 13. Cables Tractor y Portante



Obtener reacciones en los apoyos más ligeras inducidas por el peso propio del cable, que es considerable en este diseño debido a las grandes luces de los vanos y a no tener la opción de ubicar torres intermedias.

- **CABLE TRACTOR.**

El cable tractor es empleado para transmitir movimiento mediante el arrastre longitudinal de la cabina que se fija a este.

Este cable va soportado por los cables portantes a lo largo de los tramos mediante los separadores que van situados aproximadamente cada 100 metros.

El cable tractor debe tener una rigidez flexional baja con el propósito de evitar la fatiga de las fibras cuando pasan por la polea motriz.

- **CABLES TENSORES.**

Son usados para conectar los cables principales a los contrapesos o a los anclajes.

### **1.5.3.2 CABINA**

Es un conjunto de piezas mecánicas y estructurales destinado a transportar la carga a lo largo del trazado.

**Figura 14. Cabina de Teleférico Bicable**



En un teleférico bicable o tricable la cabina esta compuesta por las piezas que se enumeran a continuación.

#### **1.5.3.2.1 CARROS**

Los trenes están compuestos por ruedas sobre las que se apoya y desplaza la cabina en su recorrido a través de los cables portantes y la estructura dispuesta para este fin en la estación. Los trenes están diseñados para permitir una oscilación de la cabina que evita movimientos bruscos en los cambios de pendientes durante el recorrido.

#### **1.5.3.2.2 GRAPA O PINZA (dispositivo de enganche y desenganche)**

Es un mecanismo de sujeción al cable tractor que posibilita el desplazamiento debido a que lleva a cabo la transmisión de potencia del cable tractor a la cabina, y permite el embrague y desembrague con este.

#### **1.5.3.2.3 HANGER**

Es la estructura de la cual se suspende la canasta, su función es servir de base para los trenes con los que la cabina completa se apoya en los cables. Además es el soporte donde está montada la Grapa.

#### **1.5.3.2.4 CANASTA**

Estructura suspendida del hanger, diseñada específicamente para almacenar y transportar carga.

### 1.5.3.3 ESTACIONES

Estructuras que contienen los dispositivos mecánicos y eléctricos que permiten la carga y descarga de productos, se ubican en los extremo de los tramos.

Se pueden clasificar de acuerdo al suministro de potencia de la siguiente forma:

Estaciones de tensión (con polea flotante móvil)

Estaciones de potencia (con polea motriz)

**Figura 15. Estación Tensil de Telesilla.**



De acuerdo al tipo de anclaje de los cables portantes en:

- Estaciones de anclaje
- Estaciones de tensión

### 1.5.3.4 COMPONENTES MECÁNICOS DE LAS ESTACIONES

#### 1.5.3.4.1 Accesorios

- Desviadores para cables tractores, compuestos por una serie de rodillos sobre una estructura que los soporta, direccionando el cable hacia la polea tensil o hacia la polea motriz.

**Figura 16. Torres con Rodillos Para Desviar el Cable**



- Desviadores para cables portantes que son patines engrasados, utilizados en última instancia para direccionar los cables hacia su anclaje o al acople de los contrapesos.
- Anclajes y pesos muertos
- El Mecanismo de enganche y desenganche, está ubicado después del desviador.

Es un dispositivo que impulsa la cabina, para garantizar el accionamiento de la grapa en sus etapas de enganche y desenganche, y permite un desplazamiento que acerca la cabina a una zona segura para ser manipulada por el operario.

Consta de:

- Sistema de impulsión (Motor, transmisión, poleas de conducción y acoples)
- Ruedas de impulsión
- Accionamiento del dispositivo (leva, solenoide, etc).

#### 1.5.3.4.2 Sistema De Transmisión De Potencia

Es el conjunto encargado de transmitir la potencia necesaria para movilizar la carga a lo largo del recorrido, esta compuesto por motor, Transmisión y Sistema de frenado.

- Polea motriz.

Es el elemento que transmite la potencia al cable tractor. Debe ser diseñada de tal modo que la tracción se óptima y sin deslizamientos. Esta característica se garantiza mediante un dispositivo tipo tijera dentro de la garganta de la polea que se acciona a la entrada tangencial del cable, lo sostienen mientras barre 180° para soltarlo en su salida tangencial.

**Figura 17. Polea motriz**



- Polea tensil.

Son poleas flotantes para tensionar los cables tractores. En este diseño la polea va suspendida y guiada verticalmente (para aprovechar su propio peso), soportando un contrapeso guiado dentro del foso donde se encuentra alojado.

- Contrapesos de tensión.

Son los que proporcionan la tensión necesaria, para que el cable mantenga la geometría proyectada para el funcionamiento del teleférico.

## 1.5.4 COMPONENTES ESTRUCTURALES

### 1.5.4.1 Torres

Las torres son las estructuras que están destinadas a soportar el peso de los dispositivos presentes en la línea, son usadas para cambiar la dirección del cable portante, en ellas se soporta el cable tractor que corre a lo largo de poleas dispuestas en grupos ensambladas en lamina.

Figura 18. Torre



Se construyen principalmente en celosía, pero actualmente se esta empleando tubo circular soldado para tal fin. Su altura debe ser tal que la cabina, dispuesta en el sitio con más flecha del cable, se encuentre por encima de la

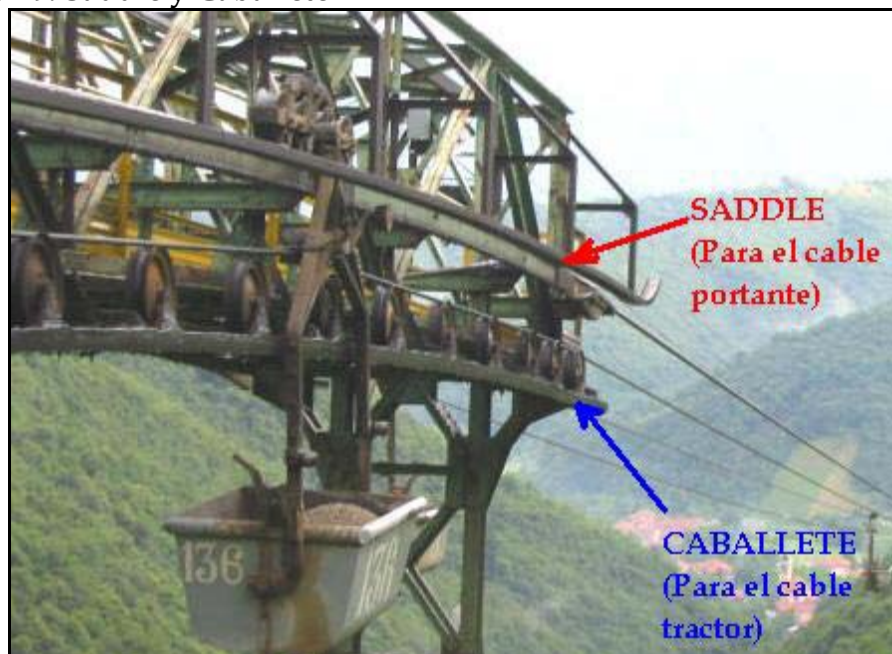
línea de tierra por lo menos 3 metros encima de los obstáculos naturales o artificiales que se pudiera encontrar.

#### 1.5.4.2 Apoyos (caballetes y Saddles)

Son los elementos que están ubicados sobre las torres que sirven como soporte a los cables. Los cables portantes son soportados en los saddles de las torres, mientras que los cables tractores corren en poleas o rollers soportados por láminas.

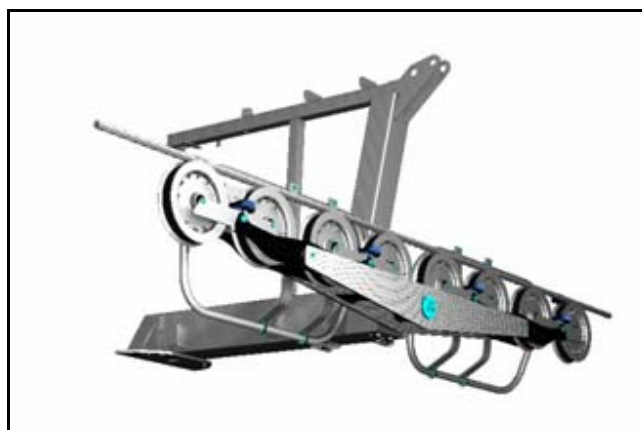
Los saddles funcionan permitiendo que el cable portante se apoye en él sin soportar ni transmitir la totalidad de la tensión, en ellos solamente se soporta la componente vertical de la tensión del cable y la resultante del cambio de dirección de este.

Figura 19. Saddle y Caballete



Los caballetes o baterías de poleas están destinados a soportar el peso del cable tractor, así como permiten la libre movilidad del cable en su recorrido a lo largo de la estación.

**Figura 20. Caballete**



#### **1.5.5 ESTRUCTURAS DE PROTECCION Y SEGURIDAD.**

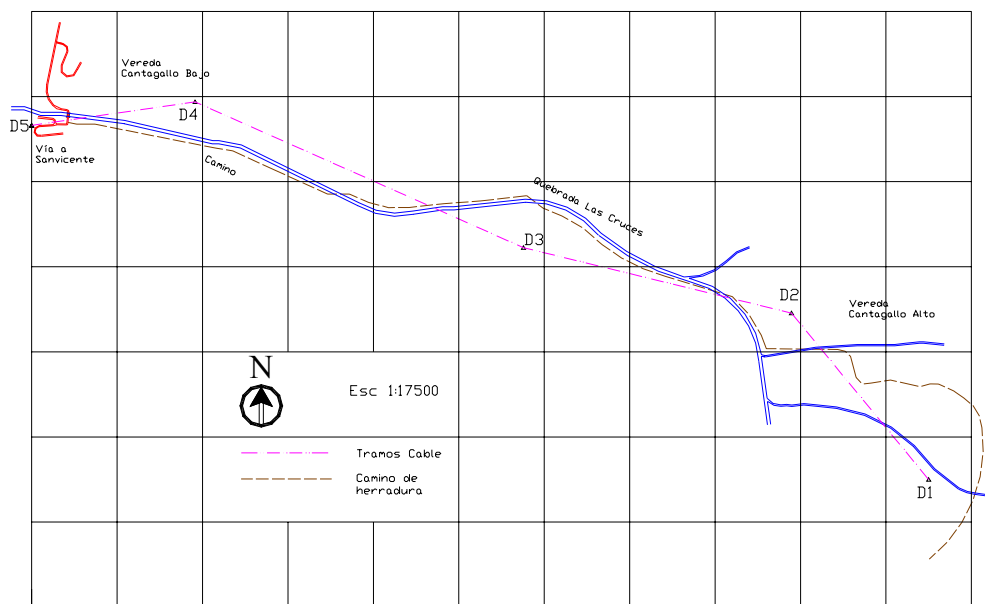
Su función es proteger las partes inseguras del teleférico, en el caso de rotura en el cable, rotura del carro o caída de la carga. Estas estructuras son puentes de protección, redes de protección y terrazas de protección. También se usan estructuras de protección que evitan el ingreso de personas o animales a la zona del teleférico con partes en movimiento para evitar accidentes.

## 1.6 CONDICIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL TELEFÉRICO A DISEÑAR.

No se permite la ubicación de torres intermedias entre estaciones debido a las características topográficas de la zona y al impacto ambiental que generarían en el área declarada como parque Nacional natural.

Para este diseño se tienen cuatro tramos que cubren una distancia total de aproximadamente 4843.2 metros. Cada tramo tiene una dirección distinta, esto conlleva a que el diseño sea en realidad para cuatro teleféricos independientes con requerimientos distintos. A continuación se presenta el Trazado topográfico y las longitudes de vanos.

**Figura 21. Trazado topográfico**



Longitud de cuerda Tramo D1-D2 = 1035.8 m.

Longitud de cuerda Tramo D2-D3 = 1310.3 m.

Longitud de cuerda Tramo D3-D4 = 1704.2 m.

Longitud de cuerda Tramo D4-D5 = 792.9 m.

### 1.6.1 FOTOGRAFÍAS DE TODOS LOS TRAMOS

Figura 22. Vista de D2 tomada desde D1



Figura 23. Vista de D2-D3



Figura 24. Vista de D4 Desde D3



Figura 25. Vista de D5 Desde D4



**Figura 26. Vista de D4 Desde D5**



### **1.6.2 DESCRIPCIÓN DE LA CARGA**

Este sistema de cable aéreo transportará solo productos agrícolas, principalmente mora, tomate de árbol, y otros productos como café y cacao que se cultivan en las partes bajas del área de influencia del proyecto. Debido a la diferencia de densidades de los diferentes productos a transportar, es necesario realizar un pesaje para garantizar no excederse en los límites de carga para cada canasta.

No se contempla la posibilidad de transporte de pasajeros. El cambio de funcionamiento deberá soportarse mediante nuevos diseños estructurales y mecánicos.

### 1.6.3 CAPACIDAD DE LA CABINA

Para el cálculo de la capacidad de la cabina se tuvo en cuenta el producto de mayor incidencia en la zona que es la mora, la cual esta siendo transportada en canastillas de 50x40 cm. de base y 25 cm. de altura. Estas canastillas se deben seguir utilizando con el fin de evitar el aumento de costos de fabricación de nuevos recipientes, además son estándar y se consiguen con facilidad en el mercado.

**Figura 27. Canastillas Para Acarreo De Frutas.**



Debido a que se van a transportar otros productos, es necesario un control de pesaje para evitar que cada cabina contenga más de 250 Kg, con el fin de no exceder las cargas admisibles del sistema.

Capacidad por canastilla	20 Kg
Peso propio de la canastilla	5 Kg
Peso canastilla con carga	25 Kg
Nro. de canastillas por cabina	10
Carga total en la cabina	250 Kg

#### 1.6.4 VELOCIDAD DEL SISTEMA

La velocidad de viaje depende del tipo de transporte.

En cables aéreos de movimiento continuo el rango de velocidad de viaje es de 1.5 a 4.0 m/s, usualmente 2.5 m/s, con un rango de aceleración de 0.2 m/s<sup>2</sup> – 1.5 m/s<sup>2</sup>. Esto asegura suavidad en el movimiento de las cabinas.

Velocidad del sistema	2,5 m/seg
-----------------------	-----------

#### 1.6.5 ESPACIADO DE LAS CABINAS

El espaciado entre las cabinas depende del sistema mecánico para cargar y descargar el material a transportar, de la distribución de cargas en los vanos, etc. En la práctica es común tener intervalos de tiempo mayores a 30 segundos, cuando es menor, la carga y la descarga del material debe ser automática.

El problema del espaciado de las cabinas esta estrechamente relacionado con la capacidad de transporte propuesta, la velocidad de viaje de diseño y la capacidad de carga.

**Tabla 3. Rendimiento y Número de Cabinas en Cada Tramo**

Rendimiento	5000	Kg/hora																					
Carga total por Cabina	250	Kg/cabina																					
Nro de Cabinas por hora = Rendimiento / Carga total por cabina																							
Nro de Cabinas por hora =	20.00																						
<b>Frecuencia de llegada = 3600 seg. / Nro. de Cabinas por hora</b>																							
Frecuencia de llegada =	180 seg.																						
Velocidad del sistema																							
	2.5 m/seg																						
<b>Longitud entre Cabinas = Frecuencia de llegada x Velocidad</b>																							
Longitud entre Cabinas =	450 m																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TRAMO</th> <th>Long. Htal</th> <th>Dif. Nivel</th> <th>Long. Recorrido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-2</td> <td>1012.79</td> <td>217.04</td> <td>1035.78</td> </tr> <tr> <td>2-3</td> <td>1291.63</td> <td>220.21</td> <td>1310.27</td> </tr> <tr> <td>3-4</td> <td>1687.91</td> <td>234.72</td> <td>1704.15</td> </tr> <tr> <td>4-5</td> <td>769.22</td> <td>192.31</td> <td>792.90</td> </tr> </tbody> </table>				TRAMO	Long. Htal	Dif. Nivel	Long. Recorrido	1-2	1012.79	217.04	1035.78	2-3	1291.63	220.21	1310.27	3-4	1687.91	234.72	1704.15	4-5	769.22	192.31	792.90
TRAMO	Long. Htal	Dif. Nivel	Long. Recorrido																				
1-2	1012.79	217.04	1035.78																				
2-3	1291.63	220.21	1310.27																				
3-4	1687.91	234.72	1704.15																				
4-5	769.22	192.31	792.90																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TRAMO</th> <th>Long. Recorrido</th> <th>Nro. Cabinas Calc.</th> <th>Nro. Cabinas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-2</td> <td>1035.78</td> <td>2.30</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>2-3</td> <td>1310.27</td> <td>2.91</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>3-4</td> <td>1704.15</td> <td>3.79</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>4-5</td> <td>792.90</td> <td>1.76</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>				TRAMO	Long. Recorrido	Nro. Cabinas Calc.	Nro. Cabinas	1-2	1035.78	2.30	3	2-3	1310.27	2.91	3	3-4	1704.15	3.79	4	4-5	792.90	1.76	2
TRAMO	Long. Recorrido	Nro. Cabinas Calc.	Nro. Cabinas																				
1-2	1035.78	2.30	3																				
2-3	1310.27	2.91	3																				
3-4	1704.15	3.79	4																				
4-5	792.90	1.76	2																				

## 1.7 SELECCIÓN DEL TELEFÉRICO A DISEÑAR

En primera instancia se considero el sistema Monocable, pero debido a que las distancias entre apoyos son grandes, el peso propio del cable imprimiria tensiones considerables que sumadas al peso de la carga a transportar obligarian a aumentar el diámetro de la sección transversal del cable para soportar los esfuerzos inducidos, como consecuencia de esto aumentaria la rigidez flexional, lo que a su vez crearia la necesidad de aumentar el diámetro de la polea motriz, cuyos valores recomendados son  $D_{\text{cable}} \times 1000$ . para minimizar los esfuerzos por flexión inducidos en el cable. Por lo tanto el Monocable requeriria de espacios mas grandes para el sistema motriz, y generaría un aumento en los costos de diseño, construcción y montaje.

El sistema de cable aéreo más apropiado es un sistema bicable o tricable de movimiento continuo. Si la sección transversal del cable único del sistema Monocable es distribuida en tres cables, de tal forma que dos cables soporten carga y uno proporcione el movimiento, se obtienen cables de menor sección transversal, más flexibles, comerciales y con costos menores de montaje.

Asesores externos (profesores de resistencia de materiales y diseño de máquinas de la Universidad Nacional sede Medellín y de la universidad de Antioquia) recomendaron el sistema tricable como la mejor opción debido a la amplitud de las luces entre apoyos, pues permite una mayor estabilidad en el carro y tiene menores costos de montaje.

Con base en los resultados del análisis ingenieril hecho y las recomendaciones constructivas recibidas se selecciono el sistema Tricable Continuo con cabinas desenganchables.

## **2 FASE DE MODELADO.**

### **2.1 DEFINICIÓN DE DISEÑO.**

En forma general, el diseño consiste en suministrar un plan que lleve a la solución más conveniente de un problema específico. Ahora, abordando esta definición desde el punto de vista de la Ingeniería Mecánica, dicha solución se basa en el máximo aprovechamiento de la energía mediante la optimización de los procesos, mecanismos y dispositivos involucrados en su transformación, obteniendo el diseño más simple y funcional.

#### **2.1.1 PLAN DE SOLUCIÓN USANDO EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

La solución de cualquier problema utilizando el Método de los Elementos Finitos contempla un plan con los siguientes pasos a seguir:

1. Especificar la geometría. Esto puede hacerse dibujando la geometría directamente en el paquete o importando el modelo desde un modelador sólido CAD (En el caso de este proyecto, Solid Edge, Acad 2000).
2. Definir el tipo de elemento y las propiedades del material. (En ANSYS 8.0 en su entorno WORKBENCH, la elección del tipo de elemento no está permitido, ya que este utiliza un elemento por defecto llamado "ELEMENTO 187").
3. Enmallar el objeto. Consiste en dividir el objeto en pequeños elementos.
4. Aplicar las condiciones de frontera (restricciones) y las cargas externas.
5. Generar una solución.

6. Postprocesamiento. Los datos obtenidos como resultado pueden visualizarse a través de gráficas o dibujos.

7. Refinar la malla. El método de Elementos Finitos es un método aproximado, y en general la precisión de la solución se incrementa con el número de elementos usado. El número de elementos requerido para obtener una respuesta confiable depende del problema específico; sin embargo, es recomendable siempre incrementar el número de elementos en el objeto y observar la variación en los resultados.

8. Interpretación de los resultados. Este paso es el más importante de todo el análisis, pues requiere de los conocimientos y la habilidad del ingeniero para entender e interpretar los resultados arrojados por el programa. Este paso es crítico para lograr la aplicación de los resultados en la solución de los problemas reales, o para identificar los posibles errores cometidos durante la etapa de modelamiento.

### **2.1.2 IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL**

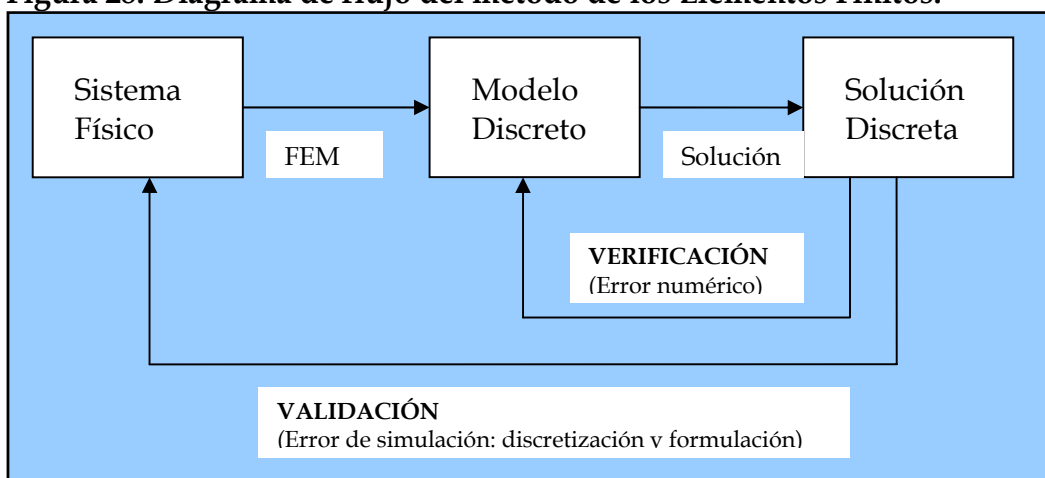
Toda implementación computacional del método de los Elementos Finitos se compone básicamente por tres partes:

- Preprocesador: Funciona esencialmente como un paquete CAD; permite construir el modelo, definir las cargas y las restricciones deseadas.
- Solucionador: Permite ensamblar y resolver el sistema algebraico de ecuaciones que representan el sistema físico.
- Postprocesador: Facilita la manipulación de los resultados numéricos, bien sea en forma de listas, tablas o en forma gráfica.

Aunque puede realizarse una implementación del método de los Elementos Finitos adecuada a las necesidades propias de una organización, ya existen comercialmente paquetes que integran el método y permiten acceder rápidamente a la solución de un análisis específico.

### 2.1.3 FUENTES DE ERROR

**Figura 28. Diagrama de flujo del método de los Elementos Finitos.**



La Figura 28 muestra los pasos a seguir en la ejecución de un análisis por Elementos Finitos. Se observa que a través de un proceso de discretización se pasa de un sistema físico a un modelo discreto, que al ser solucionado permite obtener una solución discreta. La validez de dicha solución puede verificarse en el modelo discreto, de donde se obtiene un error numérico en la solución de las ecuaciones. El resultado total del modelo se debe verificar contrastando los resultados con soluciones obtenidas por métodos experimentales o teóricos, lo cual constituye el proceso de validación del modelo.

Las tres principales fuentes de error en una solución típica de Elementos Finitos son: los errores de discretización, los errores de formulación y los errores numéricos.

