

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“CÁLCULO Y DISEÑO ESTRUCTURAL PARA LA CUBIERTA  
DEL MERCADO CENTRAL DE LA PARROQUIA DE PÍNTAG  
EN BASE A TENSO-ESTRUCTURA CON EL USO DE BAMBÚ  
GIGANTE (DENDROCÁLAMUS ASPER)”**

**PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR:**

**TLGO. FREDD VINICIO CARRANZA ARMENDARIZ  
SR. JORGE ANÍBAL TACO ÁLVAREZ**

**SANGOLQUÍ, ABRIL DEL 2011**

## EXTRACTO / ABSTRACT

Actualmente, la tecnología de tenso-estructuras en la elaboración de cubiertas de membranas para alcanzar grandes luces, ha incursionado de gran manera en los países desarrollados en el campo de la ingeniería, con una inmensa serie de método de construcción, el mismo que implica diversos parámetros de diseño a considerar como tipos de materiales, anclajes y uniones.

Esta investigación tiene como énfasis el diseño con membrana de PVC y el bambú gigante (Dendrocálamus Asper) como una nueva alternativa de diseño estructural para nuestro país, ya que se cuenta con cultivos extensos sobre la costa central del Ecuador.

Currently, the technology of tensile structures in developing roofing membranes to reach high lights, has ventured in a big way in developed countries in the field of engineering, with a vast array of construction method, it involves various design parameters to consider as types of materials, fixings and joints. This research is designed to emphasize the PVC membrane and the giant bamboo (Dendrocalamus Asper) as a new structural design alternative for our country, because it has extensive crops on the central coast of Ecuador.

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por los Señores:

**FREDD VINICIO CARRANZA ARMENDARIZ, JORGE ANÍBAL TACO**

**ÁLVAREZ** como requerimiento parcial a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**.

Sangolquí, Abril del 2011

---

Ing. Mario Arias Santillán  
**DIRECTOR**

---

Ing. Pablo Gómez  
**CODIRECTOR**

## DEDICATORIA

Este Trabajo es dedicado a la memoria de mis Abuelitos Atilano y Genoveva, quienes me llenaron de consejos y cariño en toda mi vida estudiantil, y se que desde el cielo ellos me guiaran en mi vida profesional por que estoy seguro que ellos están gozando de la gracia de Dios.

A mis padres Ruperto y Magna quienes me dieron la vida y su amor para que viva siempre con educación y respeto hacia ellos y a los demás , a mis hermanos Gissel, Daniel y Valeria quienes siempre han sido mi fuente de inspiración para que vean en su hermano mayor un ejemplo a seguir.

**Jorge**

## AGRADECIMIENTO

Dedico esta tesis a Dios y a mi angelito de la guarda por la vida y la fortaleza necesaria para terminar mis metas.

A mi mamita María Álvarez, quien siempre ha estado a mi lado para apoyarme y darme ejemplo de educación y valor ante las cosas. A mi papito quien desde lejos siempre conté con su apoyo y admiración.

A mi abuelita Guadita que siempre me dio ánimo y cariño para culminar mi carrera.

A mis hermanos Magaly, Estefy y Alejandro por ser quienes me inspiraron en mi vida de estudiante.

**Jorge**

## DEDICATORIA

El presente título de Ingeniero Civil dedico a mi mami Mariana del Consuelo, mi ñaña Ruth, mi ñaño Francklin, mis sobrinos Fernandito, Christian, Gaby, Albarito y Sarita y a mis cuñados Fernando y Ely; por haberme apoyado con sus oraciones, bendiciones y paciencia en todo momento para poder culminar con el objetivo planteado.

Dedico a mi papi (†) Ángel Isaías Carranza Espinoza el título de Tecnólogo en Administración de Proyectos en Construcciones (EPN) y por inculcarme valores, ética y moral para llegar a ser un hombre de bien y principios.

Además dedico ésta investigación a mis amigos y compañeros por el apoyo y consejos que me han sabido entregar cada día, este proyecto está dedicado a la memoria de mi amigo (†) Ricardo Trujillo que siempre estará en mi corazón.

**Tlgo. Fredd Vinicio Carranza Armendariz**

## AGRADECIMIENTO

Doy gracias a mi Dios por haberme dado la fortaleza, sabiduría, bendiciones y perseverancia para culminar con mis estudios universitarios; a toda mi familia que siempre estuvieron y estarán apoyándome en mi vida profesional y llegar a ser un pilar importante en el desarrollo de mi querido Ecuador.

Gracias a la colaboración de todos los profesores de la Facultad de Ingeniería Civil (ESPE) y en forma muy especial a nuestro Director y Codirector el Ing. Mario Arias y al Ing. Pablo Gómez como nuestros guías en el proyecto.

También agradezco a mis profesores de la Escuela Politécnica Nacional los Ingenieros Henry Córdova, Manuel Espinoza, Fausto Zarrade, Mauricio Rojas; por la amistad y ayuda para la culminación de mi tesis.

Gracias a todos por confiar en mí.

**Tlgo. Fredd Vinicio Carranza Armendariz**

## HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

ELABORADO POR

\_\_\_\_\_  
Tlgo. Fredd Vinicio Carranza Armendáriz

\_\_\_\_\_  
Sr. Jorge Aníbal Taco Álvarez

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

\_\_\_\_\_  
Ing. Jorge Zúñiga G.

**SECRETARIO ACADÉMICO**

\_\_\_\_\_  
Dr. Mario Lozada

Lugar y Fecha: \_\_\_\_\_

## INDICE DE CONTENIDOS

### CAPITULO I

#### ASPECTOS GENERALES

	Pag.
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	2
1.2.1 Localización Geográfica	2
1.2.2 Límites de la parroquia	2
1.2 ÁREA DE INFLUENCIA	3
1.3 IMPORTANCIA DEL PROBLEMA A RESOLVER	4
1.4 PREGUNTAS MÁS FRECUENTES	4
1.5 VENTAJAS DEL PROYECTO	8
1.6.1 Ventajas Técnicas del bambú Gigante	8
1.6.2 Ventajas Económicas	8
1.6.3 Ventajas Técnicas y económicas de las membrana	9
1.6.4 Ventajas Técnicas y económicas de los cables	10

### CAPITULO II

#### TENSO-ESTRUCTURA

2.1. DEFINICIÓN	13
2.2. ANTECEDENTES	13

2.3. IMPORTANCIA	15
2.4. FORMA Y MODELO ESTRUCTURAL	15
2.5. CARACTERÍSTICAS AL DESARROLLO SUSTENTABLE	20
2.5.1. Ligereza	20
2.5.2. Síntesis de los elementos	20
2.5.3. Luminosidad	21
2.5.4. Versatilidad y Funcionalidad	22
2.5.5. Sistemas Dinámicos	23
2.6. TIPOS DE SUPERFICIES	24
2.6.1. Simple Curvatura	25
2.6.2. Sinclástica	25
2.6.3. Anticlástica	26
2.6.3.1. Soportada por Mástiles	27
2.6.3.2. Soportada por Arcos	28
2.6.3.3. Apoyada en Puntos	29
2.6.3.4. Tipo Bóveda	30
2.7. COMPONENTES DEL SISTEMA	31
2.8. MEMBRANAS	31
2.9. TIPOS DE MATERIALES	32
2.9.1. Textiles ó Membranas	32
2.9.2. Foils	33
2.10. USO DE LAS CAPAS	34
2.11. FORMAS GEOMÉTRICAS BÁSICAS	35
2.12. ANÁLISIS TÉCNICO	37
2.13. MÉTODOS PARA UNIR MEMBRANAS	38