Los errores de discretización resultan de transformar el sistema físico (continuo) en un modelo de Elementos Finitos, y pueden estar relacionados con el modelamiento de la forma externa del elemento, las condiciones de frontera, etc. Se deben básicamente a una pobre representación geométrica del elemento deseado o a una simplificación excesiva del elemento representado.

Los errores de formulación surgen del uso de elementos que no describen de forma precisa el comportamiento del problema físico. Los elementos usados para modelar problemas físicos para los que no son apropiados son llamados matemáticamente inapropiados o mal condicionados.

Los errores numéricos ocurren como resultado de los procedimientos numéricos de cálculo, e incluye errores de truncamiento y de redondeo. Este error, por tanto, concierne más a los desarrolladores de software que a los usuarios.

#### **2.1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO**

El método de Elementos Finitos es muy versátil y poderoso, permite a los ingenieros obtener información del comportamiento de objetos de geometría compleja bajo casi cualquier carga imaginable (cargas puntuales, de presión, térmicas, fuerzas inerciales, cargas dependientes del tiempo). Permite resolver problemas en estado estable o dependiente del tiempo, lineal o no lineal. Se pueden manejar materiales especiales: no homogéneos,

ortotrópicos, anisotrópicos. Se pueden además considerar efectos especiales sobre los materiales, plasticidad y propiedades dependientes de la temperatura. Las ramas de aplicación son variadas: mecánica de sólidos, mecánica de fluidos, electromagnetismo, biomecánica, transferencia de calor y acústica, entre otras.

A nivel empresarial, las ventajas del método son notorias, la etapa de desarrollo de un producto se acorta, se pueden identificar problemas de diseño antes de fabricar un prototipo, se reducen las etapas de prueba y error en el diseño de un nuevo producto, etc.

La principal limitación de los métodos de solución por Elementos Finitos radica en que la precisión de los resultados depende de la densidad de elementos utilizada. En análisis estructurales, cualquier región con alta concentración de esfuerzos debe ser cuidadosamente analizada mediante un enmallado suficientemente fino para obtener resultados confiables. Debido a que los paquetes actuales de Elementos Finitos parecen resolver tan amplia gama de problemas, existe una marcada tendencia a resolver problemas mecánicamente sin tomarse el trabajo de entender la física y matemática subyacentes en el problema. Los paquetes de Elementos Finitos se han vuelto casi indispensables en el diseño y análisis mecánico, pero han acercado a los usuarios la posibilidad de cometer grandes errores.

La versatilidad del método no salva la necesidad de realizar un detallado análisis de los resultados obtenidos antes de ser aplicados en la solución de un problema real. Los resultados pueden obtenerse tan bien presentados que infunden gran confianza en el análisis, lo cual puede conducir a *“cometer errores con gran confianza”*. Se pueden producir grandes errores en el modelamiento debido al uso de opciones inadecuadas del programa, o

debido al uso adecuado del programa pero con datos errados. Los resultados de un programa no son confiables si el usuario no entiende como funciona o si no tiene las nociones físicas suficientes para entender los resultados arrojados por el programa. Los resultados deben ser comparados con las expectativas; se pueden obtener resultados alternos de modelos simplificados calculados a mano o de experimentación en estructuras o elementos similares. *“El método de los Elementos Finitos puede hacer de un Ingeniero bueno uno mejor, y de un mal Ingeniero uno mas peligroso”.*

La capacidad requerida del software y del computador para realizar un análisis de Elementos Finitos depende de la complejidad del análisis. Sin embargo, en cualquier caso se puede aplicar el teorema fundamental de los Elementos Finitos: *“Entre más rápido y más grande, mejor”.*

## **2.2 COMPONENTES DISEÑADOS EN CAD/CAE**

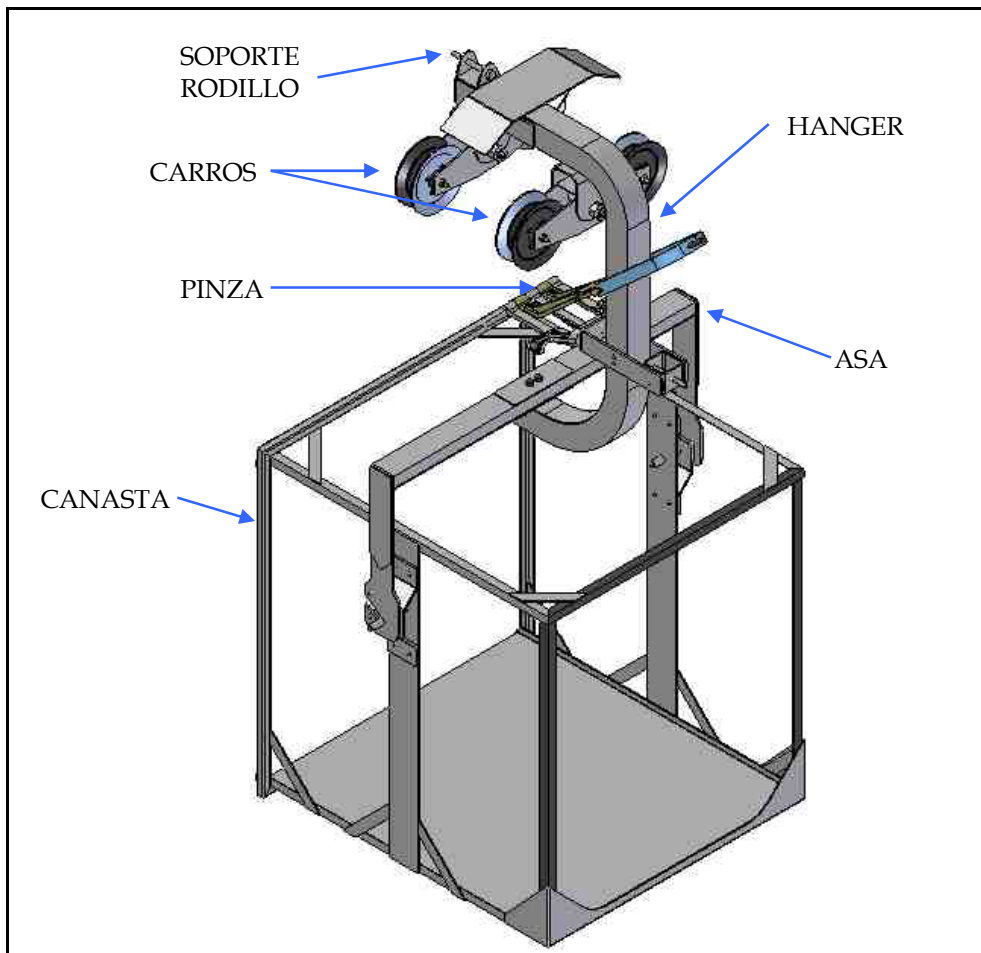
### **2.2.1 CABINA**

La cabina esta compuesta por canasta, hanger, pinza, carros, soporte de los carros y soporte del rodillo. Diseño minimalista y de fácil construcción con tecnología existente en Colombia.

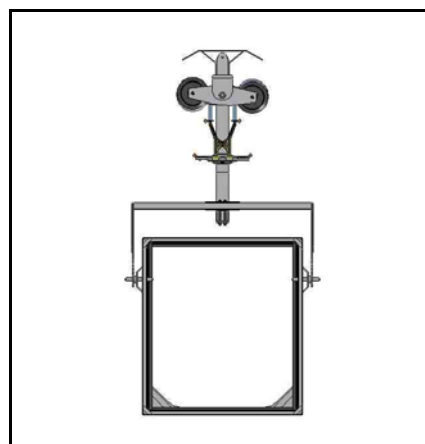
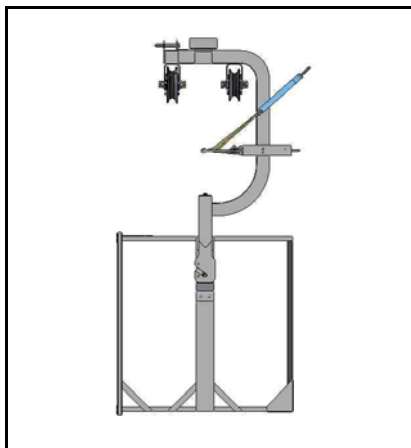
Este conjunto es el encargado de desplazarse a lo largo del recorrido, por medio de la pinza obtiene el impulso necesario tomándolo del cable tractor, y con ayuda de los carros se desliza sobre los cables portantes.

Ver Figuras 29 y 30 en la siguiente página.

**Figura 29. cabina y sus partes.**



**Figura 30. Vistas Lateral y Frontal de la Cabina**



### 2.2.1.1 CANASTA

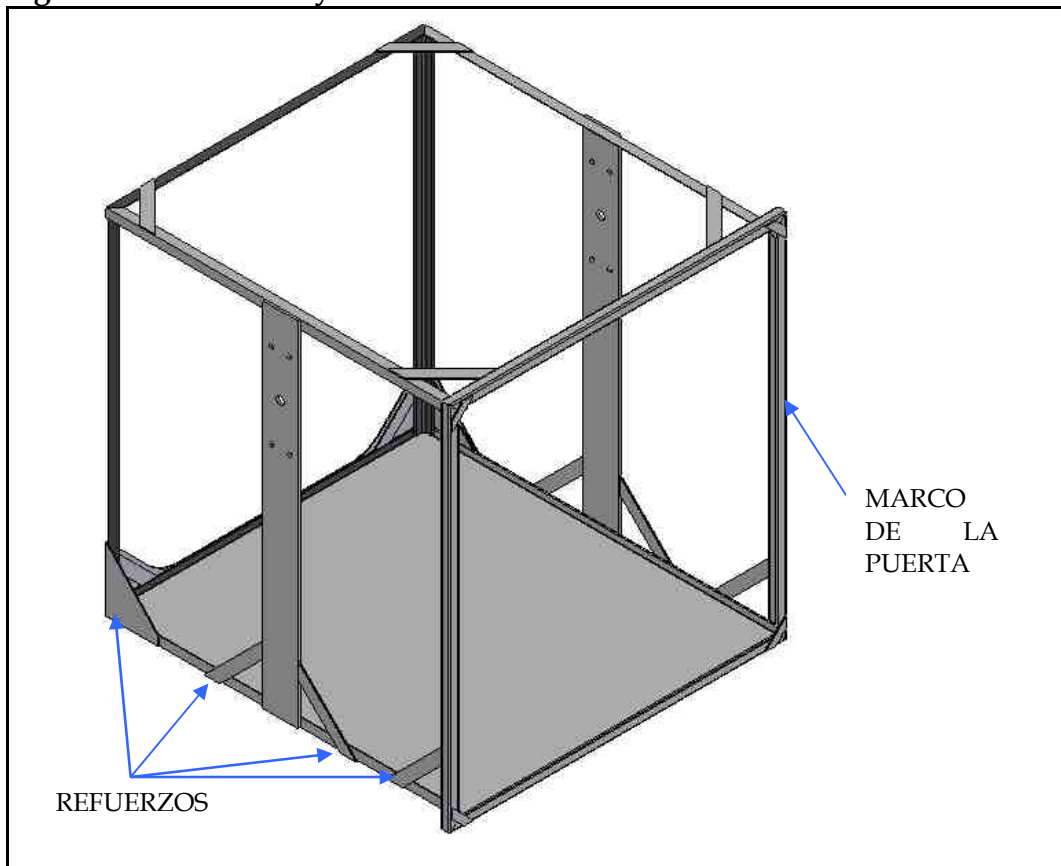
Se seleccionó una canasta constituida por una armadura metálica tomando las aristas de un tetraedro como esqueleto, compuesta por perfiles en “L” y tubería cuadrada soldada, a este armazón se une una lámina de alfajor que cumple las funciones del piso, sobre el que se transportara la carga. También se dispone de una serie de refuerzos que brindan resistencia y estabilidad. Esta estructura esta suspendida de unas orejas, en cada una de las cuales se apoya el pivote que sostiene la canasta. Los recubrimientos laterales se harán en malla metálica, ya que esta es liviana y cumple con las exigencias del diseño y por techo se dispone de una lámina de fibra de vidrio que proteja la carga de las condiciones climáticas (lluvia, sol). La puerta de alimentación esta compuesta por dos portezuelas que abren hacia afuera, despejando la entrada en su totalidad, facilitando así la carga y descarga de los productos.

#### **Capacidad**

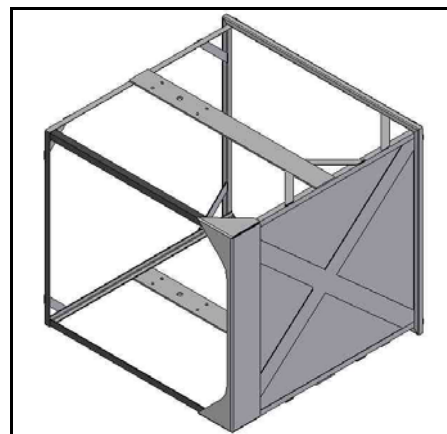
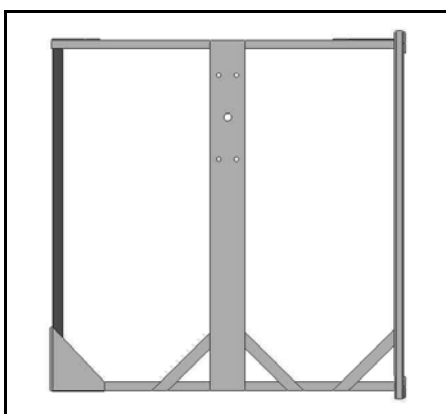
La canasta tiene una capacidad de 250 Kg. de carga, que es introducida con la ayuda de una base de madera para facilitar su traslado al siguiente tramo, permitiendo un flujo continuo de 3 toneladas - Hora o un flujo discontinuo aproximadamente de 2 Toneladas - Hora.

Las dimensiones son 100 alto x 90 profundidad x 90 ancho (cm.), donde caben 4 pilas, cada una con 3 o 5 canastas dependiendo de las dimensiones de las mismas.

**Figura 31. La Canasta y sus Partes**



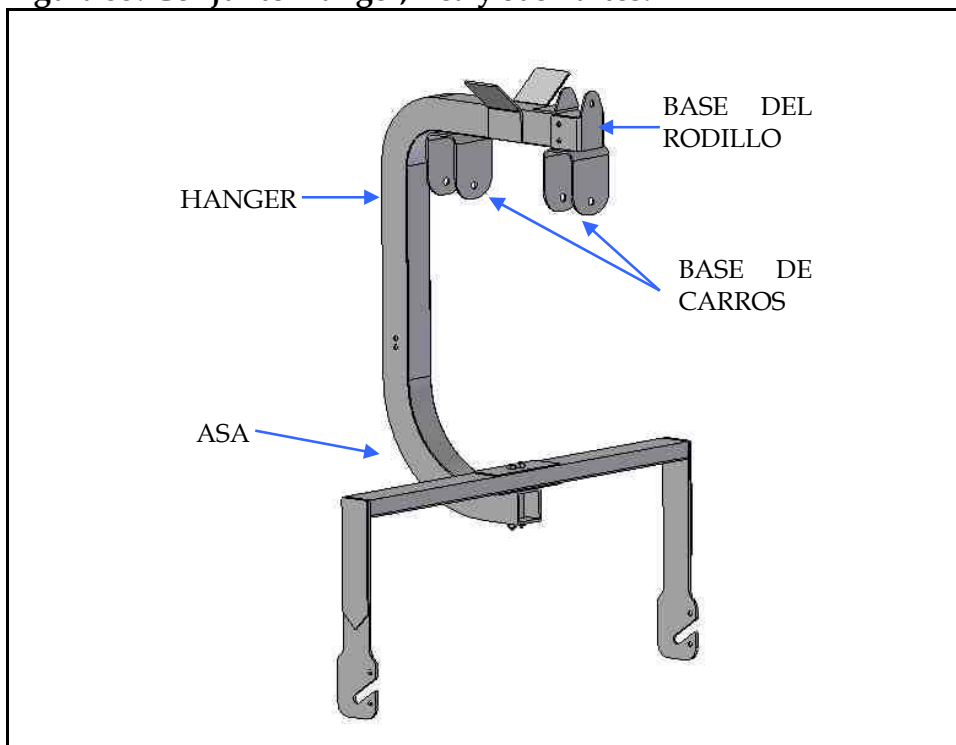
**Figura 32. Vistas complementarias de la Canasta**



### 2.2.1.2 HANGER

El Hanger se diseñó como cuatro láminas soldadas que forman un tubo, a este se le acoplan por medio de pernos el asa, las bases de los carros, la base del rodillo y la pinza.

**Figura 33. Conjunto Hanger, Asa y sus Partes.**



Su diseño se enfocó en la simplicidad y facilidad de reemplazo, además permite el acople de otro tipo de soporte de carga (asa) para movimiento de materiales que así lo requieran. Más detalles, ver Anexo C.

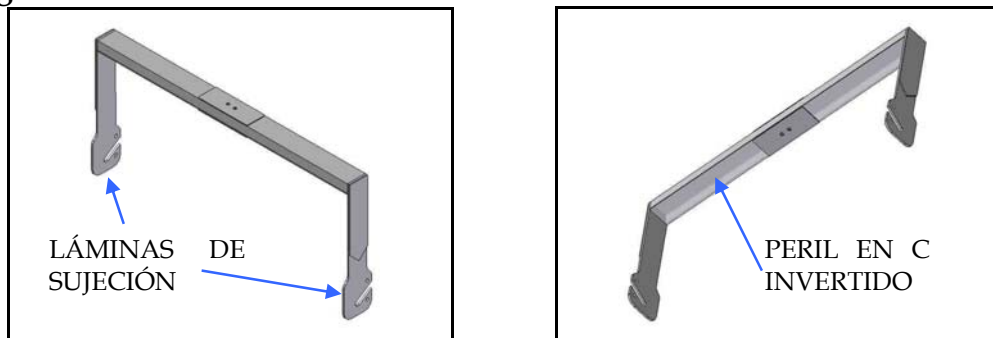
### 2.2.1.3 ASA

Definición de la solución:

El asa se desarrolló con láminas soldadas a un perfil en "C", la cuales cuentan con un agujero sobre el que va apoyado el pivote de cada lado respectivo. A

esta estructura principal se anexaron láminas de refuerzo para mejorar sus características mecánicas. Cuenta con un par de agujeros dispuestos para permitir la unión del brazo a este por medio de pernos, lo que facilita su ensamble y desensamble para propósitos de mantenimiento e inspección, también se deja abierta con esto la posible implementación de apoyos diferentes para transporte de otro tipo de mercancía específica. El pivote permite movimiento transversal al desplazamiento del carrito.

**Figura 34. Asa**



Capacidad (estática): 3029.46 N

#### **2.2.1.4 AGARRE DEL PIVOTE:**

Para el pivote se escogió una barra de acero maquinada con un hombro que sirve de separación entre la parte fija a la canasta y la parte móvil al hanger, que se puede ajustar gracias a la acción de dos tuercas cada una con su contratuerca y arandelas necesarias.

Figura 35. Agarre Del Pivote

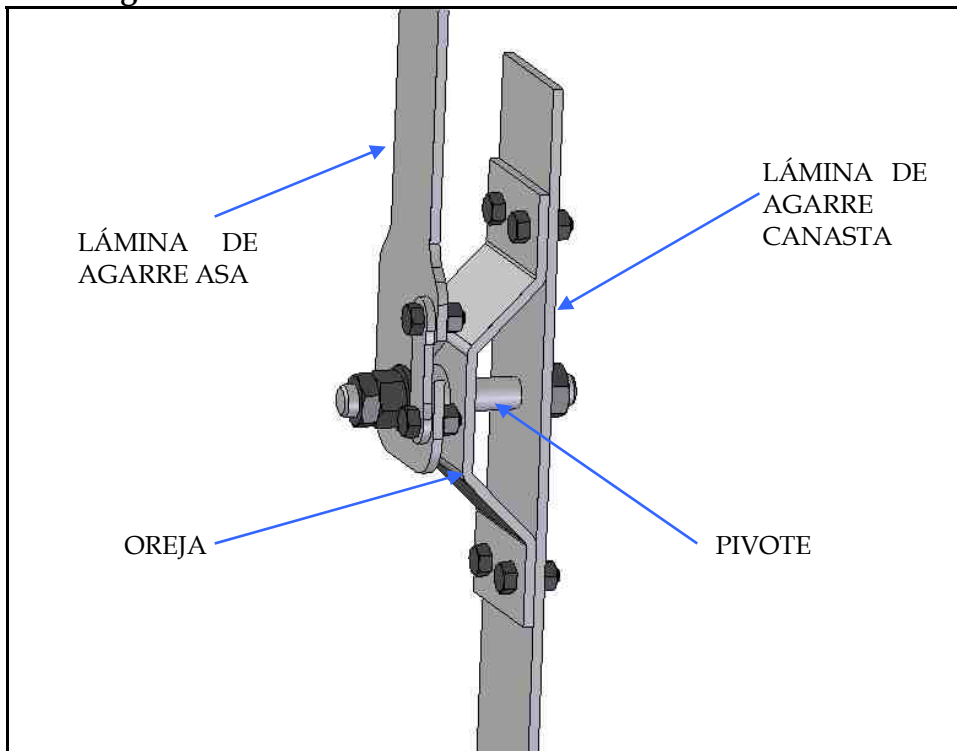
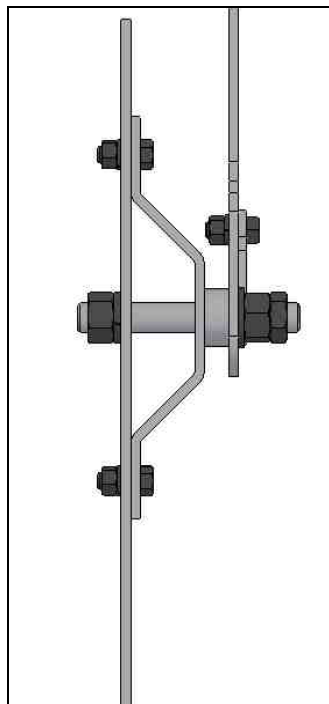


Figura 36. vista lateral del agarre.



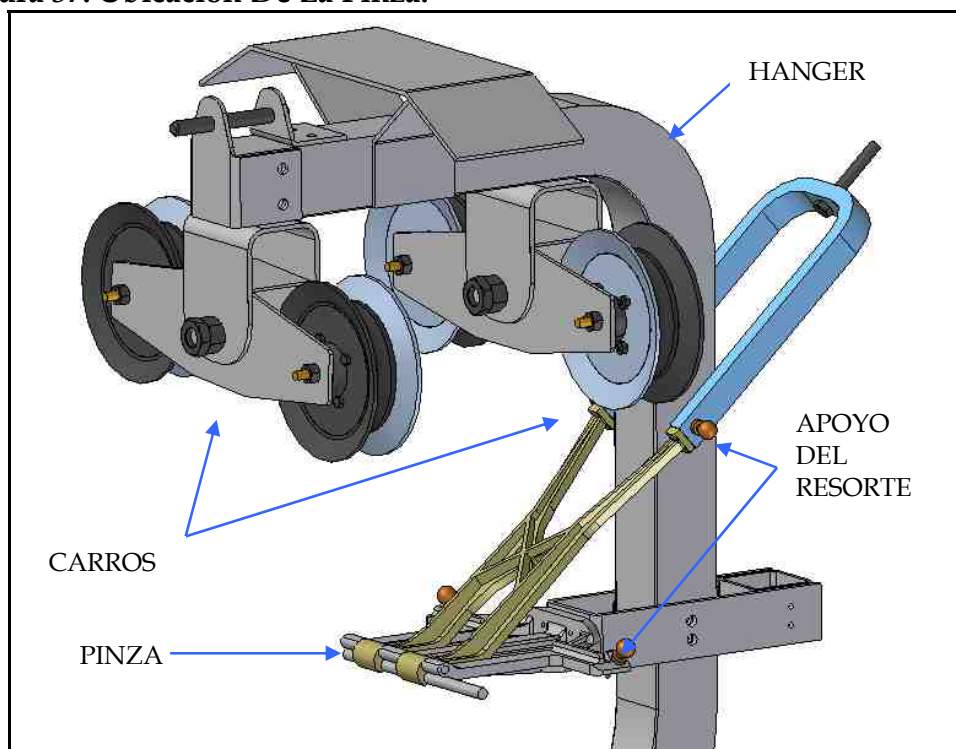
### 2.2.1.5 PINZA

Definición de la solución:

Para ella se optó por un diseño de mordaza accionado por resortes, debido a su facilidad de instalación y reemplazo, además de la ventaja de permitir el ajuste adecuado en campo.