2.13.1. Sistema Electro Soldado por Radio Frecuencia	38
2.13.2. Termo sellado o Vulcanizado	38
2.13.3. Máquina de Coser	38
2.14. BORDES	39
2.14.1. Flexibles	39
2.14.2. Rígidos	40
2.15. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y SISTEMA CONSTRUCTIVO	41

### **CAPITULO III**

#### **CABLES, ANCLAJES Y ACCESORIOS**

3.1. ANTECEDENTES	44
3.2. INTRODUCCIÓN	44
3.3. CABLES DE ACERO	46
3.3.1. Cable de Acero y sus Elementos	47
3.3.2. Alambres para Cables de acero	48
3.4. TORONES	50
3.5. ALMAS	51
3.5.1. Fibra (Naturales y Sintéticas)	51
3.5.1.1. Alma de Fibras Naturales	51
3.5.1.2. Alma de Fibras Sintéticas	51
3.5.2. Acero (de Torón o Independiente)	52
3.5.2.1. Alma de Acero de Torón	52
3.5.2.2. Alma de Acero Independiente	52
3.5.2.3. Alma de Acero Plastificada	53
3.6. CARACTERÍSTICAS Y VIRTUDES EN CABLES DE ACERO	54

3.7.	NOMENCLATURA BÁSICA DE CABLES CONVENCIONALES	56
3.8.	MEDICIÓN CORRECTA DEL CABLE	56
3.9.	SELECCIÓN DEL TIPO DE CABLE	57
3.9.1.	RESISTENCIA O CARGA DE ROTURA	58
3.9.2.	RESISTENCIA A LAS FLEXIONES Y VIBRACIONES	58
3.9.3.	ABRASIÓN	59
3.9.4.	APLASTAMIENTO	60
3.9.5.	RESISTENCIA DE RESERVA	60
3.9.6.	EXPOSICIÓN A LA CORROSIÓN	61
3.10.	FACTORES DE SEGURIDAD	62
3.11.	ALARGAMIENTO DE UN CABLE DE ACERO	64
3.12.	EJEMPLOS TÍPICOS DE DETERIORACIÓN DE CABLES DE ACERO	66
3.13.	DETALLE PARA LA INSTALACIÓN DE GRAPAS	68
3.14.	TIPOS DE CABLES	68
3.14.1.	CABLES ESPIRALES O CORDONES	69
3.14.2.	CABLES NORMALES	70
3.14.3.	CABLES DE IGUAL PASO	70
3.14.4.	CABLES DE CORDONES TRIANGULARES	71
3.14.5.	CABLES ANTIGIRATORIOS	71
3.15.	CLASIFICACIÓN DE LOS CABLES	73
3.15.1.	CLASIFICACIÓN 6X19	73
3.15.2.	CLASIFICACIÓN 6X37	73
3.15.3.	CLASIFICACIÓN 1X7	74
3.15.4.	CLASIFICACIÓN 18X7	75

3.16. PUÑOS	75
3.17. ANCLAJES	77
3.17.1. DEFINICIÓN	77
3.17.2. TIPOS DE ANCLAJES	78
3.17.3. ACCESORIOS	80
3.17.3.1. Grapas de Acero Inoxidable para Cable	80
3.17.3.2. Terminales de Vacío Cerrados	80
3.17.3.3. Terminales de Vaciado Abiertos	82
3.17.3.4. Guardacabo Abierto	83
3.17.3.5. Guardacabo Sólido	84
3.17.3.6. Ojillos Forjados Cerrados	84
3.17.3.7. Tensores	86
3.17.3.8. Procedimiento de Armado de los Accesorios	89
3.17.3.9. Empalmes de Cables	91
3.18. PLACAS O PLATINAS METÁLICAS	92
3.18.1. DEFINICIÓN	92
3.18.2. CLASIFICACIÓN DEL ACERO	94
3.18.2.1. Aceros al Carbono	94
3.18.2.2. Aceros Aleados	94
3.18.2.3. Aceros de Baja Aleación Ultra Resistentes	94
3.18.2.4. Aceros Inoxidables	95
3.18.2.5. Aceros de Herramientas	96
3.18.3. TIPOS DE PLATINAS	96
3.18.3.1. Fleje de Acero Laminado en Caliente	96
3.18.3.2. Plancha de Acero Laminado en Frío	97

3.18.3.3. Plancha de Acero Galvanizado	98
3.18.4. FORMAS Y UNIONES	99
3.18.4.1. Articulación para columna en construcción compuesta	100
3.18.4.2. Articulación con tuercas ajustables grout de nivelación	101
3.18.4.3. Articulación ideal con pasador	101
3.18.4.4. Articulación para columna conformada por dos perfiles “C” unidos espalda con espalda	102
3.18.4.5. Alternativa de articulación con placa de conexión Doblada	102
3.19. PERNOS	103
3.19.1. DEFINICIÓN	103
3.19.2. PARTES DE UN PERNO O TORNILLO	103
3.19.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS PERNOS	105
3.19.4. CONVENCION PARA LA IDENTIFICACION	107
3.19.4.1. Pernos	107
3.19.4.2. Tuercas	107
3.20. TIPOS DE CABOS	108
3.20.1. DEFINICION	108
3.20.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	109
3.20.2.1. Nylon o Poliamida	109
3.20.2.2. Cabo Retorcido especial (Fortex)	111

## **CAPITULO IV**

### **BAMBÚ GIGANTE**

4.1. INTRODUCCION	112
-------------------	-----

4.2. DATOS TÉCNICOS GENERALES	112
4.3. GENERALIDADES	113
4.3.1. Estructura del Bambú	114
4.3.2. Especies y Plantaciones	117
4.3.3. Condiciones de Siembra	117
4.4. CICLO BIOLÓGICO	117
4.4.1. Crecimiento	117
4.4.2. Aprovechamiento	118
4.4.3. Maduración y Dureza	119
4.5. ETAPAS DE CORTE	119
4.5.1. Corte con la Luna	120
4.5.2. Lugar de corte	120
4.5.3. Criterios para el corte de Tallos Maduros	121
4.6. PRESERVACIÓN	121
4.6.1. Inmunización	122
4.6.2. Forma de curado de Boucherie en el Ecuador	122
4.6.2.1. Por Gravedad	123
4.6.2.2. Modificado por Presión	124
4.7. BENEFICIOS DEL CULTIVO DEL BAMBÚ	124
4.8. USOS DEL BAMBÚ	126
4.9. VENTAJAS AL CONSTRUIR CON BAMBÚ	127

## **CAPITULO V**

### **ENSAYOS DE LOS MATERIALES**

5.1. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL BAMBÚ GIGANTE	128
----------------------------------------------	-----

5.1.1. TRACCIÓN	128
5.1.1.1. Aparatos Utilizados	128
5.1.1.2. Probetas de Prueba	130
5.1.1.3. Procedimiento	132
5.1.1.4. Resultados	134
5.1.1.5. Comparación con la Tesis de Caña Guadua	136
5.1.1.6. Análisis de Resultados	136
5.1.2. COMPRESIÓN	137
5.1.2.1. Aparatos Utilizados	137
5.1.2.2. Probetas de Prueba	138
5.1.2.3. Procedimiento	139
5.1.2.4. Resultados	141
5.1.2.5. Comparación con la Tesis de Caña Guadua	145
5.1.2.6. Análisis de resultados	145
5.1.3. FLEXIÓN	148
5.1.3.1. Alcance	148
5.1.3.2. Objetivo	148
5.1.3.3. Aparatos Utilizados	149
5.1.3.4. Probetas de Prueba	150
5.1.3.5. Procedimiento	150
5.1.3.6. Gráficas y Fórmulas	152
5.1.3.7. Resultados	154
5.1.3.8. Comparación con la Tesis de Caña Guadua	155
5.1.3.9. Análisis de Resultados	156
5.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS CABLES DE ACERO	157

---

5.2.1. Tracción	157
5.2.1.1. Aparatos Utilizados	157
5.2.1.2. Probetas de Prueba	158
5.2.1.3. Procedimiento	160
5.2.1.4. Resultados	161
5.2.1.5. Análisis de Resultados	162
5.3. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CABO DE NYLON	162
5.3.1. Tracción	162
5.3.1.1. Aparatos Utilizados	162
5.3.1.2. Probetas de Prueba	163
5.3.1.3. Procedimiento	164
5.3.1.4. Resultados	166
5.3.1.5. Análisis de Resultados	167
5.4. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CABO FORTEX	167
5.4.1. Tracción	167
5.4.1.1. Aparatos Utilizados	168
5.4.1.2. Probetas de Prueba	169
5.4.1.3. Procedimiento	170
5.4.1.4. Resultados	171
5.4.1.5. Análisis de Resultados	172
5.5. MEMBRANA DE PVC	172
5.5.1. Tracción	172
5.5.1.1. Aparatos Utilizados	172
5.5.1.2. Probetas de Prueba	174

5.5.1.3.	Procedimiento	176
5.5.1.4.	Resultados	178
5.5.1.5.	Análisis de Resultados	179

## CAPITULO VI

### RESULTADOS Y PLANOS

6.1.	OBJETIVO	180
6.2.	DESCRIPCION	180
6.3.	CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO	180
6.3.1.	Códigos y normas aplicables	180
6.3.2.	Métodos de diseño	181
6.3.3.	Requisitos de resistencia	181
6.3.4.	Requisitos de rigidez	181
6.4.	TIPOS DE CARGAS	182
6.4.1.	Carga muerta (d)	182
6.4.2.	Carga viva o sobregarga (l)	183
6.4.3.	Carga de viento (w)	183
6.4.4.	Carga sísmica (e)	185
6.4.4.1.	Cortante basal de diseño (V)	185
6.4.4.2.	Factor de peligrosidad sísmica (Z)	186
6.4.4.3.	Factor de Importancia (I)	186
6.4.4.4.	Factor de reducción de respuesta estructural (R)	187
6.4.4.5.	Coeficiente de configuración estructural en elevación ( $\phi_e$ )	188

188

6.4.4.6. Coeficientes de configuración estructural en planta ( $\phi_p$ )	188
6.4.4.7. Perfiles de suelo, coeficientes (S y Cm)	188
6.4.4.8. Periodo de vibración de la estructura (T)	189
6.5. DISEÑO DE LAS COLUMNAS	189
6.5.1. Columna equilibrante cubierta paraboidal	189
6.5.2. Columna esquinera cubierta paraboidal	191
6.5.3. Columna tipo para la cubierta con la cercha	193
6.6. DISEÑO DE LOS CABLES	195
6.6.1. Conos	195
6.6.1.1. Cable Intermedio	195
6.6.1.2. Cable de Borde	195
6.6.1.3. Cable Perimetral	195
6.6.1.4. Tensor a Tierra	195
6.6.2. Cables de la cubierta de la cercha	196
6.6.2.1. Tensor a Tierra	196
6.7. CONCLUSIONES	196
6.8. RECOMENDACIONES	197
6.8.1. Optimización del Material	199
6.9. BIBLIOGRAFIA	200

## INDICE DE TABLAS

### CAPITULO I

#### ASPECTOS GENERALES

Tabla 1.1 Precios referenciales del cable de acero

### CAPITULO III

#### CABLES, ANCLAJES Y ACCESORIOS

Tabla 3.1 Resistencia Nominal a Tracción del Cable de Acero

Tabla 3.2 Resistencia de Reserva de Cables de Acero

Tabla 3.3 Factores de Seguridad de Cables de Acero

Tabla 3.4 Alargamientos de Cables de Acero

Tabla 3.5 Módulos de Elasticidad de Cables de Acero

Tabla 3.6 Detalle de instalación de grilletes o grapas

Tabla 3.7 Designación para pernos

Tabla 3.8 Convención para tuercas y pernos

### CAPITULO V

#### DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Tabla 5.1 Esfuerzos Admisibles Promedios

Tabla 5.2 Módulos de Elasticidad Promedios (20% al 80%)

Tabla 5.3 Esfuerzos Admisibles a Compresión Promedios

Tabla 5.4 Módulos de Elasticidad Promedios (20% al 80%)

Tabla 5.5 Esfuerzo Admisible Promedio

Tabla 5.6 Módulo de Elasticidad Promedio

Tabla 5.7 Esfuerzos Admisibles a Tracción del Acero

Tabla 5.8 Esfuerzo a Tracción de cabo Nylon

Tabla 5.9 Esfuerzos a Tracción del cabo Fortex

Tabla 5.10 Esfuerzos a tracción de membranas

Tabla 5.11 Esfuerzos a desgarre de membranas

## **CAPITULO VI**

### **RESULTADOS Y PLANOS**

Tabla 6.1 Factores para el cálculo de la fuerza del viento

Tabla 6.2 Velocidad vs Presión

Tabla 6.3 Tipo de uso

Tabla 6.4 Presión en barlovento y Sotavento

## **INDICE DE CUADROS**

### **CAPITULO I**

#### **ASPECTOS GENERALES**

Cuadro 1.1 Tensores y Accesorios

### **CAPITULO III**

#### **CABLES, ANCLAJES Y ACCESORIOS**

Cuadro 3.1 Características del Polipropileno

Cuadro 3.2 Características del Acero

Cuadro 3.3 Características del Sisal/Manila

Cuadro 3.4 Cargas de Ruptura según el diámetro

Cuadro 3.5 Cargas de Ruptura según el diámetro

Cuadro 3.7 Accesorios en función del diámetro del cable

Cuadro 3.8 Dimensiones y calidades de las pletinas

### **CAPITULO V**

#### **BAMBÚ GIGANTE**

Cuadro 5.1 Esfuerzo-Deformación unitaria (Probeta 1C sin nudo)