El cuerpo de la grapa se logra con cinco partes principales, la “mandíbula inferior” o fija, la “mandíbula superior” o móvil, el brazo accionador, los resortes y la base de la rueda guía. La mandíbula superior e inferior se diseñaron para ser construidas en fundición de acero, las demás piezas son laminas soldadas y tubería soldada.

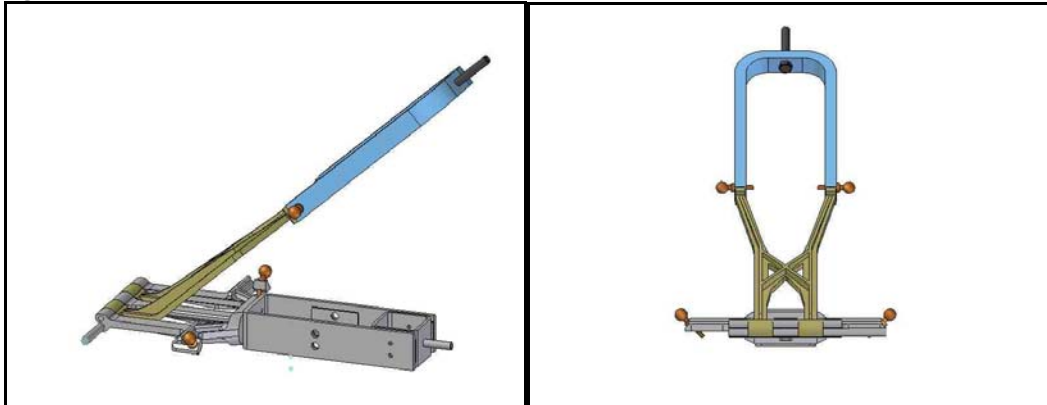
Figura 37. Ubicación De La Pinza.



Funciona de la siguiente forma: la grapa es accionada en la estación por una leva dispuesta de forma tal que a medida que el carro avanza, la pinza (que

viaja con este) se abra gracias al desplazamiento del brazo accionador hacia abajo, y permita que el cable se aloje entre sus mordazas, para luego cerrarse con la fuerza necesaria para su agarre seguro.

**Figura 38. Vistas Complementarias de la Pinza**



Diámetro de espira = 0,17 in;

$K = 42,67 \text{ lb.-f/in}$ ;

Diámetro del resorte = 2 in;

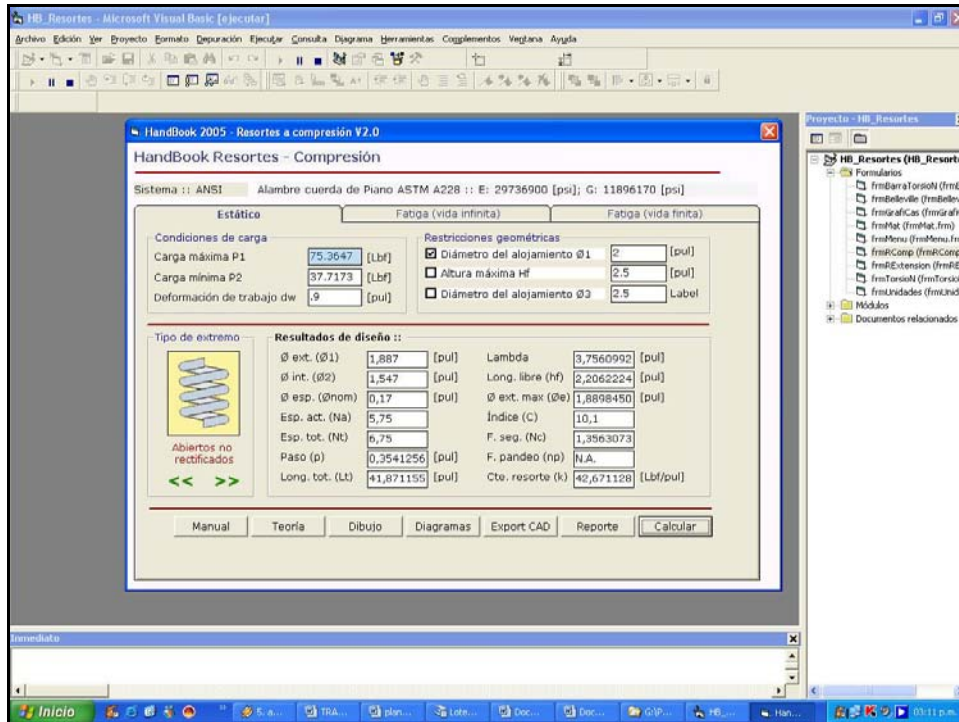
Numero de espiras= 6,75

Calculo del resorte con ayuda de un software para el diseño de resortes desarrollado como proyecto de grado, cortesía del autor, Johan E. Reyes.

### **Resultado**

Fuerza de trabajo: 2346,4526 N

Figura 39. Pantalla de selección del resorte.

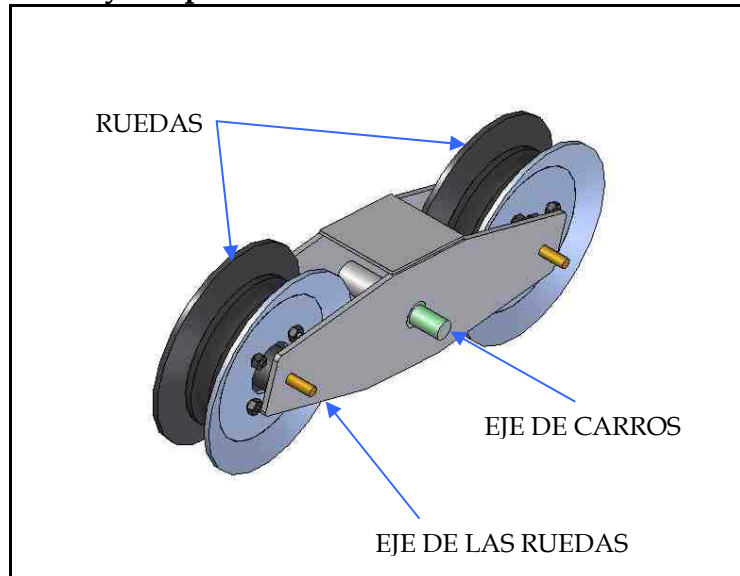


### 2.2.1.6 CARROS

Este conjunto permite el desplazamiento de las cabinas a lo largo del cable portante y de los rieles de la estación, permite una pequeña rotación para sortear los cambios de pendiente y baches del trazado. Esta diseñado teniendo en cuenta su mantenibilidad y facilidad de inspección debido a sus pocas piezas y su fácil ensamble y desensamble.

Los carros están compuestos por tres láminas soldadas a las que se unen dos ruedas por medio de sus ejes, las ruedas son locas, por lo que el conjunto esta quieto mientras las ruedas giran.

**Figura 40. El carro y sus partes.**



Dimensiones y detalles ver Anexo A

### 2.2.2 ESTACIONES

Las estaciones están diseñadas para la carga y descarga de los productos transportados, teniendo en cuenta que las cabinas puedan ser manipuladas por los operarios en su recorrido de la manera más sencilla, para que la producción o los insumos transportados lleguen en perfectas condiciones a su destino.

Uno de los objetivos del diseño, es que el operario no tenga que intervenir con las partes móviles del sistema teleférico pertenecientes a la estación (poleas, cable tractor, etc.) que pudieran poner en peligro su integridad, es decir, que el operario debe tener contacto solo con los accionamientos o palancas de mando.

Las máquinas y mecanismos eléctricos o mecánicos deben estar colocados al abrigo de la intemperie y deben estar dispuestos de tal manera que pueda hacerse fácilmente y con seguridad su inspección y mantenimiento.

Su diseño es modular, esto permite una reducción de costos de diseño y montaje debido a que se emplearan las mismas partes en las 5 estaciones, además al tener una única disposición de los puestos de trabajo, los operarios pueden intercambiarse, disminuyendo así los costos de capacitación. Su diseño también permite la posibilidad de conexión con otro tramo, teniendo que variar solamente un dispositivo, los switches (si se desea implementar el flujo continuo de cabinas entre tramos).

Las estaciones están clasificadas según su función en:

- Estaciones finales (carga y descarga)
- Estaciones intermedias (Carga, descarga, transferencia)

Y según su desempeño Mecánico en:

- Estación Tensil
- Estación motriz o de mando

Figura 41. Estación Tensil

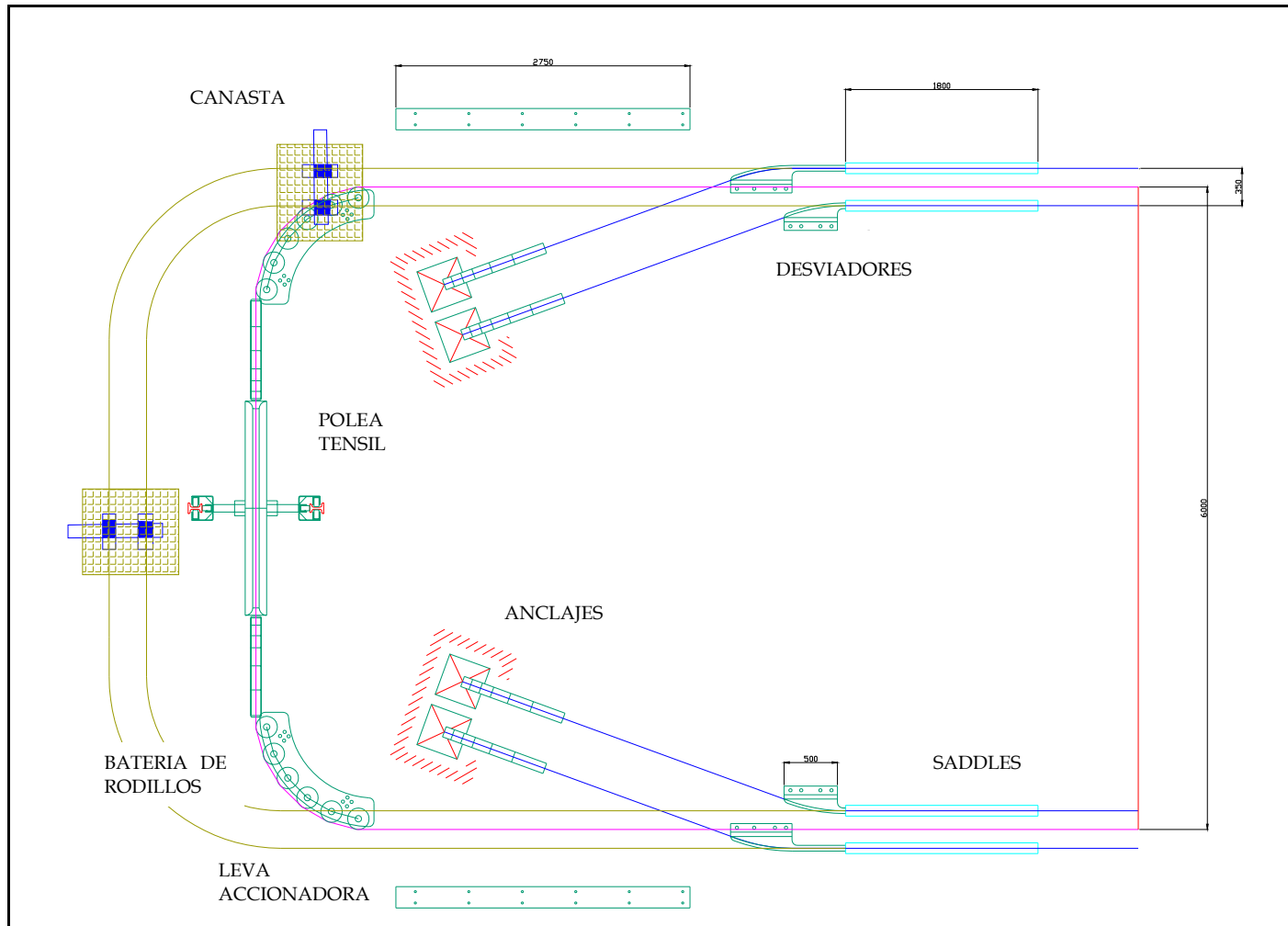
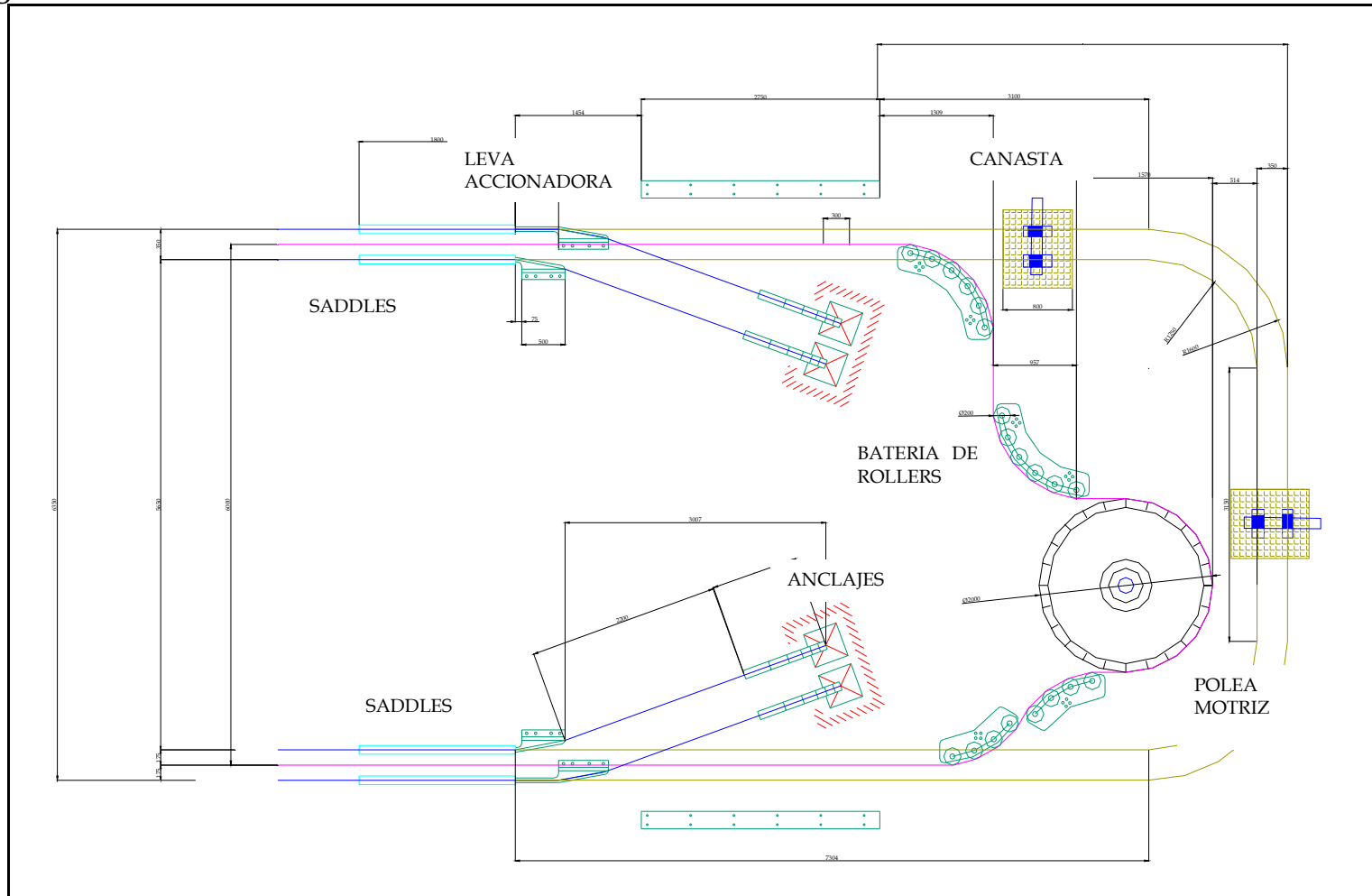


Figura 42. Estación Motriz



La estación debe tener el espacio suficiente para prevenir posibles colisiones o interferencias entre cabinas.

Dentro de sus funciones también está el paso sin obstáculos hacia el siguiente tramo para que el flujo de la carga sea continuo.

## **RECORRIDO**

Dentro de la estación, la cabina lleva un recorrido que presenta diferentes zonas:

### **a) Zona de entrada a los Rieles.**

Es la parte donde comienza el recorrido de la cabina por la estación, dejando los cables portantes para continuar su traslación sobre los rieles de la estación. Consta de un "Saddle" (zapata de apoyo) de llegada y un mecanismo de desvío de los cables portantes.

En las estaciones de mando, este desvío llega directamente a un anclaje, mientras que en las estaciones de Tensión, los desviadores llevan los cables hacia un sistema de contrapesos que los mantienen con el valor de tensión establecido.

En el lado opuesto de la estación, es decir donde la cabina va en dirección contraria, la zona de entrada a los rieles tiene una configuración homóloga.

### **b) Zona de desenganche.**

En esta zona se lleva a cabo el desenganche de la cabina del cable tractor. Esto se logra mediante un accionamiento mecánico denominado "Leva de desenganche" que acciona "la palanca Liberadora" de "la Pinza", gracias al momento lineal con que llega a esta etapa. Aquí se presenta un desnivel de 5 centímetros hacia arriba. Debido a este desnivel el cable tractor es conducido

por poleas de desvío, ya que el desenganche se da inmediatamente después de terminar este desnivel.

**c) Zona de desvío del cable tractor.**

Aquí el cable tractor sale de la línea del recorrido que sigue la cabina. Para este desplazamiento se cuenta con un sistema de rodillos y poleas que tienen un desvío máximo de 25 grados (poleas con cama de goma) por cada rodillo, para asegurar la protección contra el maltrato del cable así como el desgaste por doblamiento de éste.

**d) Zona de carga, descarga y transferencia.**

Es donde el operario se encuentra manipulando la carga que se va a transportar o que ha llegado a su destino.

Debe tener el espacio suficiente para que no haya posibles colisiones entre cabinas o con el operario. Se presenta una malla de seguridad para evitar que algún material ajeno al sistema motriz o de tensión interfiera con su funcionamiento.

**e) Zona de enganche.**

En esta zona se logra el acople de la cabina con el cable tractor que la llevará a su recorrido por el tramo correspondiente. El proceso de enganche se lleva a cabo en dos pasos:

- Primero, se aproxima la cabina al desnivel de bajada para que esta tome velocidad inducida por su peso.
- Segundo, un accionamiento mecánico denominado “Leva de enganche” abre la pinza y permite que el cable se aloje entre sus mandíbulas, luego la pinza es liberada por la leva accionando la mandíbula móvil mediante los resortes que posee y que la adhieren firmemente al cable (Ver figuras 37 y 38).

**f) Zona de almacenamiento.**

Es una zona que se diseñó con el fin de no tener materiales o cabinas que se encuentren disponibles pero no en uso en la estación, evitando así posibles interferencias de materiales y facilitando que la labor del operario sea organizada en su puesto de trabajo

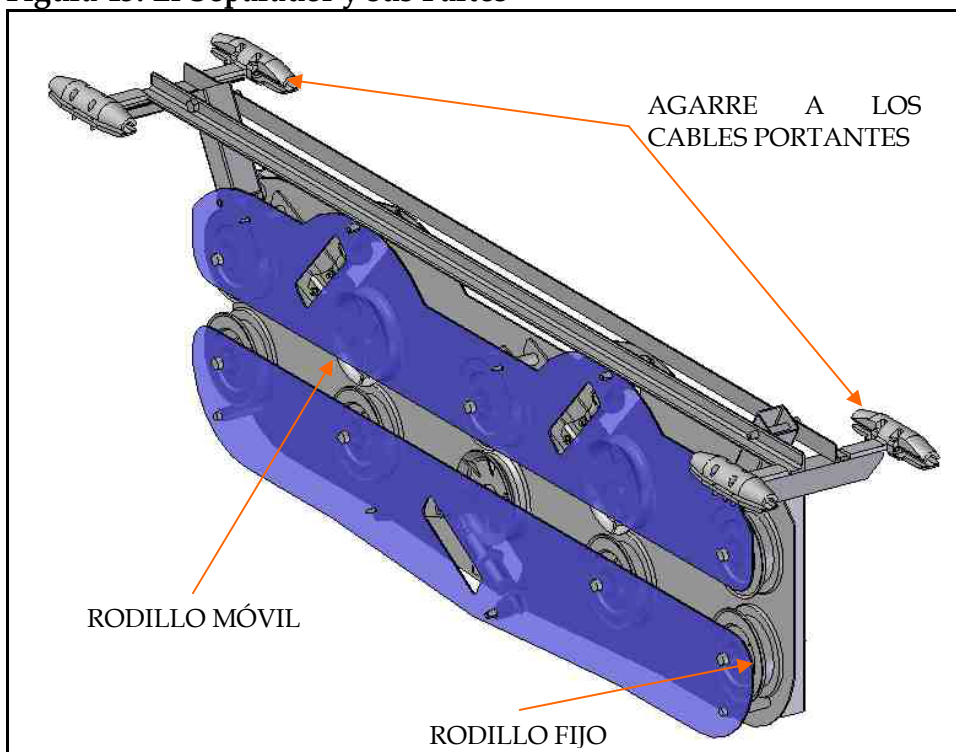
## **2.2.3 COMPONENTES ESTRUCTURALES**

### **2.2.3.1 SEPARADORES**

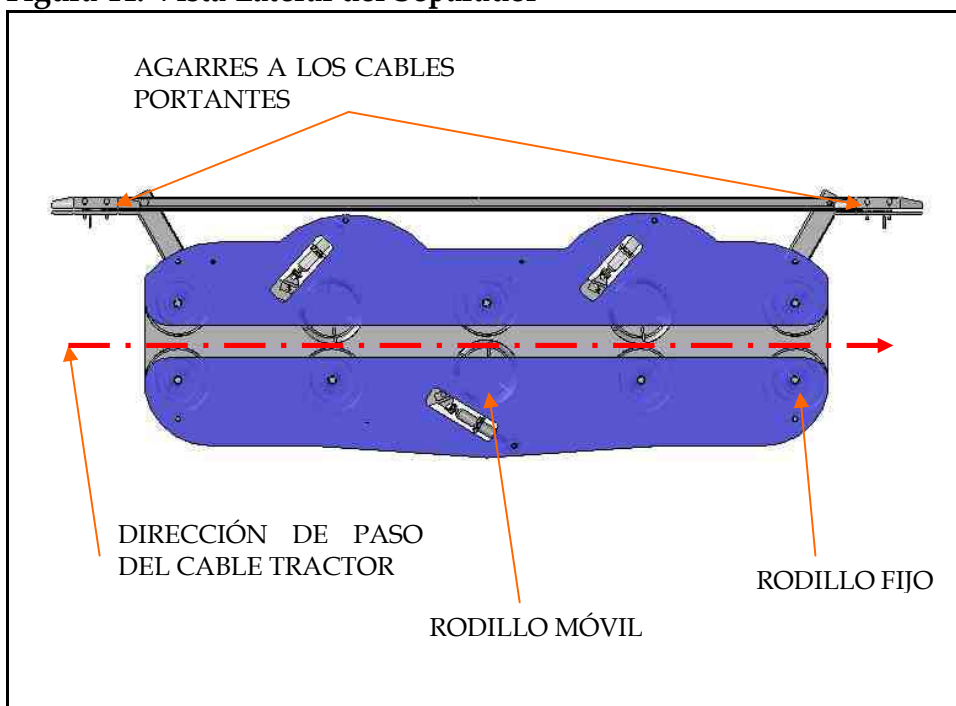
Los separadores son elementos indispensables en la ruta del cable, debido a la falta de torres intermedias, en ellos se apoya y forma vanos el cable tractor, al soportar el peso de este cable que aportarán peso distribuido en los cables portantes, van colocados a lo largo de todos los tramos, aproximadamente cada 100 metros, distancia que no debe ser exacta para que no se induzcan armónicos (vibración).