Cuadro 5.2 Esfuerzo-Deformación unitaria (Probeta 1E sin nudo)

Cuadro 5.3 Esfuerzo-Deformación unitaria (Probeta 2E con nudo)

Cuadro 5.4 Esfuerzos Admisibles Promedios

Cuadro 5.5 Esfuerzo-Deformación unitaria (Probeta 2 nudo-hueco)

Cuadro 5.6 Esfuerzo-Deformación unitaria (Probeta 3 hueco-nudo-hueco)

Cuadro 5.7 Esfuerzo-Deformación unitaria (Probeta 5 hueco-nudo-hueco)

Cuadro 5.8 Esfuerzo-Deformación unitaria (Probeta 6 hueco-hueco)

Cuadro 5.9 Esfuerzos Admisibles a Compresión Promedios

Cuadro 5.10 Módulos de Elasticidad a Compresión Promedios (20% al 80%)

Cuadro 5.11 Esfuerzos Admisibles a Flexión Promedios

Cuadro 5.12 Módulos de Elasticidad a Flexión Promedios (20% al 80%)

## **CAPITULO VI**

### **RESULTADOS Y PLANOS**

Cuadro 6.1 Presión vs Velocidad del viento

Cuadro 6.2 Tipo de uso, destino e Importancia

Cuadro 6.3 Factor de reducción de respuesta estructural

Cuadro 6.4 Coeficientes de suelo S y Cm

## INDICE DE FIGURAS

### CAPITULO I

#### ASPECTOS GENERALES

Figura 1.1 Ubicación del Mercado Central de Píntag

Figura 1.2 Ubicación geográfica de la Parroquia de Píntag

Figura 1.3 Fabricación del cable de acero

### CAPITULO II

#### TENSO-ESTRUCTURAS

Figura 2.1 Sistema de dos hilos

Figura 2.2 Principio para diseño de cubierta

Figura 2.3 Superficie Trensada

Figura 2.4 Tejido de doble curvatura negativa

Figura 2.5 Ligereza de la Tenso Estructura

Figura 2.6 Flexibilidad en la Construcción

Figura 2.7 Luminosidad de la Tenso Estructura

Figura 2.8 Versatilidad y Funcionalidad de la Tenso Estructura

Figura 2.9 Flexibilidad de las Tenso Estructuras

Figura 2.10 Superficies de Simple Curvatura

Figura 2.11 Superficies de Doble Curvatura Positiva

Figura 2.12 Superficies de Doble Curvatura Positiva

Figura 2.13 Superficies de Doble Curvatura Negativa

Figura 2.14 Superficie Gaussiana de Doble Curvatura Negativa

Figura 2.15 Estructura Soportada por Mástiles

Figura 2.16 Estructura Soportada por Arcos

Figura 2.17 Estructura Soportada por Arcos Transversales

Figura 2.18 Estructura Soportada en Puntos

Figura 2.19 Estructura Tipo Bóveda

Figura 2.20 Composición de la Membrana PVC

Figura 2.21 Cubierta de Policarbonato

Figura 2.22 Estructura tipo Paraboloide Hiperbólico

Figura 2.23 Estructura tipo Conoide

Figura 2.24 Estructura tipo Arco

Figura 2.25 Arco Central Sostenido

Figura 2.26 Equilibrio estático de la membrana

Figura 2.27 Estructura con Bordes Flexibles

Figura 2.28 Borde Rígido en Punta

Figura 2.29 Borde Rígido Desplazado

## **CAPITULO III**

### **CABLES, ANCLAJES Y ACCESORIOS**

Figura 3.1 Fabricación del cable de acero

Figura 3.2 Elementos del cable de acero

Figura 3.3 Configuración de los Cables de Acero

Figura 3.4 Nomenclatura Normalizada de los Cables de Acero

Figura 3.5 Medición del cable de acero

Figura 3.6 Rotura por carga a tracción

Figura 3.7 Fatiga de probeta de Acero

Figura 3.8 Abrasión de probeta de Acero

Figura 3.9 Modelo de Cable de Acero (alma de yute)

Figura 3.10 Cables de Acero 6x19 con alma (fibra o acero)

Figura 3.11 Cables de Acero 6x37 con alma (fibra o acero)

Figura 3.12 Torón 1x7

Figura 3.13 Cables de Acero 18x7 con alma de fibra

Figura 3.14 Configuración del Anclaje (puño + tensor)

Figura 3.15 Puño de acero (rígido) y anclaje (móvil)

Figura 3.16 Puño de acero (rígido) y anclaje (móvil) empotrado

Figura 3.17 Anclaje de acero en pantalla de hormigón

Figura 3.18 Anclaje de acero para estructuras tensadas

Figura 3.19 Anclaje de acero con columna

Figura 3.20 Grillete o Grapa de acero

Figura 3.21 Terminal cerrado

Figura 3.22 Terminal abierto y tabla de Carga

Figura 3.23 Guardacabo Abierto

Figura 3.24 Guardacabo Cerrado

Figura 3.25 Ojillos Cerrados

Figura 3.26 Gancho-Gancho y Gancho-Ojo

Figura 3.27 Ojo-Ojo y Quijada-Ojo

Figura 3.28 Quijada-Quijada

Figura 3.29 Colocación de una grapa y guardacabo

Figura 3.30 Colocación de dos grapas y guardacabo

Figura 3.31 Colocación de tres grapas o más y guardacabo

Figura 3.32 Utilización de polea en amarre

Figura 3.33 Empalme entre cables con guardacabos

Figura 3.34 Empalme intercalado con grapas

Figura 3.35 Articulación para columna cuadrada

Figura 3.36 Articulación para columna rectangular

Figura 3.37 Articulación para columna compuesta

Figura 3.38 Articulación con tuercas de nivelación

Figura 3.39 Articulación con pasador

Figura 3.40 Articulación para 2 perfiles “c”

Figura 3.41 Articulación con placa de conexión doblada

Figura 3.42 Descripción del Perno o Tornillo

Figura 3.43 Cabo Retorcido de Nylon

Figura 3.44 Cabo Retorcido Especial (Fortex)