Esta construida en lamina adherida a la estructura principal compuesta por tubería soldada, en esta estructura están dispuestos los rollers tanto fijos (apoyos del cable tractor), como móviles (contenedores del cable tractor) y este conjunto esta soportado en los cables portantes gracias a los agarres (mandíbulas fijas) .

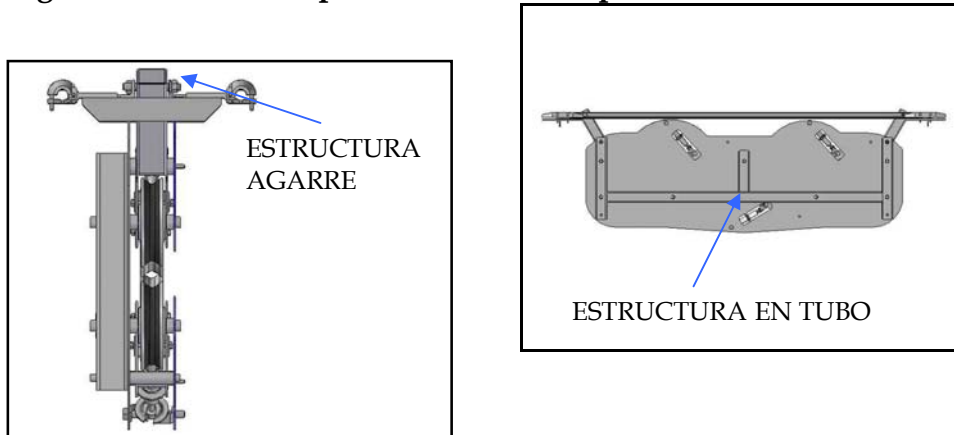
**Figura 43. El Separador y sus Partes**



**Figura 44. Vista Lateral del Separador**



**Figura 45. Vistas Complementarias del Separador**



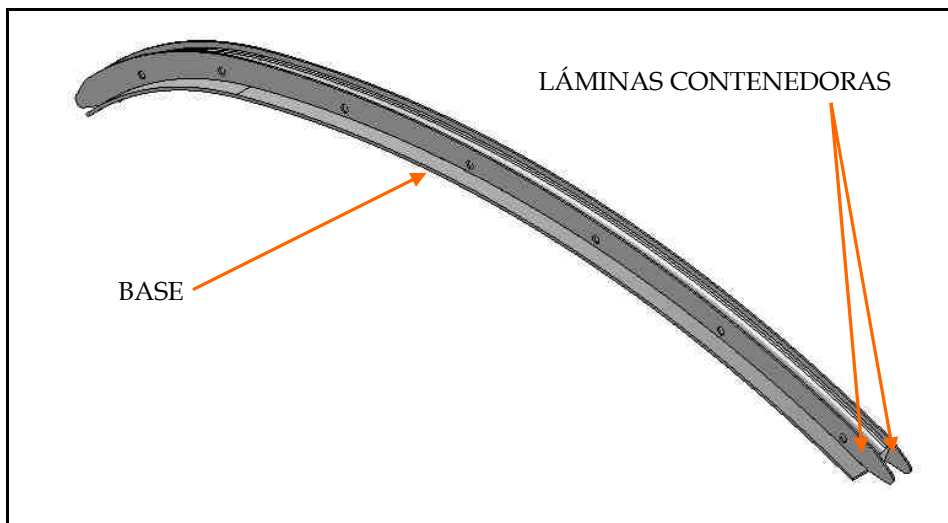
Fueron concebidos y diseñados para desempeñar importantes funciones:

- Servir de apoyo vertical al cable tractor.
- Permitir el paso de la grapa que va fijada al cable tractor, sin dejar de ser apoyo vertical de éste.
- Garantizar la correcta disposición y distancia de los tres cables (portantes y tractor). Esta disposición es primordial para que tanto cables tractor y portantes cumplan su función, es decir, los cables portantes soporten el peso de las cabinas sirviéndoles de rieles y el cable tractor sólo le transmita arrastre longitudinal a las cabinas para de esta forma evitar descarrilamientos.

### **2.2.3.2 SADDLES**

Parte estructural que sirve de apoyo al cable, constituida por una base en fundición de acero y dos laminas que la contienen, y que están unidas a esta por una serie de tornillos.

**Figura 46. El Saddle y sus Partes**



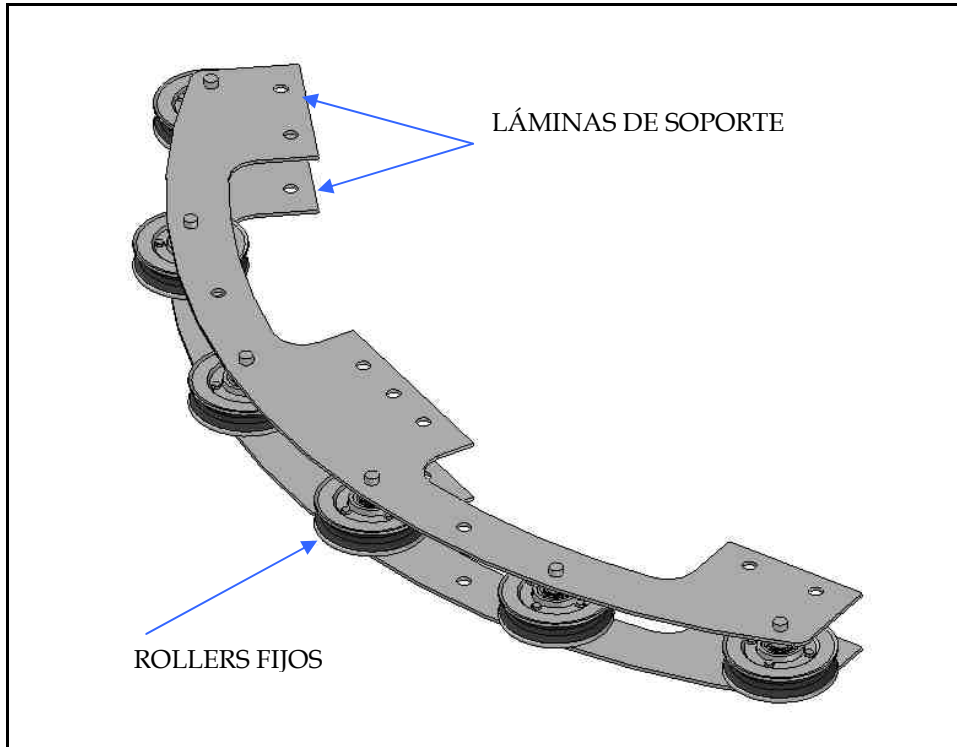
Sobre cada saddle descansa un cable, apoyado en la base, de forma tal que el extremo de cable que se ve sometido a variaciones frecuentes del ángulo de incidencia, este orientado hacia el lado del saddle que tiene el radio de curvatura menor, por ese lado arribara la cabina a la estación o la abandonara. Mientras el carro pasa por las torres, su peso es transmitido a la torre directamente por el saddle, pues la cabina se monta en este.

Para cargas en los saddles ver Anexo C.

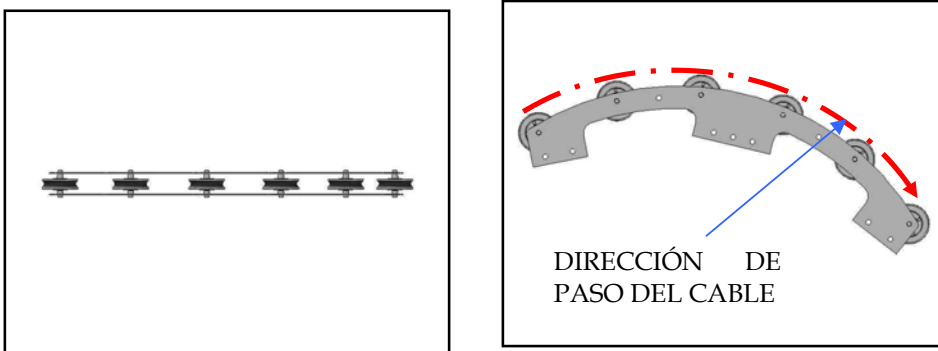
### **2.2.3.3 CABALLETES**

Dispositivos que dan soporte al cable tractor, y que a la vez cambian la dirección de este; están compuestos por rodillos o rollers, las piezas fundidas de estos son intercambiables con los de los rollers en los separadores, están diseñados para estar contenidos y pernaDOS en los lados planos de las láminas de soporte.

**Figura 47. Caballete y Baterías de Rodillos**



**Figura 48. Vistas Complementarias del Caballete**

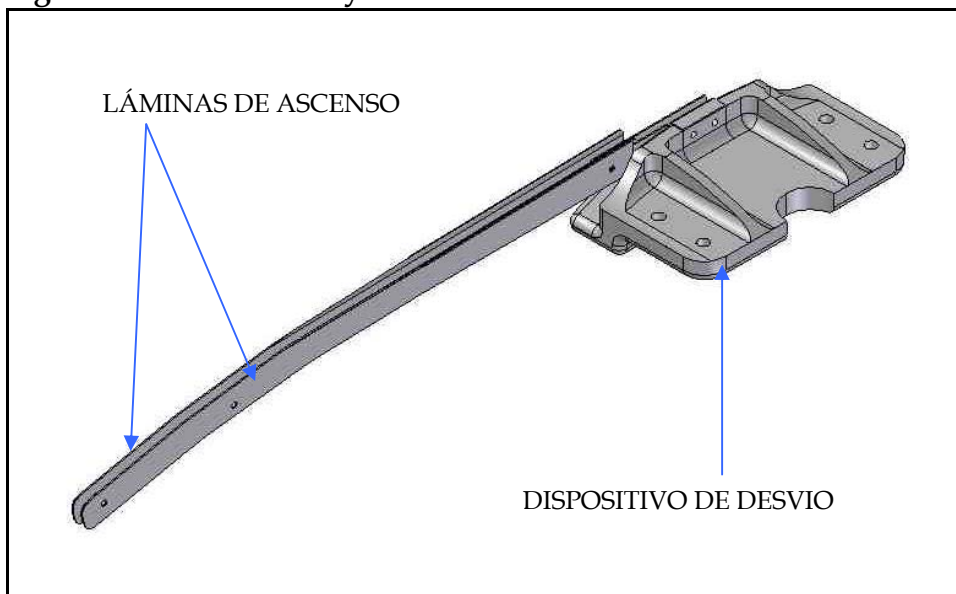


#### **2.2.3.4 DESVIADOR**

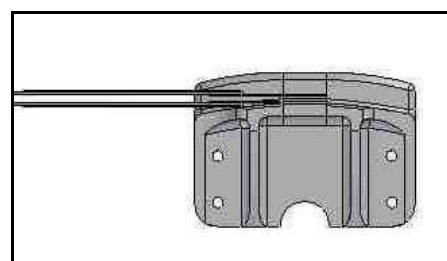
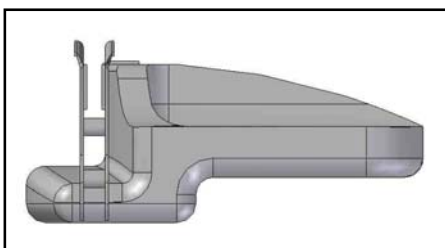
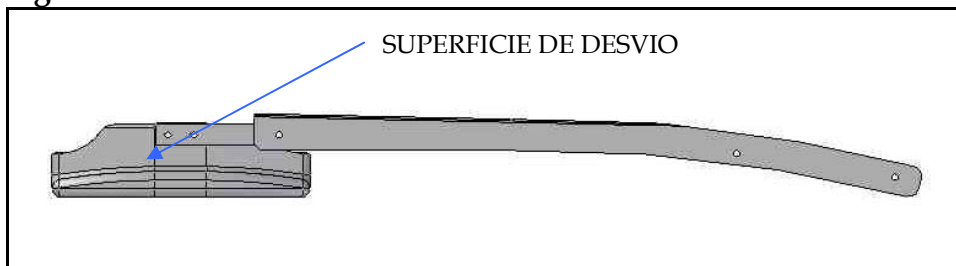
Estos dispositivos están destinados a cambiar la dirección del cable portante dentro de la estación, dirigiéndolos hacia los muertos (anclaje) o hacia los

contrapesos, están sujetos a la estructura de las estaciones y dirigen la cabina para que esta se pueda desplazar sobre los rieles de la estación.

**Figura 49. El Desviador y sus Partes**



**Figura 50. Detalles del Desviador**



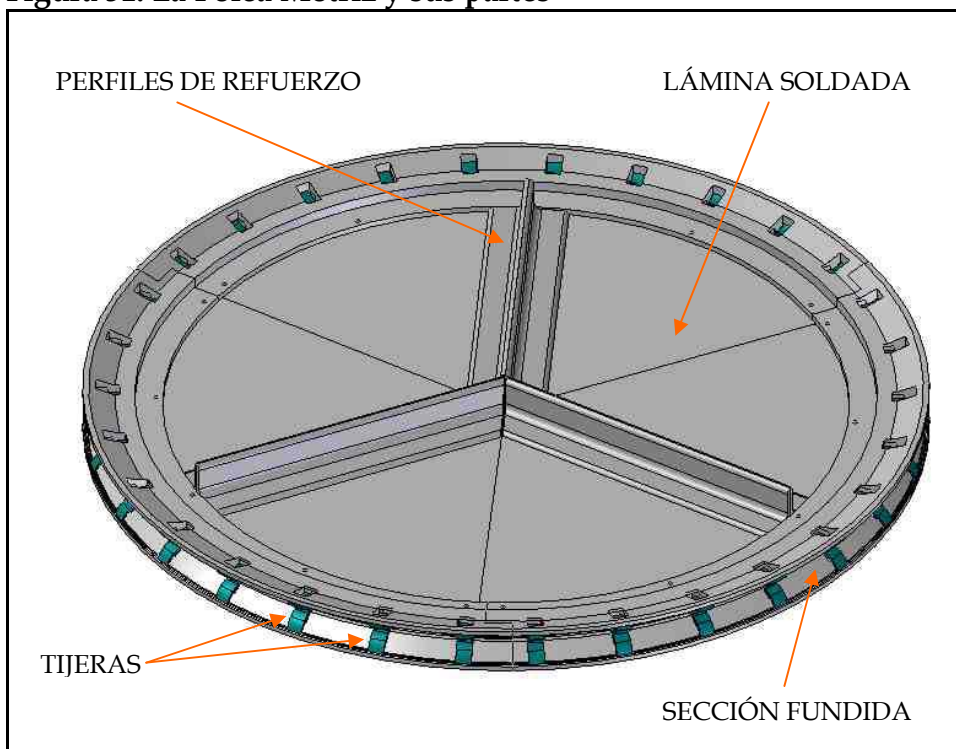
Están diseñados en fundición de acero, son intercambiables entre las dos zonas de desvío por estación, debido a su simetría.

### 2.2.3.5 POLEAS

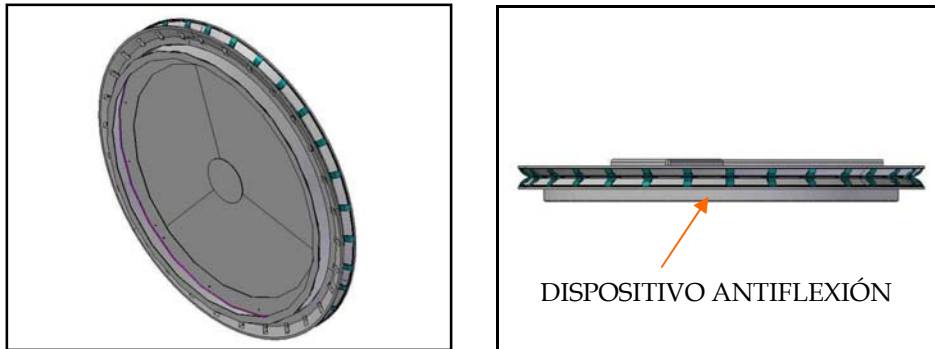
#### MOTRIZ

La polea motriz esta compuesta por un cuerpo en lamina soldada reforzado con perfilería en "L" dispuesta de forma radial, tres secciones en fundición de acero en las que están alojadas las tijeras y el dispositivo anti flexión.

Figura 51. La Polea Motriz y sus partes

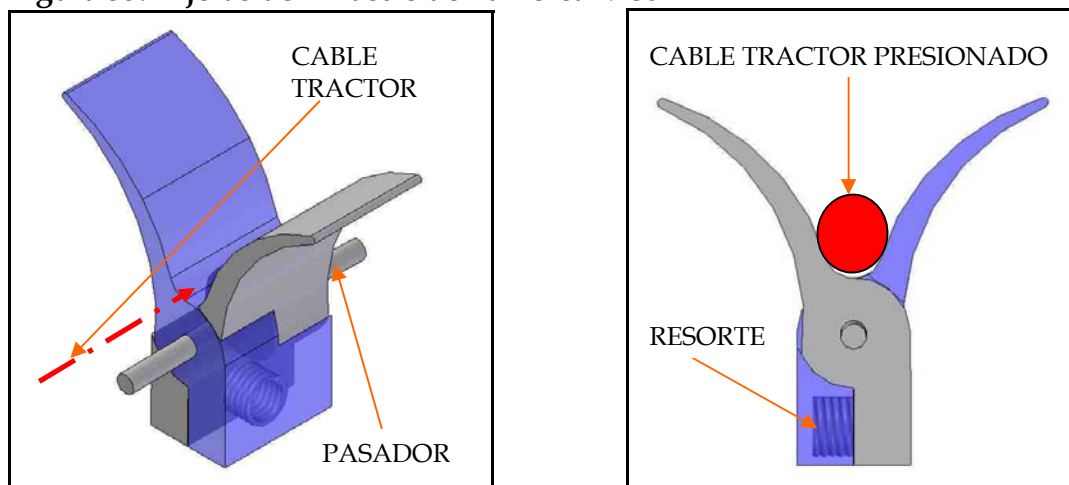


**Figura 52. Vistas Complementarias de La Polea Motriz**



Las tijeras se encargan de evitar el deslizamiento del cable tractor, garantizando así la completa transmisión de potencia entre la polea motriz y el cable tractor comprimiéndolo entre sus mandíbulas. Ver figura 53.

**Figura 53. Tijeras de Arrastre de La Polea Motriz**



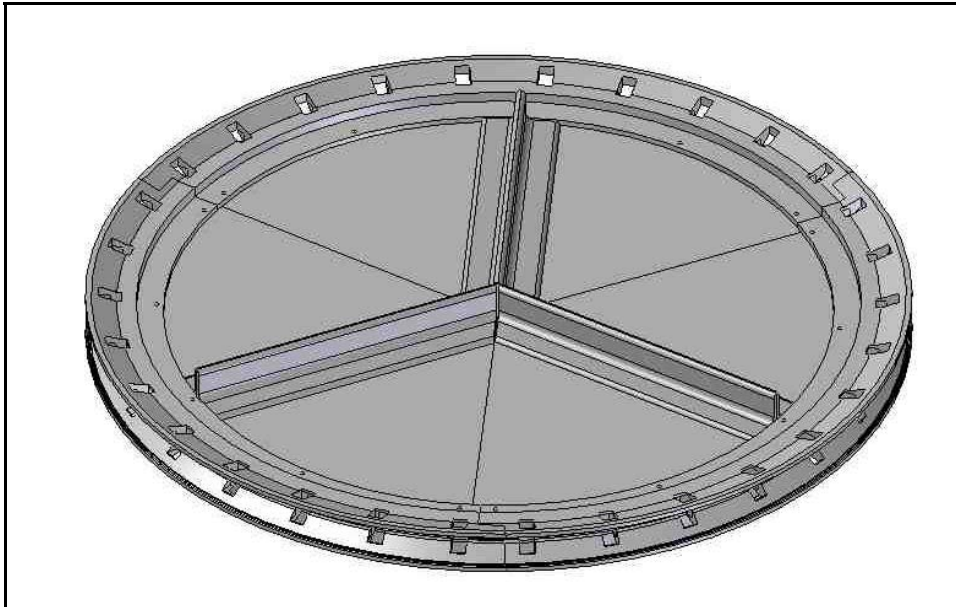
El dispositivo antiflexión tiene por objeto aumentar el momento de inercia alrededor de los ejes perpendiculares al de la polea, evitando que esta se doble.

Dimensiones y detalles constructivos ver Anexos A. Planos.

## POLEA TENSIL

La polea tensil esta constituida por los mismos elementos de la polea motriz, exceptuando las tijeras, Esta polea no lleva a cabo la función de transmisión de potencia. Para ella se tomo el modelo de la polea motriz, se realizaron las simulaciones y el resultado obtenido se adopto para la polea tensil ya que esta se encuentra menos exigida.

**Figura 54. La Polea Tensil**



### 3. DISEÑO DE LOS CABLES

#### 3.1 CONSIDERACIONES TÉCNICAS DEL DISEÑO DEL CABLE

Los cables portantes y tractores se diseñaron teniendo como punto de partida consideraciones técnicas listadas en la siguiente tabla, que contiene datos recopilados durante la etapa de documentación e investigación del desarrollo del proyecto.

Las principales consideraciones se encuentran en el avance de este documento, las restantes se resumen en los anexos.

- Requerimientos del terreno. Trazados y perfiles topográficos.
- Requerimientos por recomendaciones o exigencias de la Norma EQUT8900453A Relativa a la reglamentación técnica y la seguridad de los teleféricos.
- Requerimientos del material y configuración de los cables metálicos.
- Requerimientos de la configuración propia del diseño escogido.

<b>DATOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE LOS CABLES</b>
Espaciado entre cables portantes debe ser mayor que 25 centímetros.
Radio de las poleas motriz y tensil debe ser $1000 \times$ Diámetro del cable.
Los grupos de cables portantes deben tener una tensión diferente que garantice que no existan posibles colisiones entre cabinas contiguas debidas al balanceo trasversal del sistema.
La distancia entre la cabina y el terreno debe ser como mínimo, 5 metros.

El factor de seguridad para los cables portantes es de 6. Cuando se tienen varios cables portantes en una misma vía, este factor puede dividirse en el número de cables portantes.

### **3.1.1 RESEÑA DEL TRAZADO TOPOGRÁFICO**

Inicialmente se realizó un trazado preliminar ejecutado por el topógrafo MARIO ORDOÑEZ. Este trazado fue realizado mediante la orientación de los habitantes del sector, según las necesidades de puntos de carga y descarga de productos para ubicación de las estaciones y según el criterio del topógrafo en el terreno para el mejor alineamiento entre estaciones. Una vez hecho este trazado se procedió a realizar los estudios de suelos pertinentes en cada uno de los puntos en los cuales se planeo la construcción de una estación, estos estudios fueron realizados por la empresa GEOTECNOLOGIA LTDA. Según sus resultados, se concluyó que por problemas de estabilidad y de cercanía a algunas estructuras de electrificación que podrían causar riesgos, sería necesario el traslado de algunos puntos de las estaciones, cambiando así el alineamiento preliminar.

Ver Anexo G. Plano general del trazado topográfico.