## **CAPITULO IV**

### **BAMBÚ GIGANTE**

Figura 4.1 Plantación de Bambú Gigante en el Ecuador

Figura 4.2 Estructura del Bambú Gigante

Figura 4.3 Forma del Culmo

Figura 4.4 Dimensiones del Bambú Gigante

Figura 4.5 Nacimiento de un nuevo Bambú

Figura 4.6 Bambú Gigante Maduro

Figura 4.7 Curado tipo Boucherie

Figura 4.8 Método Boucherie por gravedad

Figura 4.9 Método Boucherie Modificado (Por Presión)

Figura 4.10 Cultivo de Bambú Gigante en el Ecuador

## **CAPITULO V**

### **ENSAYOS DE LOS MATERIALES**

Figura 5.1 Máquina universal para ensayo de tracción, Escuela Politécnica del Ejército, Laboratorio de Resistencia de Materiales

Figura 5.2 Deformímetro colocado en la probeta

Figura 5.3 Máquina de medición de la deformación unitaria

Figura 5.4 Probetas para tracción en mm

Figura 5.5 Probetas para tracción (sin nudo)

Figura 5.6 Probetas para tracción (con nudo en el medio)

Figura 5.7 Máquina de compresión universal y probeta de Bambú, Escuela Politécnica del Ejército, Laboratorio de Resistencia de Materiales

Figura 5.8 Cilindros de compresión (hueco-nudo-hueco)

Figura 5.9 Cilindro de compresión con Deformímetro (hueco-hueco)

Figura 5.10 Cilindro de compresión colapsado (hueco-nudo-hueco)

Figura 5.11 Cilindros de compresión (hueco-nudo-hueco)

Figura 5.12 Cilindro de compresión (nudo-nudo)

Figura 5.13 Cilindro de compresión (nudo-nudo)

Figura 5.14 Máquina de Carga para el ensayo de flexión, Escuela Politécnica del Ejército, Laboratorio de Resistencia de Materiales

Figura 5.15 Dispositivos de madera para los apoyos

Figura 5.16 Apoyos de madera con dimensiones variables

Figura 5.17 Viga de repartición de carga (dos puntos)

Figura 5.18 Modelo matemático del ensayo a flexión

Figura 5.19 Máquina para ensayo de tracción 10Tn, Escuela Politécnica del Ejército, Laboratorio de Resistencia de Materiales

Figura 5.20 Máquina para ensayo de tracción 25-50 Tn, Escuela Politécnica del Ejército, Laboratorio de Resistencia de Materiales

Figura 5.21 Probetas para ensayo a tracción

Figura 5.22 Probetas para ensayo a tracción

Figura 5.23 Lectura de esfuerzos en maquina universal

Figura 5.24 Máquina universal para ensayo de tracción, Escuela Politécnica del Ejército, Laboratorio de Resistencia de Materiales

Figura 5.25 Probetas de ensayo a tracción

Figura 5.26 Lectura de esfuerzos en maquina universal

Figura 5.27 Máquina universal para ensayo de tracción, Escuela Politécnica del Ejército, Laboratorio de Resistencia de Materiales

Figura 5.28 Probetas para tracción

Figura 5.29 Lectura de esfuerzos en maquina universal

Figura 5.30 Máquina de tracción horizontal, capacidad 200Kg

Figura 5.31 Máquina de tracción vertical, capacidad 500 Kg

Figura 5.32 Probeta ensayos de tracción (fibra transversal y longitudinal)

Figura 5.33 Probeta ensayos de desgarre (fibra transversal y longitudinal)

Figura 5.34 Colocación de membrana PVC en mordazas

Figura 5.35 Lectura de esfuerzos

Figura 5.36 Tracción membrana, fibras longitudinales y transversales

Figura 5.37 Desgarre membrana, fibras longitudinales y transversales

## **CAPITULO VI**

### **RESULTADOS Y PLANOS**

Figura 6.1 Diseño Elástico

Figura 6.2 Columna Tipo de Conos

Figura 6.3 Columna Tipo de Esquinas de Conos

Figura 6.4 Columna Tipo para la Cercha

## **Capítulo 1: ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 ANTECEDENTES**

En los últimos años, la tecnología de membranas para la fabricación de cubiertas de grandes luces ha recibido una acogida tal que la convertirá en la solución más óptima para los grandes espacios que la actividad humana requiere a diario.

Aunque su uso data de hace mucho tiempo, las estructuras tensionadas son eminentemente modernas y su construcción requiere de materiales sofisticados, como es el caso de las membranas sintéticas, cables y perfiles de alta resistencia.

Uno de los proyectos principales que se encuentra en implementación por la Junta Parroquial de Píntag es la remodelación del mercado de la parroquia, básicamente en lo que se refiere a la cubierta de los diferentes puestos de venta que actualmente se desarrollan a la intemperie, así como la readecuación y mejoramiento del espacio físico del mismo.

Además el gobierno seccional autónomo de la parroquia de Píntag en coordinación con los representantes de quienes conforman el grupo de vendedores del mercado, desean que la implementación además tenga un atractivo visual, que sea motivo de turístico, que atraiga a la gente de fuera de la parroquia, logrando un mayor crecimiento en la venta de toda la variedad de insumos que estos poseen.

## 1.2 DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 1.2.1 Localización Geográfica

Píntag es una parroquia suburbana que pertenece al Cantón Quito Provincia de Pichincha. Se localiza al sur oriente de la zona del Valle de los Chillos, a una distancia de 35 kilómetros del Distrito Metropolitano de Quito.



**Fig. 1.1** Ubicación del Mercado Central de Píntag

### 1.5.2 Límites de la Parroquia

Píntag limita al norte con las parroquias de La Merced, Alangasí y Pifo; al sur colinda con el Cantón Mejía, mientras que al Este está la Provincia del Napo y por el Oeste los cantones de Mejía y Rumiñahui.

El mercado, lugar del proyecto se encuentra en San Jerónimo de Píntag, que es la cabecera parroquial a 2815 m.s.n.m.



Fig. 1.2 Ubicación geográfica de la Parroquia de Píntag

### 1.6 AREA DE INFLUENCIA

Según datos investigados en las oficinas del *Gobierno Seccional de Píntag*, esta parroquia cuenta con un total de 40 barrios y una comuna distribuidos a lo largo y ancho de su territorio, la mayoría de estos barrios son pequeños y se encuentran alejados de la cabecera parroquial a un promedio de 20 minutos en transporte.

De la población total de la parroquia (15000 habitantes aprox.), se estima que un 15% acude semanalmente tanto a comercializar productos, como también a realizar sus compras en dicho establecimiento.

## **1.7 IMPORTANCIA DEL PROBLEMA A RESOLVER**

Actualmente la demanda de estructuras tensionadas tiene un creciente aumento, ya que son relativamente nuevos para el mundo de la ingeniería, además existe un reducido conocimiento científico acerca de las mismas.

La localidad de Píntag, según Pérez G. (2007) cuenta un crecimiento poblacional del 2,1% anual, por lo que moradores como autoridades de la parroquia han visto la necesidad de mejorar el espacio físico del mercado central de la parroquia con relación a la cubierta del mismo, debido a la gran concurrencia que presenta, ya que la parroquia de Píntag es reconocida por la venta de carne de animales y productos agrícolas debido a que posee un área de 48.990,167 hectáreas, de las cuales 6.760,234 hectáreas, que representa el 13.80% son cultivadas y aprovechadas por los mismos habitantes de la zona en la venta que se realiza en la feria de los miércoles y sábados. Adicionalmente este tipo de cubiertas se las puede usar como cubiertas de estacionamientos de vehículos y transporte público que ocupan las calles principales luego de su trabajo diario.

## **1.8 PREGUNTAS MAS FRECUENTES**

### **1- ¿Las membranas de que material son?**

Normalmente la tela está compuesta por: un tejido central de poliéster de alta tenacidad con dos capas de cobertura de PVC y un acabado superficial a manera de laca, que las protege de los agentes externos. Para telas de mayor durabilidad existen un tejido en fibra de vidrio y la cobertura se realiza con teflón que es más resistente y es auto limpiante. La estructura principal pueden

ser de: acero al carbono, acero inoxidable, madera, aluminio, hormigón armado, etc.

## **2- ¿Las membranas se deterioran con los agentes externos?**

El tipo de material y los acabados superficiales que la recubren a manera de lacas, impiden el envejecimiento del PVC, protegen de la humedad y repelen las partículas de polvo y el efecto de los rayos ultravioletas, dando garantías que pueden superar los 10 años.

## **3- ¿Cuál es la durabilidad de una membrana?**

Entre 8 y 35 años, dependiendo básicamente del tipo de material, de los agentes externos como: nieve, vientos lluvia, y finalmente de la ingeniería de desarrollo y de su confección.

## **4- ¿Cómo se logra la rigidez de una membrana?**

Esencialmente a partir de dos elementos: la doble curvatura, sumada a la pretensión aplicada.

## **5- ¿Pueden utilizarse las membranas como cubiertas de edificios permanentes?**

Si, es necesario la utilización de materiales que acompañen la duración del edificio como es el caso del PTFE (fibra de vidrio con teflón) que tiene una durabilidad de más de 35 años; a ello debemos agregar una ingeniería de desarrollo acorde al mantenimiento.

#### **6- ¿Es posible utilizar membranas temporalmente?**

Si, ya que en función de las necesidades, las cubiertas se podrán diseñar para dar la posibilidad de desmontarse o plegarse (manual o mecánicamente) en muy poco espacio, para volverse a montar tantas veces como se necesite. Esta opción convierte a las cubiertas tensadas en la tecnología ideal para esos usos.

#### **7- ¿Se puede iluminar un espacio a través de la membrana?**

Por supuesto, ya que la transmisión de luz varía entre un 5% y un 20% de acuerdo al tipo de material; además existen materiales como es el caso del ETFE que son totalmente transparentes.

#### **8- ¿Existen membranas opacas?**

Si, al igual que en las cortinas existen telas black out, que tienen una película interna incorporada que impide el paso de la luz.

#### **9- ¿Cómo se controla la aislación térmica y acústica?**

De la misma forma que en el caso del vidrio la aislación no se realiza por masa sino por disposición, por ejemplo sucesivas capas que pueden acondicionarse para controlar la cámara intermedia y así modificar el coeficiente de aislación general de la membrana.

#### **10- ¿Las membranas son inflamables?**

No, las telas son ininflamables, eso significa que no toman llama ni la propagan, eso elimina la posibilidad de que caigan gotas o pedazos de una membrana en llamas sobre las personas que ocupan el espacio, como ventaja frente a un incendio, una vez desencadenado el mismo se producen perforaciones, que generan el efecto chimenea permitiendo la evacuación de gases evitando los problemas de asfixia a las personas que se encuentran en el interior

### **11- ¿Qué mantenimiento requieren las membranas?**

El tipo de material es fundamental ya que en los casos de membranas de PVC es importante realizar limpiezas periódicas para evitar que las partículas de suciedad deterioren las lacas de protección, mientras que en el caso de las de PTFE son auto-limpiantes.

### **12- ¿El montaje de las membranas es muy complejo?**

No, para eso es necesario que se realicen las previsiones tanto en el diseño como a nivel logístico. Los tiempos de montaje se reducen considerablemente ya que la mayor parte del proceso se realiza en la manufactura y desarrollo.

### **13- ¿Cuál es el precio por m<sup>2</sup> de una membrana?**

No hay forma de especificar un valor definido ya que cada proyecto difiere en los materiales, la disposición, la estructura, etc.; sin embargo podemos decir que una membrana entre 50 y 300 m<sup>2</sup> oscila entre 500 a 700 \$/m<sup>2</sup>. Vale

aclarar que en proyectos que requieren un desarrollo estructural muy importante esos valores se incrementan.

## **1.9 VENTAJAS EN EL PROYECTO**

Luego de la descripción, se realiza un conjunto de valoraciones que evidencian las ventajas que brindan las tenso-estructuras para nuestro medio con lo cual aportar con alternativas de construcción en base a su diseño.

### **1.6.1 Ventajas Técnicas del bambú Gigante**

Se han hecho muchos estudios para establecer las propiedades físico-mecánicas del bambú guadua, que confirma que la fuerza a tracción es comparable al acero de construcción. Tiene una equivalencia entre peso y resistencia, mejor que la mayoría de materiales convencionales modernos como el Titanio o el Aluminio.

### **1.6.2 Ventajas Económicas**

- El bambú no recibe ninguna transformación industrial.
- Es fácil de montar.
- Tiene una relación peso-volumen óptima para el transporte.
- Por todo ello, si lo comparamos con otras maderas preciadas, el bambú resulta mucho más económico que otros materiales.