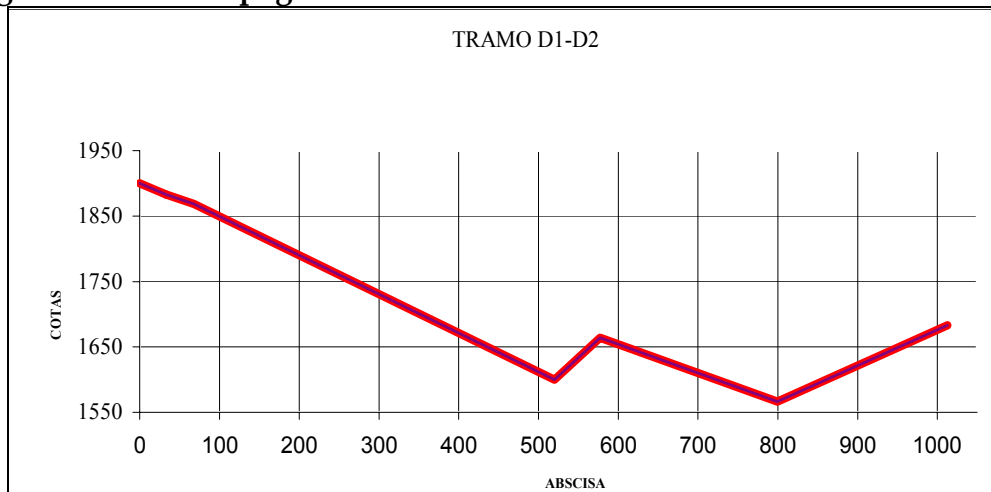
### **PERFIL DE LOS TRAMOS**

A continuación se presentan los perfiles y cotas de los tramos presentes en el trazado del teleférico.

**Tabla 4. Tramo D1-D2, Datos Topográficos**

DELTA	Abscisa (m)	Cota (m)	Cota torre (m)
D1	0	1900	1905.00
	33.02	1883.117	
	68.11	1868.675	
	520	1600	
	577.34	1663.737	
	799.55	1566.496	
D2	1012.79	1682.963	1687.96

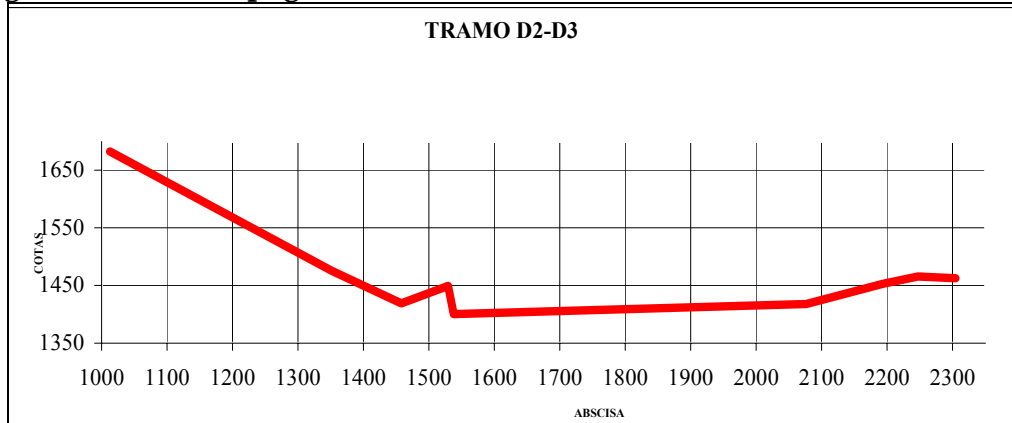
**Figura 55. Perfil Topográfico del Tramo D1-D2**



**Tabla 5. Tramo D2-D3, Datos Topográficos**

DELTA	Abscisa (m)	Cota (m)	Cota torre (m)
D2	1012.79	1682.963	1687.96
	1351.88	1475.699	
	1457.93	1419.319	
	1529.09	1449.365	
	1537.76	1400.582	
	2076.02	1417.918	
	2193.03	1453.38	
	2247.07	1466.1	
D3	2304.42	1462.75	1467.75

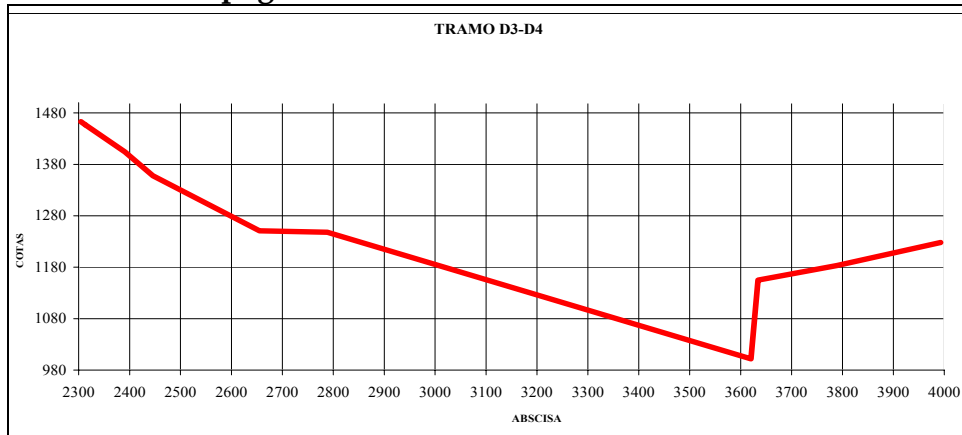
**Figura 56. Perfil Topográfico del Tramo D2-D3**



**Tabla 6. Tramo D3-D4, Datos Topográficos**

DELTA	Abscisa (m)	Cota (m)	Cota torre (m)
D3	2304.42	1462.75	1467.75
	2313.02	1456.548	
	2390.75	1404.166	
	2445.7	1357.429	
	2655.25	1250.675	
	2788.24	1247.912	
	3620.41	1002.035	
	3634.11	1154.72	
	3788.69	1183.13	
D4	3992.38	1228.035	1233.04

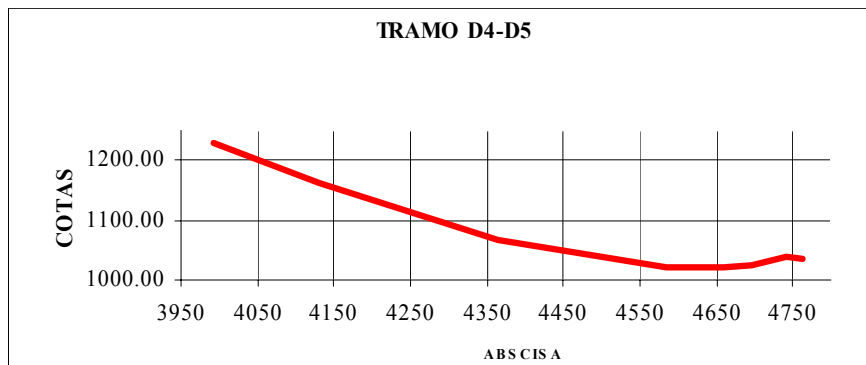
**Figura 57. Perfil Topográfico del Tramo D3-D4**



**Tabla 7. Tramo D4-D5, Datos Topográficos**

DELTA	Abscisa (m)	Cota (m)	Cota torre (m)
D4	3992.38	1228.04	1233.04
	4129.4	1162.27	
	4363.73	1065.90	
	4584.07	1020.99	
	4659.86	1019.90	
	4695.08	1024.15	
	4742.04	1038.18	
D5	4761.6	1035.73	1040.73

**Figura 58. Perfil Topográfico del Tramo D4-D5**



### 3.2 EL MODELO MATEMATICO UTILIZADO PARA LOS CABLES

Para analizar el comportamiento estructural del cable, se empleo el modelo matemático de un cable tendido entre dos puntos a diferente altura, con carga distribuida uniformemente a lo largo de su recorrido. Este modelo se define a continuación.

La curva del cable esta descrita por la siguiente ecuación

$$Hy_m = \frac{wLx}{2} - \frac{wx^2}{2} \quad (2.1)$$

Donde

H= Tensión horizontal

$y_m$  = Flecha del cable medida a partir de la cuerda del tramo

w = Carga distribuida uniformemente

x = Posición medida desde uno de los extremos

L= Longitud de separación horizontal entre tramos

En la mitad del tramo, es decir, en  $x = L/2$ ,  $y_m = h$  y se obtiene

$$H = \frac{wL^2}{8h} \quad (2.2)$$

Sustituyendo el valor de la tensión H en la ecuación 2.1, se obtiene la ecuación de la curva del cable en términos de h, x, y L.

$$y_m = \frac{4hx}{L^2}(L-x) \quad (2.3)$$

Considerando la inclinación de la cuerda se tiene

$$y = \frac{4hx}{L^2}(x-L) + x \tan \gamma \quad (2.4)$$

Haciendo un análisis de un elemento diferencial de cable  $ds$  y su proyección  $dx$ , y tomando  $T_x$  (la tensión del cable en cualquier posición  $x$  medida desde el origen), como  $H * ds/dx$ , se tiene para el caso del cable inclinado descrito por la ecuación 2.4 la siguiente expresión

$$\frac{dy}{dx} = \frac{8hx}{L^2} - \frac{4h}{L} + \tan \gamma \quad (2.5)$$

O

$$= \frac{8\theta x}{L} - 4\theta + \tan \gamma \quad (2.6)$$

Donde  $\theta = \frac{h}{L}$ , y se define como la relación de la cuerda. Tomando  $ds$  y  $T_x$

como:

$$ds = \left[ 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{1/2} dx \quad (2.7)$$

$$T_x = H \left[ 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.8)$$

Se llega a la siguiente expresión que describe la tensión del cable en términos de los parámetros definidos.

$$T_x = H \left( 1 + \frac{64\theta^2 x^2}{L^2} + 16\theta^2 + \tan^2 \gamma - \frac{64\theta^2 x}{L} + \frac{16\theta x}{L} \tan \gamma - 8\theta \tan \gamma \right)^{1/2} \quad (2.9)$$

Las condiciones de frontera están representadas por:

$$\begin{aligned} x = 0 : T_{\max} &= H \left( 1 + 16\theta^2 + \tan^2 \gamma - 8\theta \tan \gamma \right)^{1/2} \\ x = L : T_{\max} &= H \left( 1 + 16\theta^2 + \tan^2 \gamma + 8\theta \tan \gamma \right)^{1/2} \end{aligned} \quad (2.10)$$

La longitud del cable cargado uniformemente se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$S_0 = \int_0^L ds = \int_0^L \left[ 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{1/2} dx \quad (2.11)$$

Para un cable con extremos a la misma altura, se tiene:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{8hx}{L^2} \quad (2.12)$$

Reemplazando 2.12 en 2.11 se obtiene:

$$S_0 = 2 \int_0^{L/2} \left( 1 + \frac{64h^2x^2}{L^4} \right)^{1/2} dx \quad (2.13)$$

Entonces, resolviendo la ecuación 2.13 mediante el uso de logaritmos naturales se llega a la siguiente expresión:

$$S_0 = \frac{L}{2} (1 + 16\theta^2)^{1/2} + \frac{L}{8\theta} \ln \left[ 4\theta + (1 + 16\theta^2)^{1/2} \right] \quad (2.14)$$

Expandiendo el término  $\left( 1 + \frac{64h^2x^2}{L^4} \right)^{1/2}$  en series infinitas mediante el teorema binomial, y considerando solamente los primeros términos de la serie resultante se llega a:

$$S_0 = 2 \int_0^{L/2} \left[ (1)^{1/2} + \frac{1}{2} (1)^{-1/2} (64) \frac{h^2x^2}{L^4} + \frac{1}{2} \left( -\frac{1}{2} \right) (1)^{-3/2} (64)^2 \frac{h^4x^4}{L^8} + \dots \right] dx \quad (2.15)$$

Simplificando la ecuación 2.15 se puede representar la longitud de un cable tendido con cuerda horizontal como:

$$S_0 = L \left( 1 + \frac{8\theta^2}{3} - \frac{32\theta^4}{5} + \dots \right) \quad (2.16)$$

Una expresión para la longitud del cable con extremos a diferente altura se puede obtener directamente derivando la ecuación 2.4 y sustituyendo  $\frac{dy}{dx}$  en 2.11, sin embargo se llega a una solución demasiado compleja. Para propósitos prácticos se puede aplicar un tratamiento aproximado que proporciona un nivel aceptable de exactitud, asumiendo que la longitud del cable es igual a la de un cable con cuerda horizontal, donde la luz es igual a la cuerda del cable inclinado, entonces tomando  $L = L \sec \gamma$  y  $h = \cos \gamma$  se obtiene la relación:

$$\theta' = \frac{h \cos \gamma}{L \sec \gamma} = \frac{\theta}{\sec^2 \gamma} \quad (2.17)$$

Reemplazando la ecuación 2.17 en 2.16, y tomando los primeros términos se llega a la siguiente expresión:

$$S_0 = L \sec \gamma \left( 1 + \frac{8}{3} \frac{\theta^2}{\sec^4 \gamma} \right) \quad \boxed{\text{LONGITUD CABLE INCLINADO}} \quad (2.18)$$

### 3.3 ANÁLISIS DE LOS CABLES

Con el fin de realizar el análisis estructural de los cables, portantes y tractor, se diseñó una hoja de cálculo en Microsoft Excel que emplea el modelo matemático descrito anteriormente.

En los siguientes numerales se describe la forma en que se llegó al diseño de los cables.

#### 3.3.1 CABLES PORTANTES (TRAMO D3-D4)

El tramo D3-D4, cubre la mayor longitud, además debido a la geometría de su perfil topográfico, se escogió como ejemplo típico para describir el funcionamiento de la hoja de cálculo. Ver Tabla 6. Y Figura 57.

Se definió una parábola con base en el parámetro establecido de mínima distancia a la curva de suelo de 5 metros, se introdujeron algunos datos necesarios para el análisis inicial, se propuso una curva mediante el uso de la ecuación de equilibrio del cable, **ecuación 2.4** y se hallaron los valores de tensión presentes en el tramo con ayuda de la **ecuación 2.9**, luego estos se compararon con la tensión última y se halló el factor de seguridad.

El diseño contiene dos grupos de cables portantes; uno de ida y otro de regreso, los cuales están sometidos a tensiones diferentes. Cada grupo se compone de 2 cables sometidos a la misma tensión y que describen la misma curva.

**Tabla 8. Datos de Entrada Tramo D3-D4**

<b>DATOS DE DISEÑO TRAMO D3-D4</b>	
h torre inicial(m)	5.00
h torre final(m)	5.00
d entre c-cab - c suelo (m)	5.00
Diam. cables portantes (pulg)	1
Diam. cable tractor (pulg)	0.50
Cabinas por tramo	4.00
Peso propio/cabina (kg)	140.00
Peso carga/cabina (kg)	250.00
Peso separador (kg)	100.00
No. Separadores	14.00
qo cable portante (Kg /m)	1.55
qo cable tractor(Kg /m)	0.68
d (m)	234.72
L (m)	1687.96
Ángulo (rad)	0.14
cuerda (m)	1704.20
qo cabina+carga (Kg /m)	0.92
% impacto	100.00
Nro. Cables Portantes	2.00
<b>Qo/Cable total (kg/m)</b>	<b>3.06</b>

La curva del primer grupo de cables portantes se obtuvo planteando las ecuaciones del modelo matemático para cada tramo y restándoles las curvas de cada perfil topográfico. Se tomo como distancia admisible el valor de 5 m para esta diferencia, y se realizo una comparación del nivel de tensión variando el diámetro del cable y la curva seleccionada (flecha), hasta obtener el valor óptimo de tensión y la flecha que satisfaga las condiciones de diseño.

Después de obtener la flecha óptima se tomo para el otro grupo de cables portantes (2) 5 m más de flecha en el punto más bajo, con una separación entre grupos de 6 m. La separación entre cables del mismo grupo es de 35 cm.

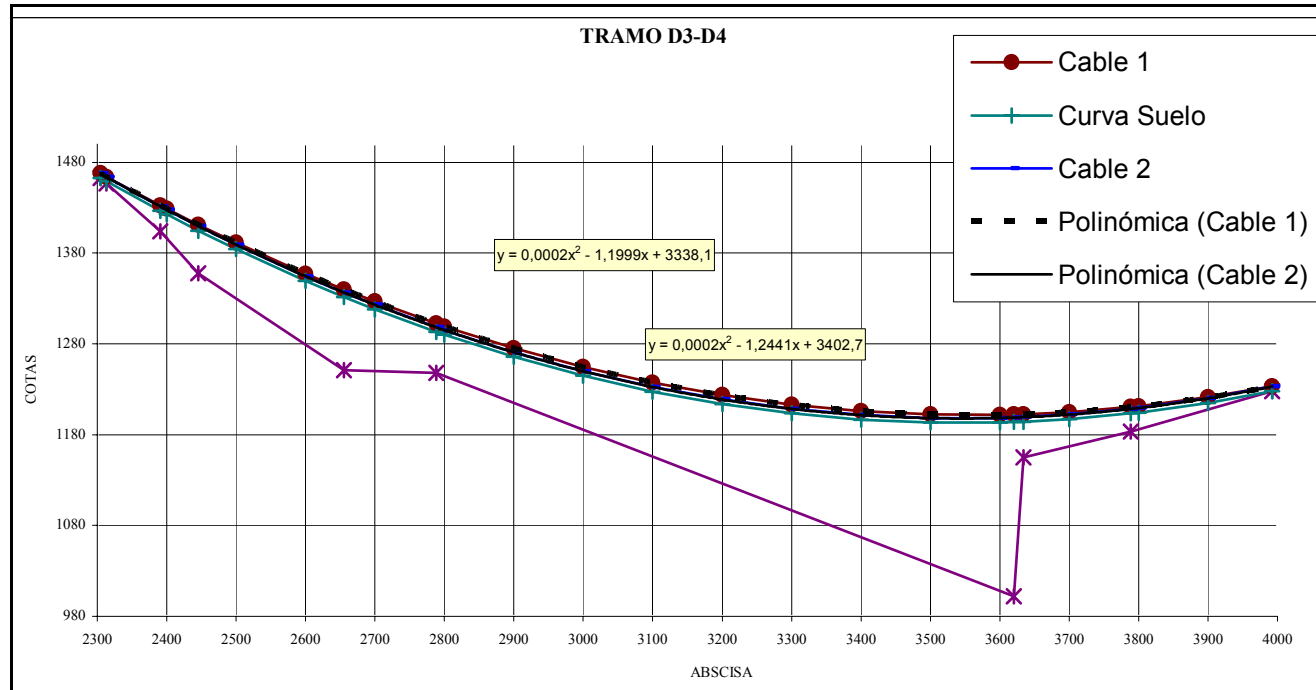
**Tabla 9. Coordenadas y tensiones de los cables portantes tramo D3-D4**

COORDENADAS Y TENSIONES					
Abscisa (m)	Cota cable 1 (m)	Cota cable 2 (m)	Cota curva suelo (m)	Tensiones	
				Cable 1 (ton)	Cable 2 (ton)
2304,42	1467,75	1467,75	1462,75	15,63	15,07
2313,02	1464,12	1464,02	1459,02	15,61	15,05
2390,75	1432,45	1431,48	1426,48	15,47	14,91
2400	1428,82	1427,75	1422,75	15,45	14,89
2445,7	1411,29	1409,76	1404,76	15,37	14,81
2500	1391,38	1389,33	1384,33	15,28	14,72
2600	1357,31	1354,43	1349,43	15,13	14,56
2655,25	1339,94	1336,64	1331,64	15,05	14,47
2700	1326,62	1323,03	1318,03	14,99	14,41
2788,24	1302,33	1298,24	1293,24	14,87	14,29
2800	1299,29	1295,14	1290,14	14,86	14,28
2900	1275,33	1270,76	1265,76	14,74	14,17
3000	1254,74	1249,89	1244,89	14,65	14,07
3100	1237,52	1232,53	1227,53	14,56	13,98
3200	1223,67	1218,69	1213,69	14,50	13,92
3300	1213,18	1208,35	1203,35	14,45	13,87
3400	1206,07	1201,52	1196,52	14,41	13,83
3500	1202,33	1198,20	1193,20	14,39	13,82
3600	1201,95	1198,39	1193,39	14,39	13,82
3620,41	1202,29	1198,86	1193,86	14,39	13,82
3634,11	1202,60	1199,25	1194,25	14,40	13,82
3700	1204,95	1202,09	1197,09	14,41	13,84
3788,69	1210,43	1208,30	1203,30	14,43	13,87
3800	1211,31	1209,29	1204,29	14,44	13,87
3900	1221,05	1220,01	1215,01	14,49	13,92
3992,38	1233,04	1233,04	1228,04	14,54	13,99

**Tabla 10. Factor de seguridad de los grupos de cables portantes.**

FACTOR DE SEGURIDAD			
Cable Portante	Diametro	Factor de Seguridad	
No.	(pulg)	Fu (Ton)	F S
Cable 1	"1"	51,70	3,31
Cable 2	"1"	51,70	3,43

Figura 59. Curvas de los Cables del Tramo D3-D4

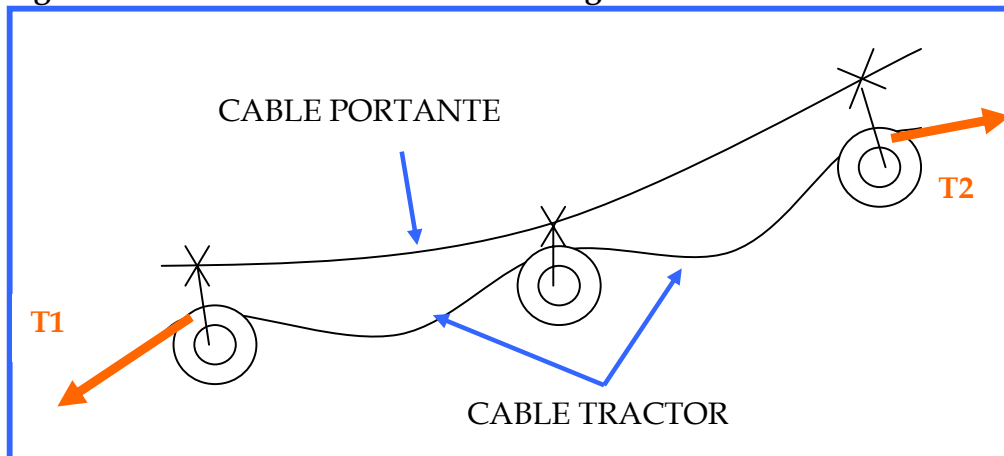


Para ver detalles de este cálculo y de los demás perfiles ver *Anexo B*.

### 3.3.2 CABLE TRACTOR (VANOS)

Debido a las grandes luces y a la diferencia de tensiones existentes se planteo un nuevo problema, ¿como hacer para que los cables (portantes y Tractor) conserven curvas similares? La solución propuesta para esta necesidad es un dispositivo denominado "separador", que se une firmemente a los cables portantes y permite el paso libre del cable tractor en su dirección longitudinal, mientras que lo restringe transversalmente. El cable tractor estará apoyado sobre unos "separadores" que lo limitaran y confinaran, además de soportar el peso del cable tractor entre separadores, y transmitirlo a los cables portantes, estos dispositivos transmiten su propio peso al cable portante variando su forma. El tramo queda dividido debido a los separadores, en secciones de cable tractor llamadas vanos, que varían alrededor de 100 metros (más o menos) para no incurrir en modos de vibración.

**Figura 60. Transmisión de tensión a lo largo del cable tractor**



A continuación se presenta el modelo de solución usado en la hoja de calculo para encontrar las cargas útiles en este diseño como la fuerza transmitida a los cables portantes, fuerza transmitida al separador, ángulo de arribo a los

separadores, ángulo de salida del cable en los separadores, longitud del cable tractor.

Entrando con la longitud horizontal de separación entre vanos se halla la posición de los separadores en el cable portante, con estos datos se halla la cuerda y esta se emplea para hallar el valor de  $\theta$ , junto con el dato de entrada  $h$ , que se obtiene a partir de una suposición en el primer vano, el que tiene la cuerda aproximadamente horizontal, para iniciar se tomo el valor de 2, y luego con ayuda de una calculadora hewelt packard 49g se halló el valor de  $h$  en los otros vanos con ayuda de la **ecuación 2.2**, enseguida, y con los datos obtenidos de la tangente de la cuerda entre esos vanos, se calcula la longitud del cable tractor entre vanos gracias a la **ecuación 2.18**.