### 1.6.3 Ventajas Técnicas y económicas de las membranas

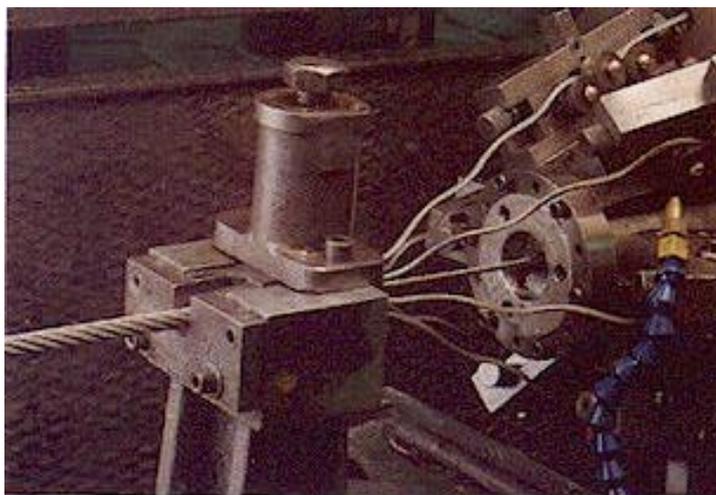
- El sistema de membranas se usa como la estructura completa de un edificio, como techo o a manera de toldo para proteger del sol y dar un realce arquitectónico a la obra; además permite un impacto estético monumental, sobre todo en cierto tipo de construcciones artísticas, especialmente en cubiertas para eventos, exposiciones, patios, restaurantes y demás.
- Evocan la libertad de una carpa de circo y ofrecen la flexibilidad estructural de crear formas que ningún otro material haría posible. Además ofrecen la experiencia particular de la luz difusa del sol en su interior y una acústica y sensación espacial únicas.
- Con una estructura ligera compuesta por una membrana textil tensada vinculada a una estructura de anclaje, generalmente por medio de cables, este sistema resuelve los aspectos funcionales, estructurales y estéticos concentrando estructura y cerramiento en los mismos elementos y permitiendo el desarrollo de soluciones creativas para resolver espacios de cualidades no convencionales, otorgando identidad y prestigio a los proyectos.
- El proceso de diseño de los sistemas de membranas difiere sustancialmente de los convencionales: el análisis estructural debe estar completamente integrado al diseño arquitectónico-formal y mediante la generación de formas, se establece la forma natural de equilibrio.

- Posteriormente se calculan los valores de pretensado, que deben ser suficientes para mantener todas las partes de la membrana en tensión bajo cualquier estado de cargas; para mayor estabilidad, la tela de una tenso-estructura debe curvarse en la misma medida en direcciones opuestas, lo que matemáticamente se conoce como parábolas hiperbólicas, además las fibras del tejido se orientan paralelamente a estas curvas, de manera de balancear las tensiones y obtener una superficie a la vez tersa y elástica.
- Los tejidos arquitectónicos pueden emplearse como estructuras autoportantes, que se mantienen en pie mediante un sistema de inflado que mantiene una presión de aire positiva para generar la integridad estructural o mediante el uso de cables y tensores que se anclan a una estructura metálica.

#### **1.6.4 Ventajas Técnicas y económicas de los tensores (cables)**

- El uso del cable de acero es múltiple, ya que se puede encontrar trabajando como una piola de freno en diversos medios de transporte (bicicletas, automóviles, etc.), soportando el peso de personas en un ascensor o funicular, en des para pesca industrial y también se puede hallar trabajando en la maquinaria pesada de la minería, por lo que es importante saber que características debe cumplir el cable para cada trabajo al cual será sometido.

- Es importante saber cuál es el factor de seguridad para cada caso, sobre todo donde se ve involucrada la integridad física de personas.
- El Cable de Acero es una máquina simple, que está compuesto de un conjunto de elementos que transmiten fuerzas, movimientos y energía entre dos puntos, de una manera predeterminada para lograr un fin deseado.



**Fig. 1.3** Fabricación del cable de acero

- Se caracterizan por estar compuestos por los siguientes elementos:
  - *Alambre*: Es el componente básico del cable de acero, el cual es fabricado en diversas calidades, según el uso al que se destine el cable final.
  - *Torón*: Está formado por un número de alambres de acuerdo a su construcción, que son enrollados helicoidalmente alrededor de un centro, en una o varias capas.
  - *Alma*: Es el eje central del cable donde se enrollan los torones. Esta alma puede ser de acero, fibras naturales o de polipropileno.

- **Cable:** Es el producto final que está formado por varios torones, que son enrollados helicoidalmente alrededor de un alma.

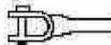
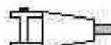
Los precios varían en función del diámetro y los materiales:

**Tabla 1.1** Precios referenciales del Cable de Acero

Diámetro	Unidad (ml)	Descripción	Precio Unitario(\$)
1/4"	ml	Cable Acero Alma de Acero Galvanizado 6x19	1.31
5/16"	ml	Cable Acero Alma de Acero Negro 6x19	2.28
3/8"	ml	Cable Acero Alma de Acero Negro 6x19	3.03
1/2"	ml	Cable Acero Alma de Acero Negro 6x19	3.38
9/16"	ml	Cable Acero Alma de Acero Negro 6x19	5.74
5/8"	ml	Cable Acero Alma de Acero Negro 6x19	5.76
3/4"	ml	Cable Acero Alma de Acero Negro 6x19	6.55

Existen variedades de tensores y accesorios, los mismos que están en función de las necesidades del proyecto; a continuación se detalla algunos de los más usados:

**Cuadro 1.1** Tensores y Accesorios

<p>Tipo abierto</p>  <p>Terminal forjado</p> <p>100 %</p>	<p>Tipo cerrado</p>  <p>Terminal en cuña (Depende del diseño) 75-90%</p>																
 <p>Terminal cónico con Zinc colado</p> <p>100%</p>	 <p>Goza forrada a mano</p>																
 <p>Grapas (El número varía con el diámetro) 75-80%</p>	 <p>Goza flamenca con manguito mecánico</p> <p>Diámetro de 25 mm (1<sup>M</sup>) y menor 95%</p> <p>Diámetro de 28 mm (1.1/8<sup>M</sup>) 92,5%</p>																
<p>Guardacabos con gaza forrada a mano</p> <table border="0"> <tr> <td>6 mm (1/4<sup>M</sup>)</td> <td>90%</td> <td>12 mm (1/2<sup>M</sup>)</td> <td>86%</td> </tr> <tr> <td>7 mm (5/16<sup>M</sup>)</td> <td>89%</td> <td>15 mm (5/8<sup>M</sup>)</td> <td>84%</td> </tr> <tr> <td>9 mm (3/8<sup>M</sup>)</td> <td>86%</td> <td>19 mm (3/4<sup>M</sup>)</td> <td>82%</td> </tr> <tr> <td>11 mm (7/16<sup>M</sup>)</td> <td>87%</td> <td>22 mm (7/8<sup>M</sup>)</td> <td>80%</td> </tr> </table>	6 mm (1/4 <sup>M</sup> )	90%	12 mm (1/2 <sup>M</sup> )	86%	7 mm (5/16 <sup>M</sup> )	89%	15 mm (5/8 <sup>M</sup> )	84%	9 mm (3/8 <sup>M</sup> )	86%	19 mm (3/4 <sup>M</sup> )	82%	11 mm (7/16 <sup>M</sup> )	87%	22 mm (7/8 <sup>M</sup> )	80%	 <p>Terminal con guardacabos y manguito a presión</p> <p>Diámetro de 25 mm (1<sup>M</sup>) y menor 95%</p> <p>Diámetro de 28 mm (1.1/8<sup>M</sup>) y mayor 92,5%</p>
6 mm (1/4 <sup>M</sup> )	90%	12 mm (1/2 <sup>M</sup> )	86%														
7 mm (5/16 <sup>M</sup> )	89%	15 mm (5/8 <sup>M</sup> )	84%														
9 mm (3/8 <sup>M</sup> )	86%	19 mm (3/4 <sup>M</sup> )	82%														
11 mm (7/16 <sup>M</sup> )	87%	22 mm (7/8 <sup>M</sup> )	80%														

## Capítulo 2: TENSO-ESTRUCTURAS

### 2.16. DEFINICIÓN

Estructura ligera compuesta por una membrana textil PVC pretensada vinculada a una estructura de anclajes tubulares metálicos, madera, etc; generalmente por medio de cables de acero, yute, nylon, etc; permitiendo desarrollar soluciones creativas para resolver cobertura de espacios con cualidades no convencionales.