**Tabla 11. Análisis preliminar del cable tractor.**

COORDENADAS DE LOS VANOS	Xi	Yi	Xf	Yf	Diferencia Nivel	Longitud Horzta
Vano 1	2304,42	1467,75	2392,38	1431,81	-35,94	87,96
Vano 2	2392,38	1431,81	2482,38	1397,73	-34,08	90,00
Vano 3	2482,38	1397,73	2582,38	1363,07	-34,66	100
Vano 4	2582,38	1363,07	2672,38	1334,76	-28,31	90,00
Vano 5	2672,38	1334,76	2782,38	1303,86	-30,90	110,00
Vano 6	2782,38	1303,86	2892,38	1277,04	-26,82	110,00
Vano 7	2892,38	1277,04	3002,38	1254,29	-22,75	110,00
Vano 8	3002,38	1254,29	3102,38	1237,15	-17,14	100,00
Vano 9	3102,38	1237,15	3222,38	1221,03	-16,12	120,00
Vano 10	3222,38	1221,03	3322,38	1211,30	-9,73	100,00
Vano 11	3322,38	1211,30	3432,38	1204,49	-6,81	110,00
Vano 12	3432,38	1204,49	3552,38	1201,71	-2,78	120,00
Vano 13	3552,38	1201,71	3662,38	1203,43	1,72	110,00
Vano 14	3662,38	1203,43	3762,38	1208,53	5,10	100,00
Vano 15	3762,38	1208,53	3882,38	1219,09	10,56	120
Vano 16	3882,38	1219,09	3992,38	1233,04	13,95	110

**Tabla 12. Parámetros geométricos del cable tractor en cada vano.**

<b>GEOMETRIA DE LOS VANOS</b>	<b>h</b>	<b><math>\theta</math></b>	<b>Tang de la cuerda</b>	<b>(°)</b>	<b><math>\beta</math> (rad)</b>	<b>Long. Cable</b>
<b>Vano 1</b>	0,9832	0,0120	-0,4086	-22,2249	-0,3879	95,0463
<b>Vano 2</b>	1,0583	0,0149	-0,3786	-20,7376	-0,3619	96,2787
<b>Vano 3</b>	1,3448	0,0112	-0,3466	-19,1168	-0,3337	105,8648
<b>Vano 4</b>	1,1201	0,0191	-0,3146	-17,4637	-0,3048	94,4250
<b>Vano 5</b>	1,7218	0,0161	-0,2809	-15,6905	-0,2739	114,3256
<b>Vano 6</b>	1,7722	0,0165	-0,2438	-13,7039	-0,2392	113,2968
<b>Vano 7</b>	1,8203	0,0140	-0,2068	-11,6831	-0,2039	112,3811
<b>Vano 8</b>	1,5399	0,0227	-0,1714	-9,7263	-0,1698	101,5896
<b>Vano 9</b>	2,2674	0,0134	-0,1343	-7,6514	-0,1335	121,1336
<b>Vano 10</b>	1,6029	0,0197	-0,0973	-5,5562	-0,0970	100,5740
<b>Vano 11</b>	1,9688	0,0216	-0,0619	-3,5422	-0,0618	110,3461
<b>Vano 12</b>	2,3710	0,0167	-0,0232	-1,3264	-0,0232	120,1215
<b>Vano 13</b>	2,0059	0,0151	0,0156	0,8934	0,0156	110,0804
<b>Vano 14</b>	1,6626	0,0239	0,0510	2,9179	0,0509	100,2820
<b>Vano 15</b>	2,3938	0,0167	0,0880	5,0310	0,0878	120,5520
<b>Vano 16</b>	2,0000	0,0182	0,1268	7,2255	0,1261	110,9752
Longitud Total (m)						<b>1727,2726</b>

Para encontrar las tensiones presentes en el cable tractor a lo largo de su recorrido, se usaron las **ecuaciones 2.10**, haciendo uso de los datos obtenidos anteriormente.

**Tabla 13. Cargas Máximas Entre Vanos.**

	<b>Ti</b>	<b>Tf</b>	<b>TH</b>
<b>Vano 1</b>	<b>715,81245</b>	<b>740,3079419</b>	<b>673,3974121</b>
<b>Vano 2</b>	<b>740,307942</b>	<b>715,1179656</b>	<b>654,9464288</b>
<b>Vano 3</b>	<b>715,117966</b>	<b>683,2990644</b>	<b>636,2931845</b>
<b>Vano 4</b>	<b>683,299064</b>	<b>664,4296862</b>	<b>618,7825071</b>
<b>Vano 5</b>	<b>664,429686</b>	<b>636,1953647</b>	<b>601,3448389</b>
<b>Vano 6</b>	<b>636,195365</b>	<b>611,6973916</b>	<b>584,2608703</b>
<b>Vano 7</b>	<b>611,697392</b>	<b>588,1237327</b>	<b>568,8123319</b>
<b>Vano 8</b>	<b>588,123733</b>	<b>574,4554115</b>	<b>555,6853153</b>
<b>Vano 9</b>	<b>574,455412</b>	<b>552,9444451</b>	<b>543,4467699</b>
<b>Vano 10</b>	<b>552,944445</b>	<b>542,0482781</b>	<b>533,8401546</b>
<b>Vano 11</b>	<b>542,048278</b>	<b>531,6386989</b>	<b>525,9009884</b>
<b>Vano 12</b>	<b>531,638699</b>	<b>521,808176</b>	<b>519,7068444</b>

	Ti	Tf	TH
Vano 13	521,808176	516,7124487	516,1932076
Vano 14	516,712449	515,2051508	514,6893132
Vano 15	515,205151	514,8676114	514,7501187
Vano 16	514,867611	518,4633485	517,707575

La pendiente del cable al llegar y dejar los vanos se evaluo derivando la ecuación 2.4 y sustituyendo sus campos por los hallados hasta ahora.

**Tabla 14. Valores De La Pendiente Del Cable Tractor**

A la entrada y salida de los separadores.

pendientes del cable tractor en cada vano				
	inicial	final	inicial en grados	final en grados
Vano 1	-0,4567	-0,3527	-24,5474	-19,4287
Vano 2	-0,4384	-0,3105	-23,6721	-17,2500
Vano 3	-0,3914	-0,2965	-21,3762	-16,5176
Vano 4	-0,3911	-0,2306	-21,3618	-12,9827
Vano 5	-0,3454	-0,2114	-19,0524	-11,9364
Vano 6	-0,3100	-0,1737	-17,2255	-9,8531
Vano 7	-0,2628	-0,1484	-14,7233	-8,4389
Vano 8	-0,2621	-0,0778	-14,6870	-4,4500
Vano 9	-0,1878	-0,0799	-10,6348	-4,5683
Vano 10	-0,1760	-0,0176	-9,9837	-1,0096
Vano 11	-0,1481	0,0249	-8,4254	1,4241
Vano 12	-0,0900	0,0438	-5,1437	2,5104
Vano 13	-0,0449	0,0761	-2,5688	4,3541
Vano 14	-0,0448	0,1473	-2,5641	8,3774
Vano 15	0,0214	0,1553	1,2241	8,8283

Una vez obtenida las pendientes del cable tractor entre vanos y los valores de tensión para los mismos, se descompone en X e Y el valor de su influencia en los separadores para aplicarlas en los mismos.

**Tabla 15. Resultantes de Las Tensiones sobre cada Separador**

Cargas por separador						
separadores	Final		Inicial		Totales	
	X	Y	X	Y	Final tramo	Inicial Tramo
1	619,5938	-405,1658	81,4180	735,8172	740,3079	740,3079
2	-20,5621	714,8223	-584,1004	-412,5777	715,1180	715,1180
3	-471,2904	494,7555	-552,3974	-402,1874	683,2991	683,2991
4	607,6693	-268,7096	650,8066	-133,8565	664,4297	664,4297
5	514,0820	374,7856	-33,8976	635,2917	636,1954	636,1954
6	-556,4380	254,0677	-338,3666	-509,5898	611,6974	611,6974
7	-324,7264	-490,3491	-307,3092	-501,4485	588,1237	588,1237
8	-148,9988	554,7958	-202,7845	537,4732	574,4554	574,4554
9	-79,3993	547,2141	-468,8106	293,1965	552,9444	552,9444
10	288,5003	-458,8942	-293,1491	-455,9385	542,0483	542,0483
11	77,7356	525,9248	222,2563	482,9512	531,6387	531,6387
12	-421,2806	307,9065	-438,5291	-282,8003	521,8082	521,8082
13	-181,2199	-483,8916	-432,9282	-282,0726	516,7124	516,7124
14	-257,5418	446,2159	175,0810	484,5441	515,2052	515,2052

Este proceso se repite para el segundo grupo de portantes.

### 3.4 CARGAS EN LAS TORRES

Estas cargas se encuentran con los valores de tensión obtenidos en la hoja de cálculo del cable portante, sus valores son presentados en el Anexo B.

**Tabla 16. Cargas en las torres debidas a cables portantes.**

TRAMO	TH (Ton)	Tmax (Ton)	TV (Ton)
D1-D2	10,98	12,05	4,96
D2-D3	15,57	16,61	5,79
D3-D4	14,39	15,63	6,09
D4-D5	8,03	8,70	3,34

### 3.5 POTENCIA DEL MOTOR

La potencia del motor se supuso máxima en el momento de arranque, cuando todos los dispositivos móviles son acelerados por este.

La potencia motriz requerida para el funcionamiento del teleférico se obtuvo mediante una hoja de cálculo, en la cual se ingresaron los parámetros arrojados por el CAD y las condiciones iniciales de diseño.

**Tabla 17. Condiciones físicas iniciales**

Datos utiles	Valor
momento de inercia polea motriz*	481,59947
momento de inercia polea tensil*	464,084363
momento de inercia de rollers*	0,005218
masa de carros Kg	145
densidad lineal del cable Kg-m	0,68
masa de la carga Kg	250
velocidad angular de polea motriz	2,5
radio del roller (m)	0,067
radio de la polea motriz (m)	1
velocidad angular de los rollers	37,3134328

\* momentos de inercia en Kg-m<sup>2</sup>

En la siguiente tabla se presentan los valores de potencia necesarios para este diseño. Detalles ver Anexo B.

**Tabla 18. Resultados Potencia Motriz**

Tramo	potencia total
1	16345,77495
2	17755,25305
3	19860,20926
4	15085,8078

potencia maxima W	19860,20926
Kwatts	19,86020926
Hp	26,63297754

### **3.6 RESULTADOS DEL ANALISIS EN SAP2000**

El diseño del cable se verifico con el software SAP 2000 V9.3, la cual posee las herramientas necesarias para abordar el análisis del comportamiento de un cable. Esta verificación se hizo con el fin de incluir la influencia de la rigidez flexional del cable en el análisis, ya que esta crece a medida que aumenta la longitud entre vanos hasta llegar al punto de equilibrio. Se empleo esta herramienta computacional debido a que no es posible prototipar el cable con las utilidades que presenta Ansys Workbench V.8.0., pues no tiene en cuenta la influencia de la baja rigidez flexional del cable. Ver Anexo D.

## **4. FASE DE PROTOTIPADO, ANALISIS CAE**

### **4.1 INTRODUCCIÓN.**

Una vez establecidos los parámetros geométricos en el software CAD se procede a analizar estas geometrías mediante el uso del software CAE ANSYS WORKBENCH 8.0

El programa esta estructurado en 3 etapas, preproceso, solucionador y post proceso. Durante el preproceso se captura el parasólido en el área de trabajo, allí queda disponible para suprimir piezas que no sean de interés en la simulación, verificar los contactos auto detectados, definir el enmallado, aplicar las cargas de trabajo del modelo, y se selecciona el tipo de post proceso a ejecutar.

En la etapa de solución el software elabora el modelo matemático del modelo físico, y luego son realizados los cálculos del post proceso con los que se elaboran los resultados de la simulación en forma de graficas y cuadros.

Es importante recalcar que una de las condiciones mas importantes para reducir el tiempo maquina es simplificar al máximo los problemas a analizar.

### **4.2 ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS.**

Para el desarrollo del prototipado se utilizo el software ANSYS Workbench V 8.0, programa que utiliza el método de los elementos finitos. Para este proyecto se uso en particular su entorno Design simulation en su módulo de fatiga.

### **4.3 COMPONENTES DE LA ETAPA DE PREPROCESO**

Los componentes de la etapa de preproceso son:

#### **4.3.1 Geometría.**

En esta etapa, se verifica la geometría importada por ANSYS Workbench V8.0 y se agregan las características de los materiales de los elementos del conjunto si estos no están dentro de la librería de materiales.

#### **4.3.2 Contactos.**

Los contactos son importantes dentro del análisis porque a través de ellos las fuerzas se transmiten de un cuerpo a otro, y dependiendo de su tipo puede permitir diferentes interacciones entre piezas determinando la forma en la que se verá afectado el sistema.

#### **4.3.3 Tipos de contactos.**

La forma en que los cuerpos interactúan depende de las relaciones existentes entre estos, es decir, de los grados de libertad que se presenten entre ellos. Estas condiciones están agrupadas en tipos de contactos.

Los tipos de contactos que el software contiene y su definición fueron extraídos de la ayuda de ANSYS Workbench 8.0, y son:

- **Bonded.**

Es la opción que viene configurada por defecto para las regiones en contacto. Si las regiones en contacto tienen esta opción, entonces no hay deslizamiento o separación entre las caras o bordes considerados. Es como tener las regiones pegadas. Este contacto evita que en la solución lineal el área de contacto cambie durante la aplicación de la carga. Si el contacto es definido en el

modelo matemático, cualquier brecha será cerrada y cualquier penetración inicial ignorada.

- **No Separation.**

Esta opción de contacto es similar al caso Bonded; ella solo aplica a regiones o caras. No permite la separación entre caras, pero se permiten pequeños deslizamientos sin fricción a lo largo de las caras en contacto.

- **Frictionless.**

Esta opción modela contactos unilaterales estándar; donde se igualan las presiones normales a cero si la separación ocurre. Esto solo aplica a las caras. Así se pueden formar espacios entre los cuerpos dependiendo de las cargas. Esta solución es no lineal por que el área de contacto puede cambiar cuando se aplica la carga.

Se asume coeficiente de fricción cero, permitiendo libre deslizamiento. El modelo debe estar bien restringido cuando se utiliza esta opción. Para llegar a una solución razonable se agregan resortes débiles que ayudan a dar estabilidad al modelo.

- **Rough.**

Es una opción similar a la frictionless, modela perfectamente un contacto friccional donde no hay deslizamiento. Solo se aplica entre superficies.

Por defecto, no se cierran los espacios automáticamente en la solución. Este caso corresponde al de coeficiente de fricción infinito entre cuerpos en contacto.

- **Frictional.**

En esta opción, dos caras en contacto pueden experimentar esfuerzos cortantes de cierta magnitud a lo largo de su interfase antes de que empiece el deslizamiento relativo entre ellas; esta opción solo aplica entre caras. Este

estado es conocido como “adherencia”. El modelo define un esfuerzo cortante equivalente a una fracción de la presión de contacto, a partir de la cual comienza el deslizamiento de la cara. Una vez el esfuerzo cortante es excedido, las dos caras tendrán un movimiento relativo entre si. El coeficiente de fricción puede ser cualquier valor no negativo.

Escoger el tipo apropiado de contacto depende del tipo de problema que se desee solucionar.

#### **4.4 MESH.**

El enmallado es la etapa en la que el programa divide los modelos en pequeños elementos más fáciles de analizar. Dependiendo del análisis a realizar, se debe prestar atención a las partes críticas del modelo, ya que estas son las que determinan las condiciones de la malla, sus refinamientos, tamaño y tipo de elemento.

##### **4.4.1 UTILIDADES DEL ENMALLADO**

###### **4.4.1.1 REFINAMIENTOS**

Con esta utilidad se puede “refinar” o aumentar el número de elementos de una superficie en la malla originalmente generada por ANSYS, esta función nos permite apreciar de forma mas detallada el efecto de las cargas en las partes criticas del diseño, ya que la malla se aproxima mas a la geometría.

Para las simulaciones realizadas en el desarrollo de este trabajo se tuvieron en cuenta muchos refinamientos de mallas en modelos, principalmente en cambios bruscos de geometría donde las líneas de esfuerzo fuesen dañinas, o donde existieran contactos claves por los que fluyeran esfuerzos, es decir donde las condiciones de cada problema lo hicieran necesario.

#### **4.4.1.2 SIZING**

Con esta utilidad se determina el tamaño de cada arista del elemento, consiguiéndose enmallados mas uniformes, esto es muy útil a la hora de estudiar elementos altamente exigidos, o para garantizar que el tamaño de los elementos de dos superficies que se encuentran en contacto sea igual.

El procedimiento en el desarrollo de este trabajo fue el siguiente:

- De todos los conjuntos analizados se hizo una simulación con el enmallado que ANSYS Workbench 8.0 genera por defecto y además se definen los tipos de contactos que se aproximen al comportamiento del prototipo.
- En los resultados obtenidos en el primer paso se puede apreciar las partes más exigidas, de zonas críticas y geometrías problemáticas, basados en estos se refina el modelo en el conjunto o se lleva a análisis como un subconjunto en caso de ser necesario.

#### **4.4.2 DETALLES DE LOS ENMALLADOS**

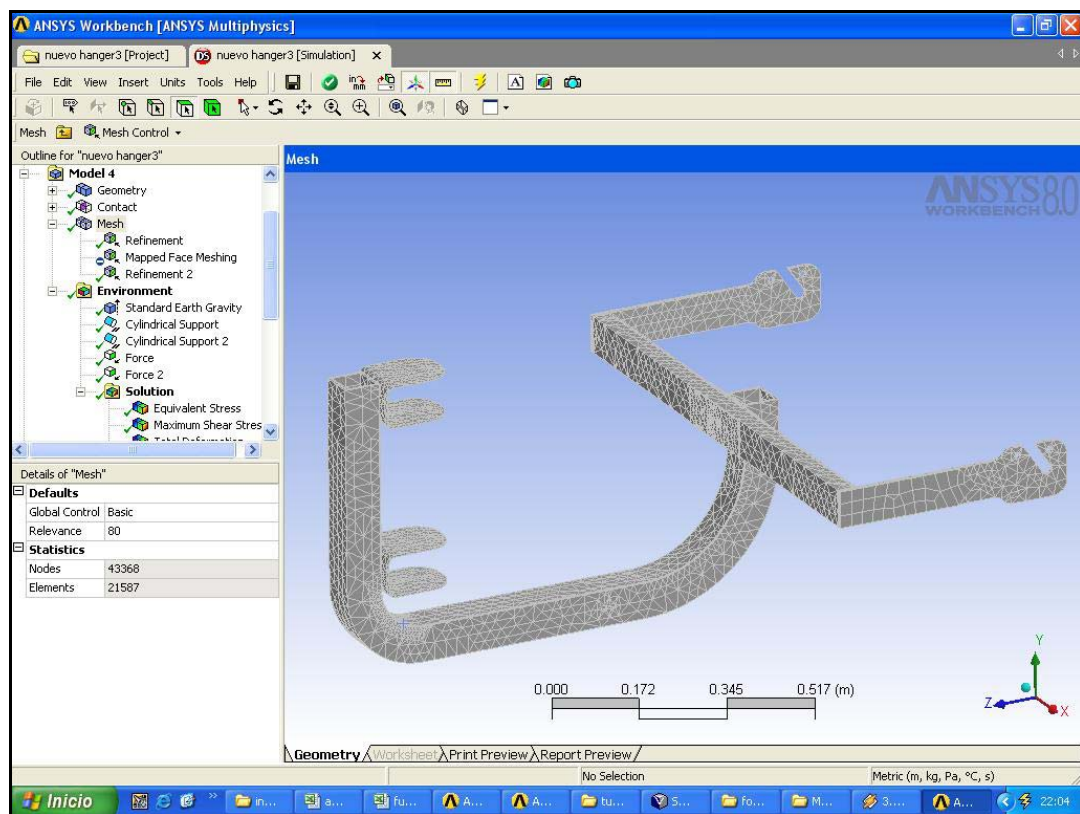
A continuación se presentan dos ejemplos del trabajo con mallas, donde los resultados expuestos son los enmallados finales, con algunas consideraciones del proceso.

##### **4.4.2.1 HANGER Y ASA**

Para este enmallado se tuvo en cuenta que las geometrías problemáticas se presentaban principalmente en dos zonas, la cara interna de la curva superior del hanger, y en la vecindad de la parte apoyada del asa en el hanger. Para estas dos zonas se utilizó un refinamiento de valor uno.

También se mapeo la superficie del hanger que sostiene el asa para que los elementos que entraran en contacto con esta fueran aproximadamente del mismo tamaño con el objeto de evitar que muchos nodos lleguen a un solo elemento, ya que se generan fluctuaciones bruscas y falsas en los niveles de esfuerzos, pues en esta zona están viajando esfuerzos de parte a parte.

**Figura 61. Enmallado del Conjunto Hanger- Asa**



Para este prototipo se uso una relevancia geométrica en el enmallado del 80% para que la malla se aproximara a la geometría original, dada la importancia de este subconjunto en el conjunto de la cabina, se uso contacto tipo bonded por defecto.

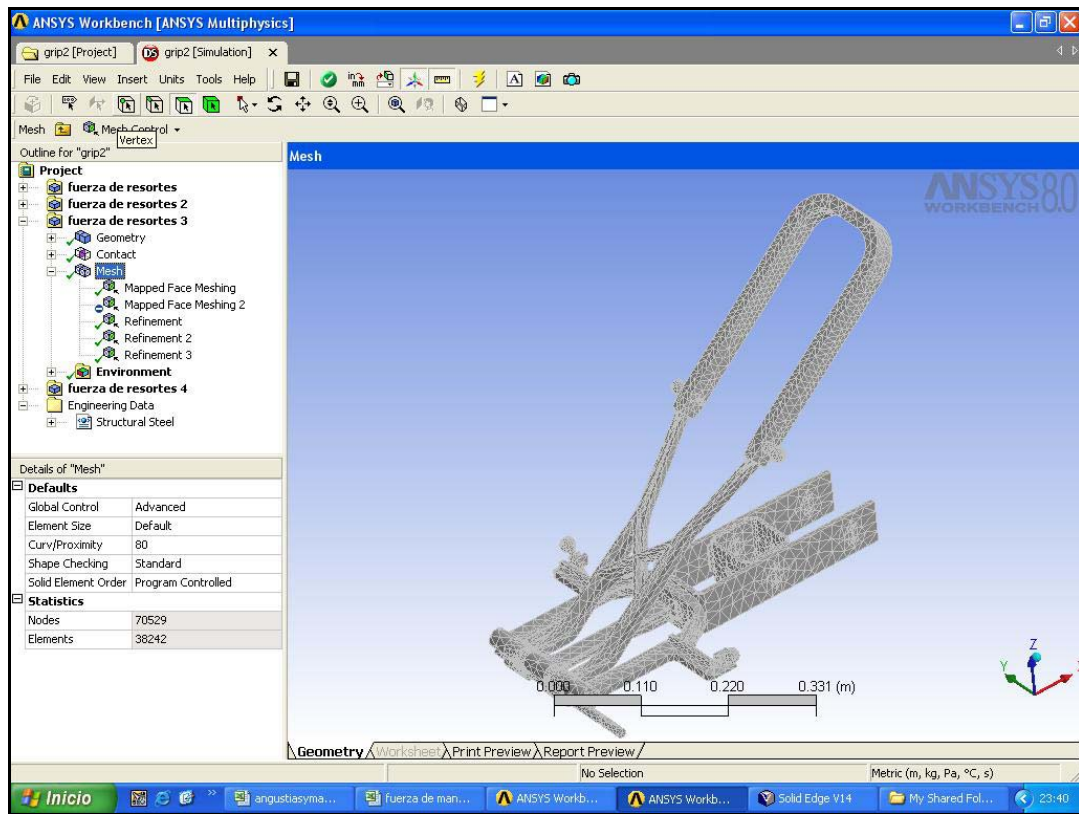
Figura 62. Detalle Mesh del Conjunto Hanger- Asa



#### 4.4.2.2 PINZA

La pinza es un subconjunto clave en este desarrollo, pues es la encargada de garantizar el traslado de carga entre estaciones. Primero se realizó un análisis con la malla que generaba por defecto ANSYS Workbench 8.0, y en vista de que la pieza más exigida es la mordaza móvil, se procedió a refinar su malla en la zona en contacto con la mandíbula fija, también se refinó la malla en el agujero que esta tiene; pues los contactos con la mandíbula fija y el pasador se tienen en la opción sin fricción, condición que requiere de una densidad nodal similar en ambas superficies ( pasador con mandíbula móvil, mandíbula móvil con mandíbula fija.) para garantizar resultados más confiables.

Figura 63. Mesh de la Pinza



El refinamiento de la mandíbula se dio de dos formas, uno en la superficie del agujero de la mandíbula móvil con el pasador, y otro refinando las esquinas internas superiores de las caras que entran en contacto con la parte central de la mandíbula fija. También se mapearon los brazos de la mandíbula fija debido a su compleja geometría, ya que a través de ellos se transmiten los esfuerzos a los que esta sometida la estructura completa. Se trabajó con una relevancia del 80%.

Figura 64. Mesh de la Pinza -Escenario 1



Posteriormente, y para otra etapa del funcionamiento en la que se comprime totalmente el resorte, se utilizó el mismo modelo de la pinza suprimiendo las partes que no estaban involucradas en el análisis; de esta forma se aprovechó la malla generada en la solución anterior, se refinó, adaptando las regiones involucradas en el análisis. El resultado fue la reducción de tiempo máquina.

Figura 65 a. Mesh de la Pinza- Escenario 2 ( Resortes comprimidos)

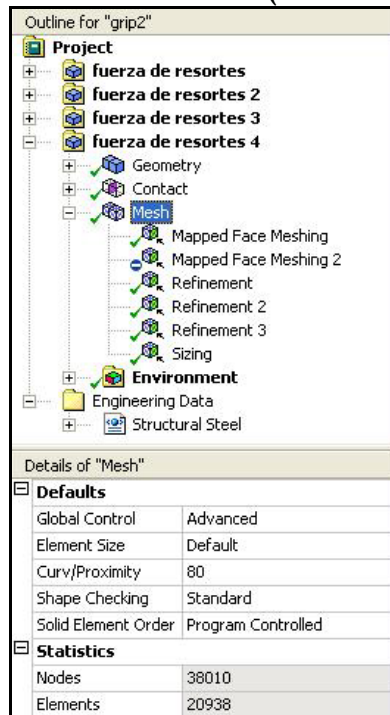
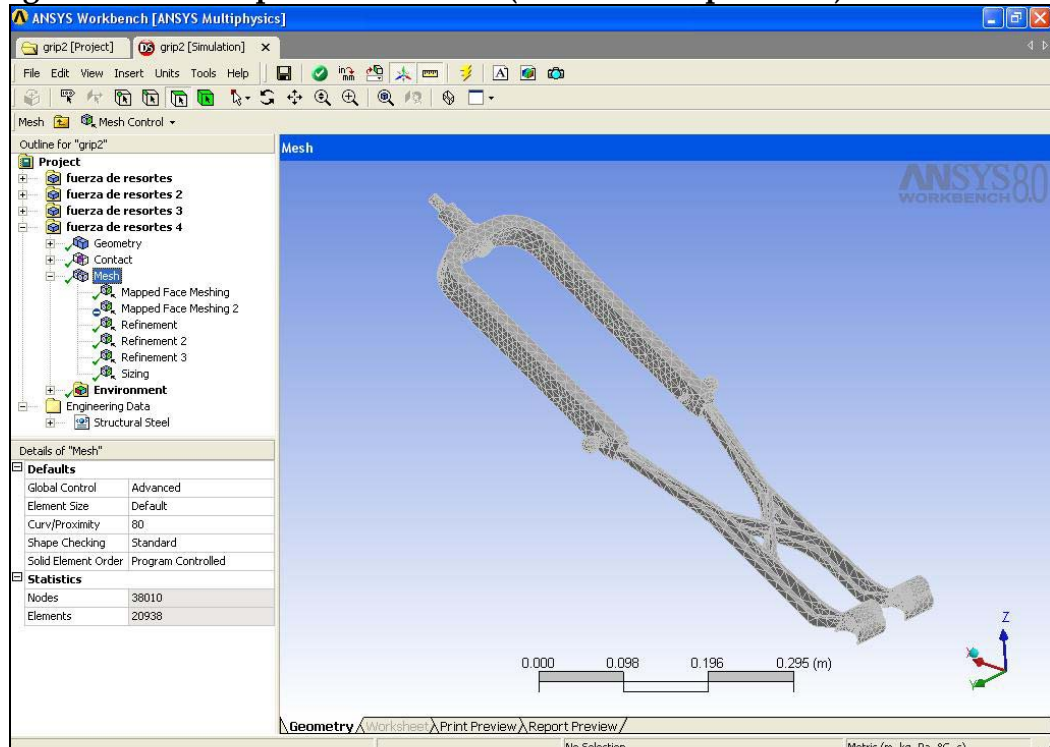


Figura 65 b. Mesh pinza escenario 2 (Resortes comprimidos)



Los detalles de los enmallados de las demás piezas prototipadas:

**CANASTA (Ver Anexo C)**

**SEPARADOR (Ver Anexo C)**

**SADDLES (Ver Anexo C)**

**DESVIADORES (Ver Anexo C)**

**POLEAS (Ver Anexo C)**

#### **4.5 ENVIRONMENT.**

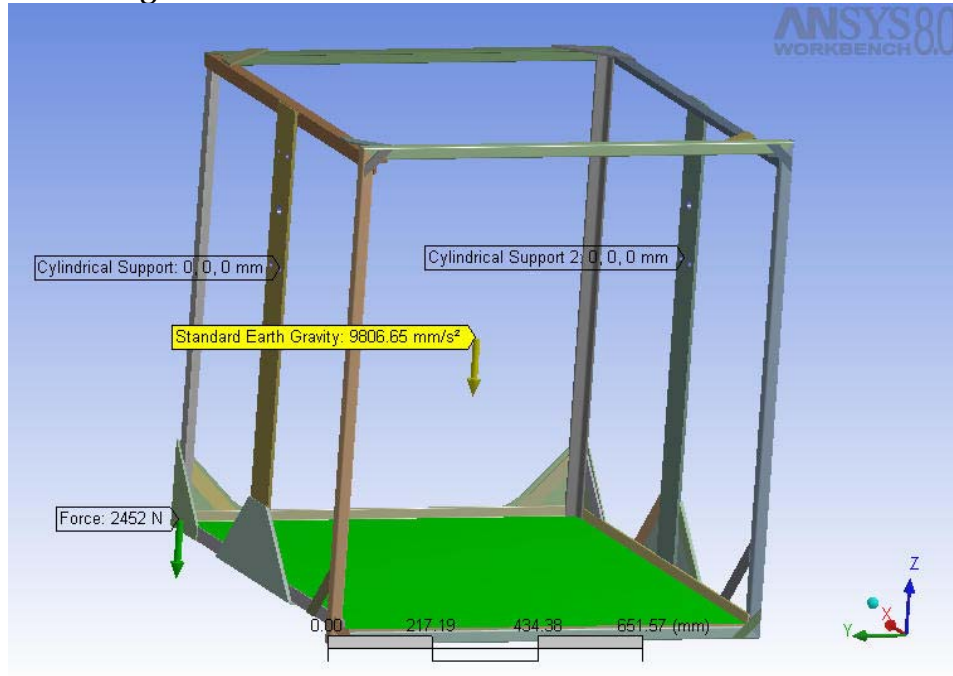
Durante esta etapa se aplican las condiciones de frontera, representadas como cargas externas y tipos de apoyos que proporcionan el marco de la simulación del modelo.

Como las condiciones de carga a las que está sometido un cuerpo en la realidad no son siempre posibles de representar en forma idéntica, el software ofrece la opción de utilizar algunas clases típicas de carga, clasificadas en dos grupos, condiciones de cuerpo y condiciones de frontera. Las condiciones de cuerpo son aceleraciones, gravedad y velocidad angular, y las de frontera se subdividen en tres grupos, cargas estructurales, cargas térmicas y soportes.

Con el objeto de ilustrar las condiciones de cuerpo y de frontera aplicadas a los prototipos diseñados, se presenta la aplicación de cargas a los conjuntos más representativos del diseño.

## 4.5.1 LA CANASTA

Figura 66. Exigencias estructurales de la canasta



### 4.5.1.1 CARGAS

La canasta en su modelo simplificado esta sometida a la acción de la gravedad y a la carga debida al peso aplicado a la lámina del piso.

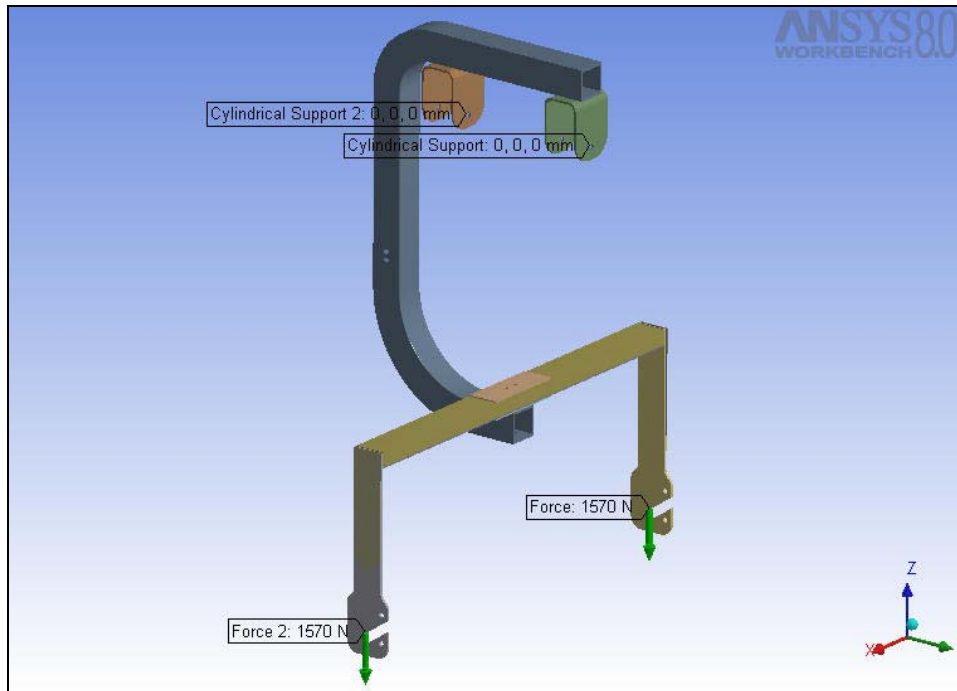
### 4.5.1.2 TIPOS DE SOPORTES.

Los soportes de esta estructura fueron representados con soportes cilíndricos, para semejar la acción de los tornillos y pivotes.

Detalles ver Anexo C.

## 4.5.2 HANGER Y ASA

Figura 67. Exigencias estructurales del conjunto Hanger-Asa



### 4.5.2.1 CARGAS

El hanger es afectado por la acción del asa sobre el, entre tanto el asa es cargada por dos fuerzas debidas a la canasta y su carga.

### 4.5.2.2 TIPOS DE SOPORTES.

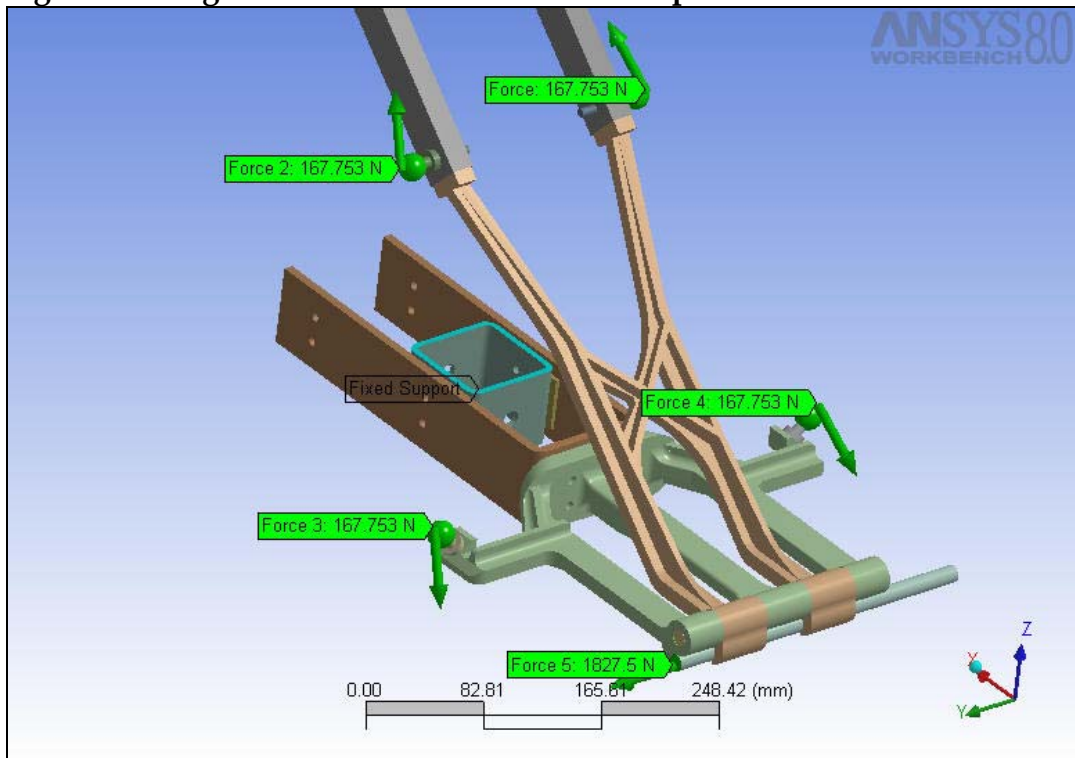
El hanger esta soportado en su trayecto por los ejes de los carros, por ello se opto por el uso de soportes cilíndricos en las superficies en que la base de los trenes entra en contacto con el eje de las mismas.

Detalles ver Anexo C.

### 4.5.3 PINZA

Para encontrar las cargas presentes en la pinza se recurrió a una hoja de calculo, ver Anexo B, fuerza de las mandíbulas, en la que a partir de la pendiente de los cables portantes se determina la presión de agarre necesaria, esta presión debe ser ejercida por el mecanismo de la mordaza, que es accionada por un par de resortes que fueron diseñados para este fin, y esta definida así para garantizar un valor de fricción suficiente que evite el deslizamiento del cable tractor entre sus mandíbulas.

Figura 68. Cargas Estructurales en la Pinza comprimiendo el cable



#### 4.5.3.1 CARGAS

Las cargas aplicadas son las de la pinza acelerándose junto con la cabina, están presentes las del resorte con su carga de trabajo aplicado en las rotulas y la acción de la fuerza de tracción del cable tractor.

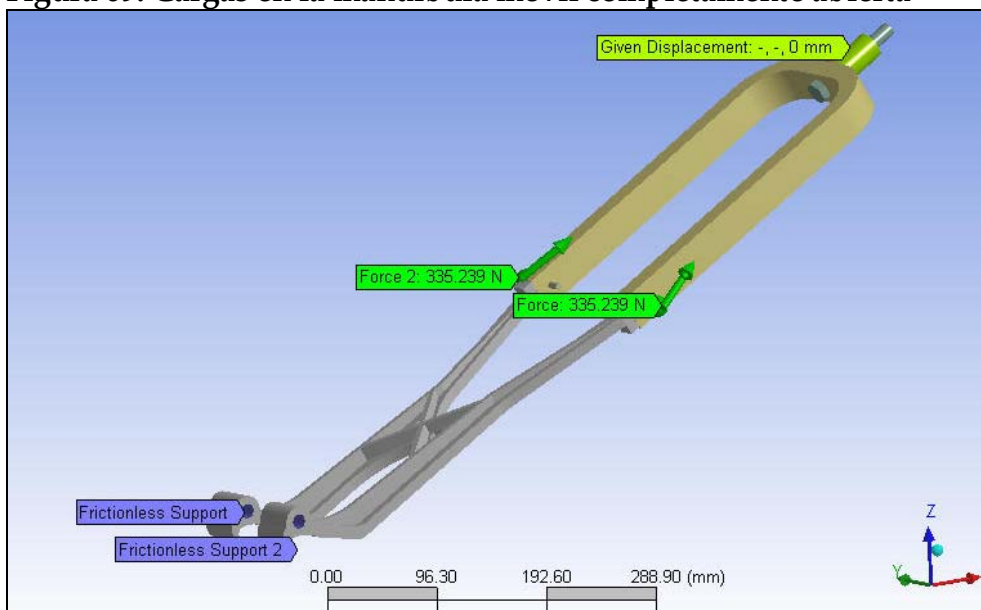
#### 4.5.3.2 TIPOS DE SOPORTES.

El tipo de soporte usado en esta simulación fue el soporte fijo, usado en la representación del hanger que se utilizo para modelar su operación, cuando al arrancar la inercia del carro se opone a que este inicie su movimiento, produciendo en la pinza y en el hanger la aparición de flexión y torsión respectivamente.

#### 4.5.4 PINZA ESCENARIO 2

Para este escenario en el que el resorte es comprimido en la estación y la pinza libera el cable, se simplifico el modelo anterior y usaron las partes mas comprometidas, la mandíbula móvil, el accionador y las rotulas.

**Figura 69. Cargas en la mandíbula móvil completamente abierta**



#### **4.5.4.1 CARGAS**

Las cargas aplicadas son las debidas a los resortes con su carga máxima.

#### **4.5.4.2 TIPOS DE SOPORTES.**

Los soportes y restricciones dadas a este prototipo fueron, soportes cilíndricos en los agujeros de la mandíbula móvil, con esto se buscaba representar fielmente el efecto del pasador, además se limitó la movilidad de el brazo accionador, simulando el efecto de la superficie de la leva.

Los otros elementos prototipados:

**SEPARADOR**

**DESVIADORES**

**CABALLETES**

**SADDLES**

**CARROS**

Se encuentran en el Anexo C. INFORMES DE ANSYS.

## **4.6 SOLUTION**

Aquí se puede escoger en el programa el mecanismo de solución que desea plantear para obtener los resultados requeridos.

### **4.6.1 DETAILS OF SOLUTION.**

Aquí se brindan opciones para personalizar el análisis y conseguir reducciones en el tiempo de solución, como tipo de solucionador, además se encuentran opciones para la optimización como loops de refinamiento.

## **4.7 POSTPROCESO.**

Para este análisis se tomo en post proceso el modulo de fatiga y se trabajo con el a lo largo del desarrollo del proyecto.

### **4.7.1 Opciones en la simulación de la fatiga.**

En las opciones de la simulación por fatiga se generan unos parámetros por defecto que deben se modificados en cada modelo para lograr una buena aproximación a las exigencias reales de los conjuntos y sus partes.

#### **4.7.1.1 Fatigue tool**

se deciden las piezas a las que realizarle los análisis, así como el tipo de análisis, vida, factor de seguridad, etc.

#### **4.7.1.2 Fatigue strength factor (Kf).**

Los factores que afectan el comportamiento en un análisis con software CAE no deben comprender los relacionados con factor de forma, pues estos software tienen en cuenta la forma de las piezas desde el momento de la captura del parasólido, entonces los factores que se tuvieron en cuenta en los análisis fueron, el factor de acabado superficial con un valor de 0.81 según tabla en la página 9 de las conferencias de fatiga del profesor Alfredo Parada Corrales, para todos los conjuntos, como también los efectos de la soldadura con un factor concentrador de fatiga con 0.5, siendo el caso mas exigido el de la aplicación conjunta de estos dos factores.

#### **4.7.2 Loading**

Aquí se define el tipo de carga repetitiva a aplicar, su amplitud y su factor de aplicación, para la totalidad de los análisis se utilizó carga repetitiva con amplitud 1 y base cero.

#### **4.7.3 Options**

##### **4.7.3.1 Analysis type**

Se selecciona el tipo de análisis de fatiga de Goodman ya que es un modelo intermedio, medianamente conservativo.

##### **4.7.3.2 Stress component**

La teoría del análisis de esfuerzos es la de Von Mises.

Se usó en los modelos probados a fatiga la teoría de Von Mises -Goodman.

## 5 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.

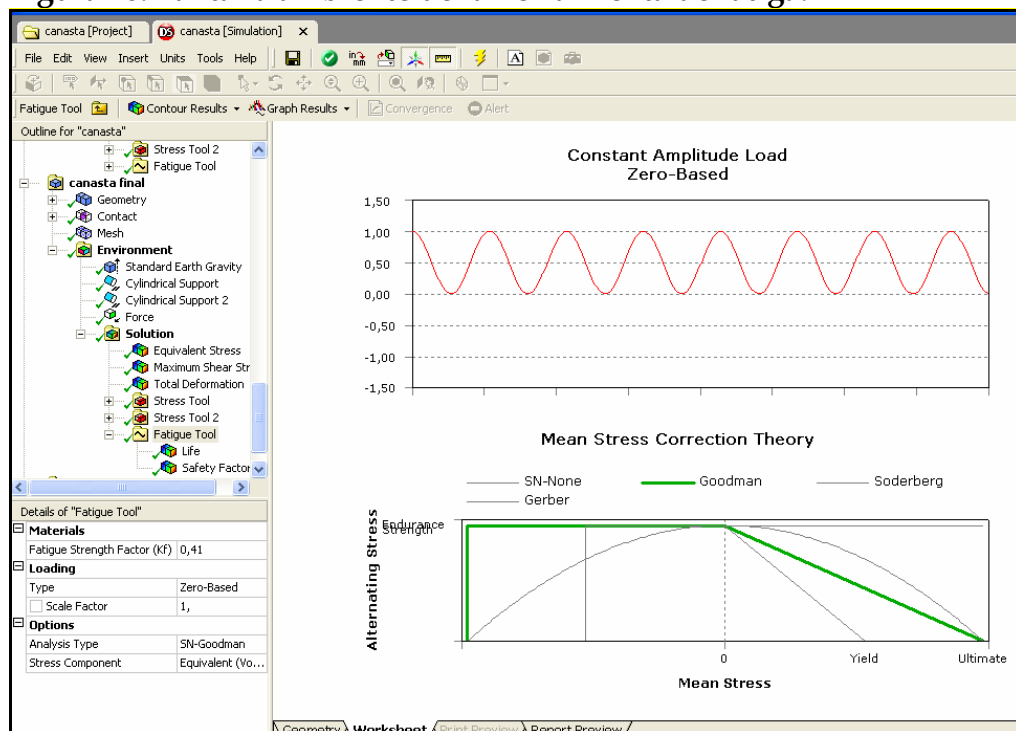
### 5.1 SIMULACIÓN GENERAL

Para todas las partes se realizó primero un análisis general para poder identificar las partes más exigidas estructuralmente, luego se realizaron simulaciones sucesivas de estas partes o subconjuntos, refinando el modelo, para luego realizar las simulaciones definitivas en las que se buscó vida infinita ( $10^6$  ciclos) y un valor del factor de seguridad en fatiga mayor a 1.1.

### 5.2 RESULTADOS DE LA SIMULACION DE COMPONENTES.

#### 5.2.1 CANASTA

Figura 70. Pantalla ambiente de la herramienta de fatiga.



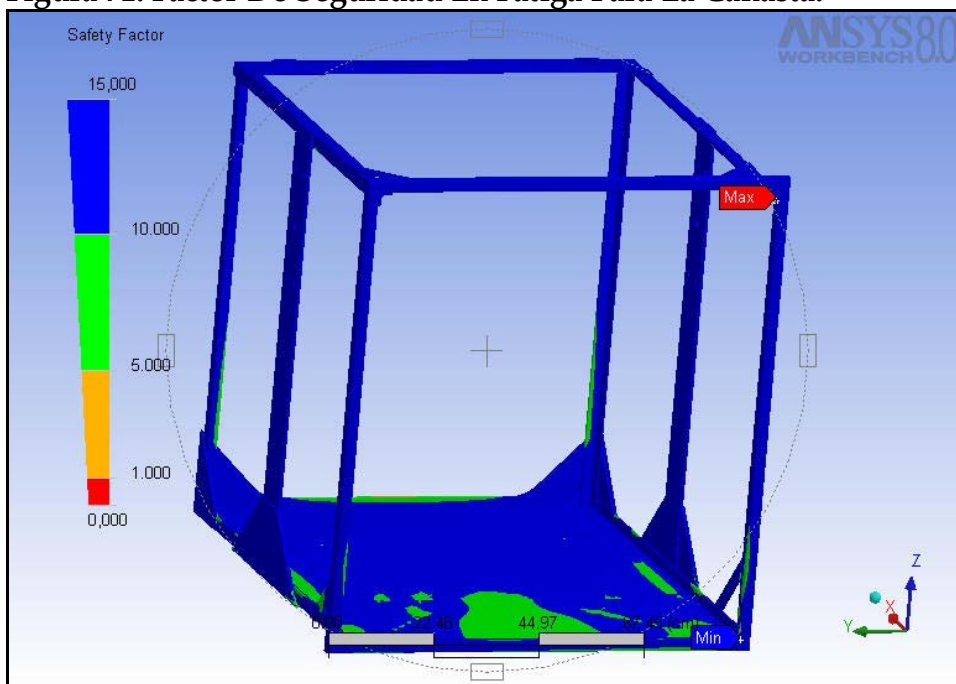
Para el modelo de la canasta se busco factor de seguridad estático sobre tres en cada soporte, vida infinita y factor de seguridad a fatiga de mas de 1.1

### 5.2.1.1 GENERAL

El factor de fatiga que se selecciono fue el producto del factor de concentración de esfuerzos debido a la fatiga por el factor por acabado superficial.

En esta simulación se buscaba vida infinita y factor de seguridad mayor a 1.1; se obtuvo vida infinita y factor de seguridad a fatiga de 1.38.

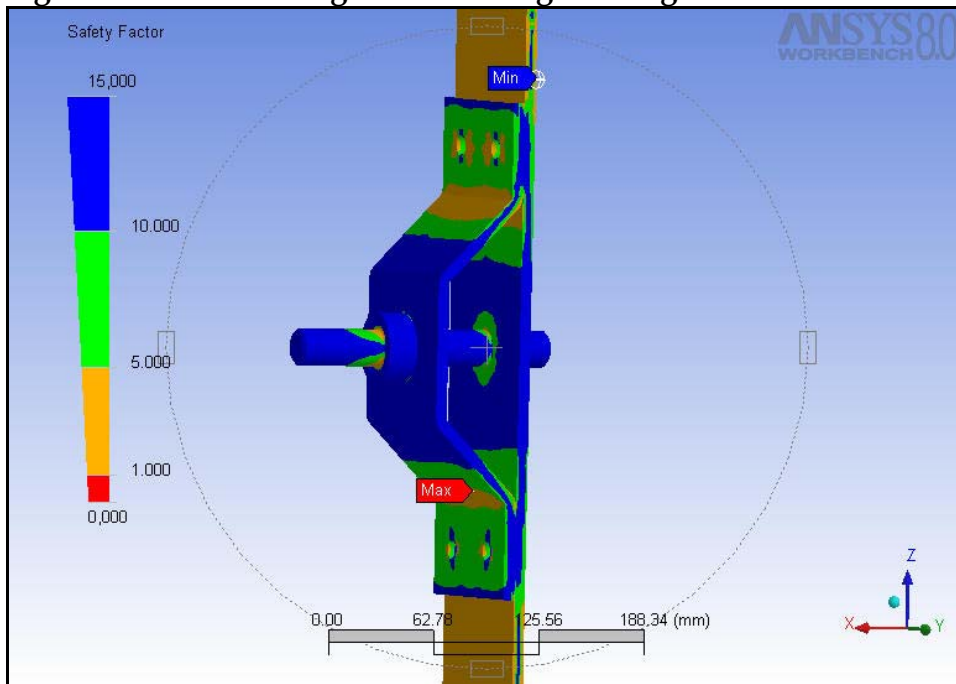
**Figura 71. Factor De Seguridad En Fatiga Para La Canasta.**



### 5.2.1.2 DETALLES

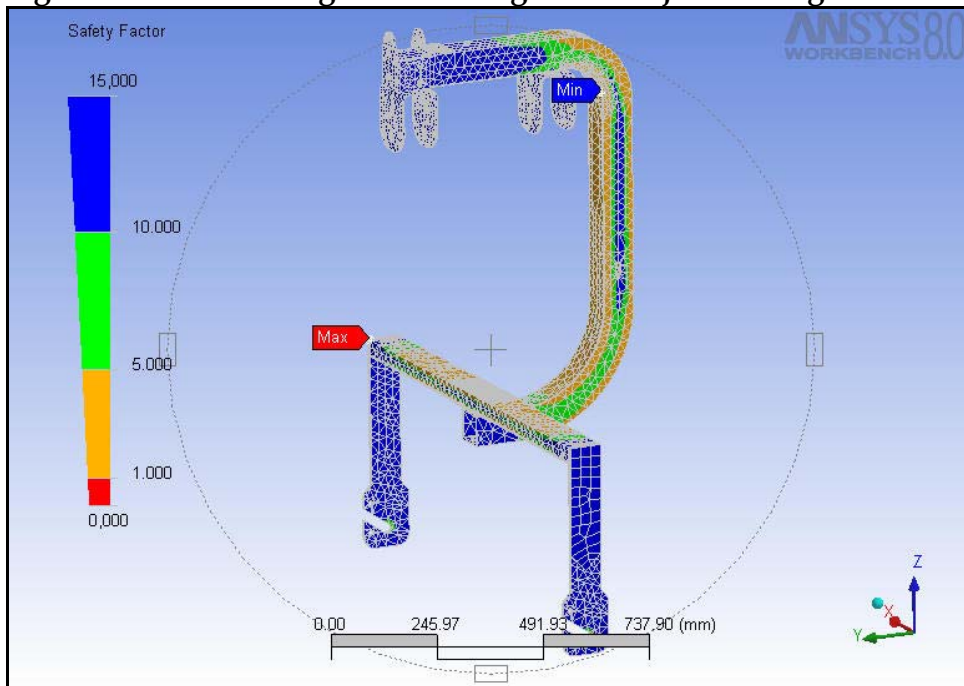
Para este detalle se obtuvo vida infinita y un valor de factor de seguridad a la fatiga de 1.57.

**Figura 72. Factor De Seguridad A Fatiga Del Agarre De La Canasta**



## 5.2.2 HANGER Y ASA

**Figura 73. Factor de seguridad a fatiga del Conjunto Hanger Y Asa**



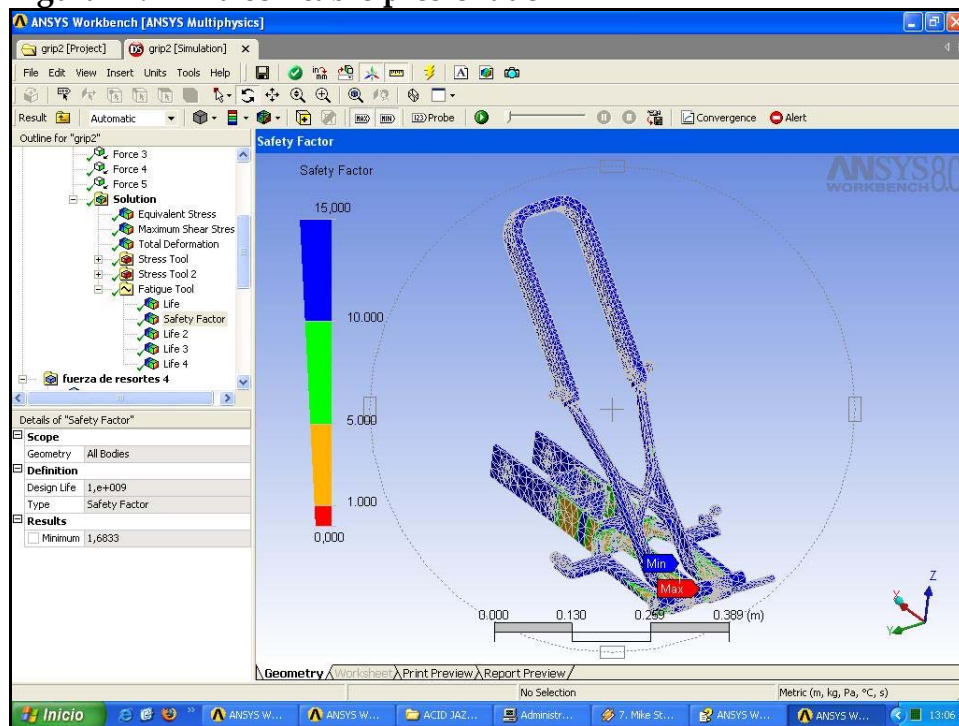
Para este modelo se obtuvo vida infinita, el factor de seguridad a fatiga se presento con un valor sobre el limite 1.1

### 5.2.3 PINZA

La pinza se analizó bajo el efecto de las condiciones de carga presentes durante su operación.

#### 5.2.3.1 CON CABLE PRESIONADO

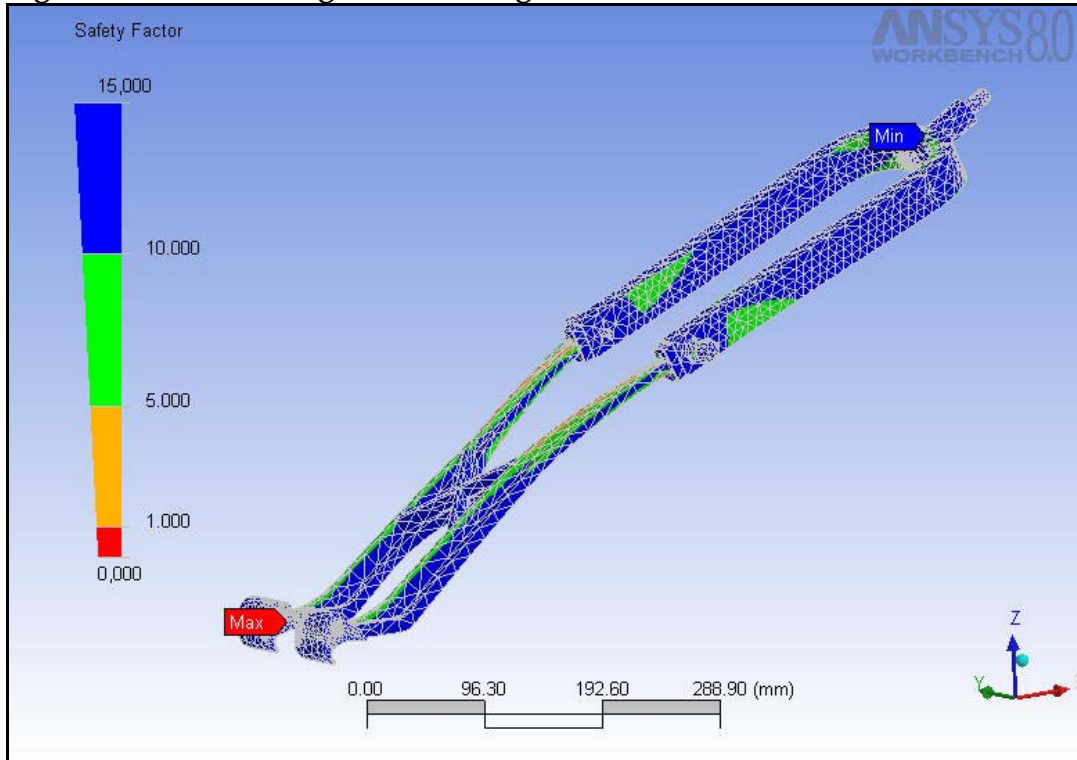
Figura 74. Pinza con cable presionado



Se obtuvo vida infinita y factor de seguridad de 1,68

### 5.2.3.2 TOTALMENTE ABIERTA

Figura 75. Factor de seguridad a Fatiga en la Pinza abierta.



Se obtuvo vida infinita 10E6 ciclos y el factor de seguridad en fatiga es de 1.5

Los resultados de las demás piezas que fueron prototipadas:

#### SEPARADOR

- GENERAL
- DETALLES

#### SADDLES

#### DESVIADORES

#### POLEAS

Se encuentran en el informe detallado de ANSYS WORKBENCH, Anexo C.

## 6 ELEMENTOS DE SELECCIÓN

### 6.1 HOJA TECNICA No. 001

#### SIEMMENS

MATERIAL PARA COTIZACIÓN: MOTOR - REDUCTOR - FRENO

CONJUNTO DONDE ES REQUERIDO: SISTEMA MOTRIZ

#### REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

- TORQUE DE ARRANQUE  
7918,2 N\*m
  - TIPO DE FRENO DE MOTOR  
ELECTRICO, PARA FRENAR UNA CARGA INERCIAL DE 7918,2 N\*m
  - POTENCIA  
26.63 hp.
- 

### 6.2 HOJA TECNICA No. 002

#### DANA - TRANSEJES COLOMBIA

MATERIAL PARA COTIZACIÓN: EJE SEMIFLOTANTE

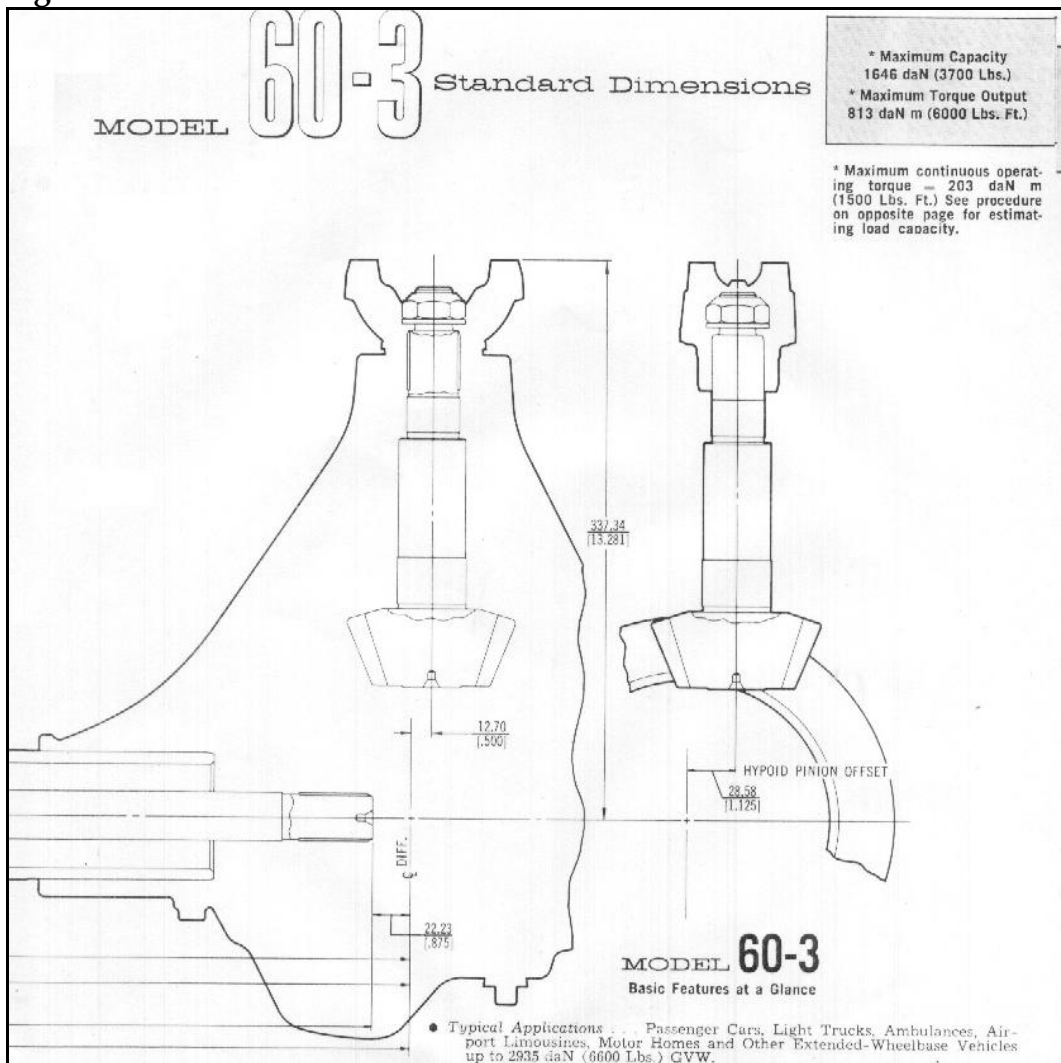
CONJUNTO DONDE ES REQUERIDO: SISTEMA MOTRIZ

#### REQUERIMIENTOS TÉCNICOS:

- TORQUE DE TRABAJO  
7918,2 N\*m
- FUERZA TRANSVERSAL EN EL EXTREMO  
2451.66 N
- USO. TRANSMISION DE POTENCIA ENTRE EL MOTOREDUCTOR Y LA POLEA MOTRIZ DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE POR CABLE (TELEFERICO).

Se seleccionó la transmisión de eje semi flotante modelo 60 - 3 spicer® rear axles, suministrado por la DANA de Colombia. Pues cumple con los requisitos de torque y capacidad de carga aplicados a la polea motriz.

**Figura 76. Transmisión seleccionada**



# Spicer® Rear Axles

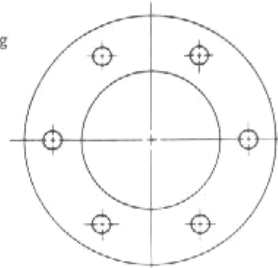
## MODEL 60-3 ESTIMATING LOAD CAPACITY

The load carrying capacity of the axle structure varies with tread, spring centers, and axle shaft overhang. For vehicle design studies, the effects of these variables on structural capacity can be estimated as follows:

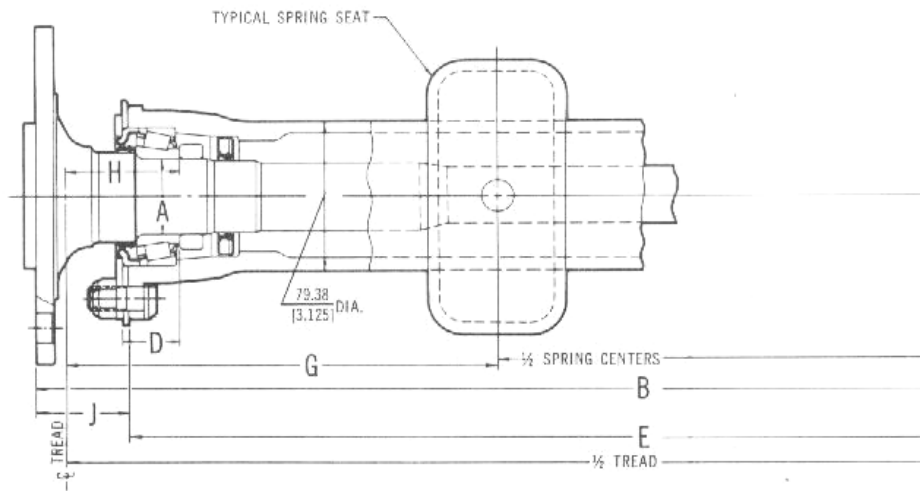
HOUSING:  $\frac{529,000}{\text{"G" mm}} = \text{Capacity-daN}$      $\frac{47,000}{\text{"G" inch}} = \text{Capacity-Lb.}$

SHAFT:  $\frac{126,000}{\text{"H"-12.7}} = \text{Capacity-daN}$      $\frac{11,200}{\text{"H"-500}} = \text{Capacity-Lb.}$

NOTE: All axle selections must be confirmed by our Engineering analysis.



**TYPICAL TUBE FLANGE PATTERN**



## 7 CONCLUSIONES

- Se calculó el comportamiento estructural del cable estático con base en la naturaleza variacional del problema planteado (modelo de la Baquistocrona) que se presenta al tratar de describir el comportamiento mecánico de un cable tendido entre dos apoyos a diferente altura, teniendo en cuenta el desplazamiento de cargas puntuales sobre el y asumiendo rigidez flexional despreciable, y se obtuvieron resultados bastante aproximados que se probaron con herramientas computacionales.
- Las herramientas disponibles en el entorno Workbench de Ansys 8.0 no proporcionan la flexibilidad requerida para enfrentar el problema planteado por el cable tendido entre dos puntos sin conocimientos profundos con respecto a sus algoritmos de solución y definición de tipos de elementos.
- Considerando la baja rigidez flexional que presenta el cable en la realidad, se hace necesario emplear herramientas computacionales diseñadas específicamente para la solución de dicho problema, una buena aproximación al problema planteado la presenta el software sap2000 V9.3. este análisis lo logra el software usando el elemento tipo frame, luego de efectuar cambios en su definición.
- El rendimiento del sistema se podría triplicar con respecto al rendimiento inicialmente planteado de 1.5 toneladas hora.

- La etapa de validación del prototipo, sometiendo a un modelo físico a las condiciones de exigencia del prototipo virtual, se hace necesaria; así como la retroalimentación del software CAE a través de los datos obtenidos del modelo físico.
- La mayor ventaja al usar software CAE en el diseño asistido por computador, radica en el ahorro de dinero, pues reduce el número de pruebas realizadas en prototipos reales y los costos que ellas implican, además el tiempo de desarrollo de nuevos productos se acorta debido a la rápida retroalimentación en el proceso de diseño.

## 8 RECOMENDACIONES

- Los diseños y los análisis efectuados a estos deben ser revisados por una empresa dedicada al desarrollo de nuevos productos con ayuda del método de los elementos finitos, y Los resultados de este diseño se deben validar con ayuda de un modelo físico para poder pasar a su implementación, ya que, no sobra recordar, esta es solo una etapa en el proceso de diseño asistido por computador.
- Para una mejor aproximación a la realidad, se debe hacer un estudio de vientos para determinar la carga que este aplica sobre los componentes del teleférico posicionados en los tendidos.
- El teleférico diseñado es apto únicamente para el transporte de carga.
- La elección del motor es prematura en esta etapa del diseño, ya que simplemente contamos con un estimado de la potencia motriz máxima debida al arranque de 26,6 Hp., pero debido a la naturaleza de este método de diseño, este valor variara a medida que avancen las etapas del mismo.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

SHIGLEY, Joseph E. y Mischke, Charles. Diseño en Ingeniería Mecánica. México: McGRAW-HILL.

PARADA, Alfredo, Recopilación De Conferencias De Fatiga. Colombia, Publicaciones UIS.

SCHNEIGERT, Zbigniew. Aerial Tramways And Funicular Railways. Polonia, Gran Bretaña, USA, Pergamon Press, 1966.

CSI, Computers and Estructures Inc. CSI Analisis Reference Manual for SAP2000.

NORMA TECNICA: EQU8900453A, Relativa a la reglamentación técnica y la seguridad de los teleféricos. Francia, 1994.

HUGHES, T.J.R. The Finite Element Method. USA, Prentice Hall, 1987.

BELTRAN, Francisco. Teoría General Del Método De Los Elementos Finitos, Notas de Clase, Curso de doctorado, España, Depto de Mecánica Estructural y Construcciones Industriales, 1998-1999.

HELLMUNT, Ernst. Aparatos de elevación y transporte. Tomo 1 Barcelona. Editorial Blume, 1970

INRS. Les coefficients de sécurité des câbles, chaînes et cordages  
Note n° 563-49-67

Disponible en Internet: [www.poma.net](http://www.poma.net)

Disponible en Internet:

University Of Alberta Home Page, [www.ualberta.ca](http://www.ualberta.ca),

DOCUMENTS: [www.uofaweb.ualberta.ca/mece](http://www.uofaweb.ualberta.ca/mece)

[www.mece.ualberta.ca/tutorials/ansys](http://www.mece.ualberta.ca/tutorials/ansys)

## 10 ANEXOS

## ANEXO A. PLANOS

### 01 subconjuntos de la cabina

P001 Carros

P002 Pinza

P003 Hanger y Asa

P004 Canasta

**P005 Detalle agarre**

### 02 separador

**03 saddle**

04 desviador

**05 poleas**