Son aquellas estructuras en las que cada parte componente de la misma está soportando únicamente cargas de tensión y no hay requerimientos para resistir fuerzas de compresión o flexión.

### 2.17. ANTECEDENTES

Las estructuras tensionadas incluyen amplia variedad de sistemas, que son conocidos por apoyo en elementos atirantados para soportar las cargas de servicio. Han sido empleadas a lo largo de la historia como puentes atirantados y lonas. No obstante las estructuras tensionadas fueron aplicadas a puentes en el siglo XIX y solo en el siglo XX se aplicaron a edificios. El diseño de amplias membranas tensadas depende, en gran medida de la ayuda de sistemas computacionales, el mismo que desarrolló y ha obtenido este tema especialmente a partir del trabajo de Frei Otto que tuvo éxito utilizando modelos a escala. Esos modelos representaron la forma deseada de las membranas, pero no condujeron al conocimiento del comportamiento estructural de las

láminas, información necesaria para grandes estructuras de membranas compuestas. Muchas estructuras desplegables fueron empleadas para cubrir lugares públicos, estas estructuras son construidas con lona, sogas y madera. El principal problema que se introdujo después, fue la resistencia al fuego de las membranas y los elementos estructurales. El cual fue resuelto con la aparición de la fibra de vidrio plastificada con teflón (PTFE).

Inicialmente la economía estructural, fue la característica que condujo al empleo de las estructuras tensionadas. El primer arquitecto norteamericano que desarrolló una tenso-estructura permanente fue John Shaver. Independientemente de esto, las tenso-estructuras son, como la mayoría de estructuras espaciales, por su naturaleza única muy expresivas, creando arquitectura moderna y original.

El desarrollo de modernas estructuras tensadas comenzaron a emplearse en la segunda mitad del siglo XX, el aporte de Frei Otto en Alemania y los medios de comunicación de esta rama, potenciaron la amplia disseminación de estas estructuras por el mundo. También un papel fundamental en el interés despertado por las estructuras tensionadas, jugaron las exposiciones mundiales, en especial, Osaka´70, en Japón donde se empleó la forma de tienda en módulos repetidos, que aunque eran modernos se remitían a las estructuras empleadas por nómadas. El arquitecto canadiense Eberhard Zeidler diseñó dos monumentales estructuras tensionadas para la edición Vancouver´86, que hoy se emplean como palacio de convenciones, y pabellón de uso variado.

La capacidad de cubrir grandes luces sin apoyos intermedios, creó una gran oportunidad para el empleo de las estructuras tensadas. Entre los empleos más exitosos de las membranas estructurales se incluye, la construcción de cubiertas en forma de domos para estadios en Norteamérica. A partir de los 1980 las tenso-estructuras fueron las más empleadas para las instalaciones deportivas, entre los materiales ligeros.

Precisamente esta característica de estructura "mínima" es la que si se aprovecha adecuadamente puede resolver muchos problemas de cubierta en lugares públicos en Ecuador. El tiempo necesario para la construcción de estas estructuras es sorprendentemente corto, pues después de prefabricar la membrana es cuestión de trabajo ligero para realizar la cimentación, erección de estructuras metálicas, y propiamente el montaje de la membrana.

### **2.18. IMPORTANCIA**

La Arquitectura Textil permite desarrollar soluciones creativas para resolver espacios de cualidades no convencionales. La identidad formal que ofrece debe también estar considerada al comprender la Imagen distintiva que esta tecnología aporta.

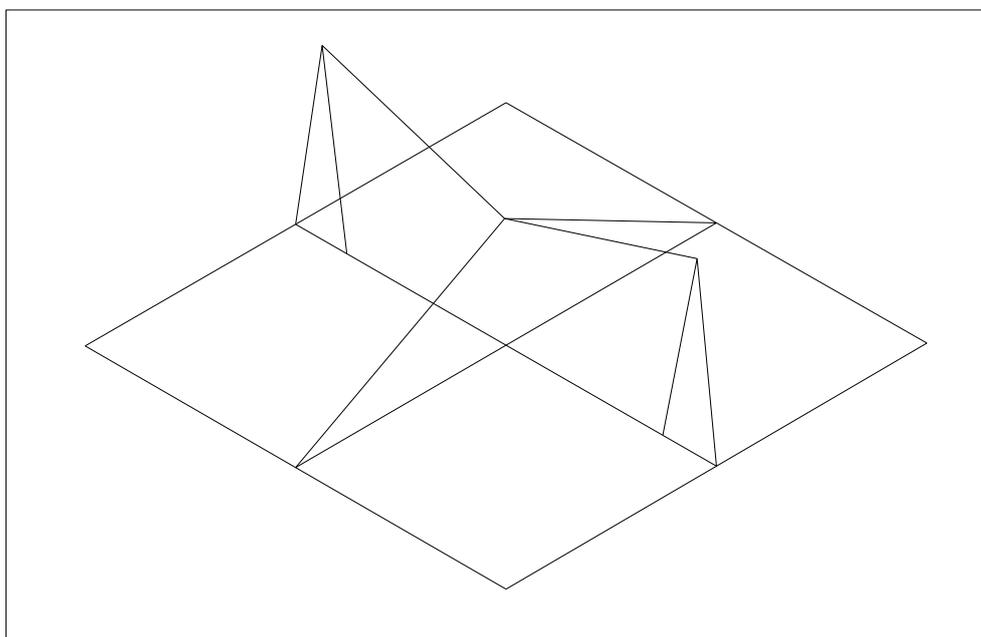
### **2.19. FORMA Y MODELO ESTRUCTURAL**

Las estructuras flexibles, tales como: las mallas de cables, los tensigríd y las membranas (estructuras de tensión) son conocidas por la simplicidad de sus elementos, así como por su fácil ensamblaje, mínimo consumo de materiales, mínimo desperdicio y eficiencia energética. Estos aspectos les

permiten sobrepasar a cualquier otro sistema estructural en términos de ligereza y capacidad para cubrir grandes luces. Las formas atractivas, vistas sin obstáculos, interiores iluminados constituyen a las estructuras a tensión generalmente manifestaciones arquitectónicas que invaden al público con una sensación de maravilla.

Debido a sus características físicas y para analizar su comportamiento, es posible esquematizar el material de membrana como una malla de hilos. Se inicia el análisis planteando la voluntad de rigidizar un hilo tendido entre dos soportes.

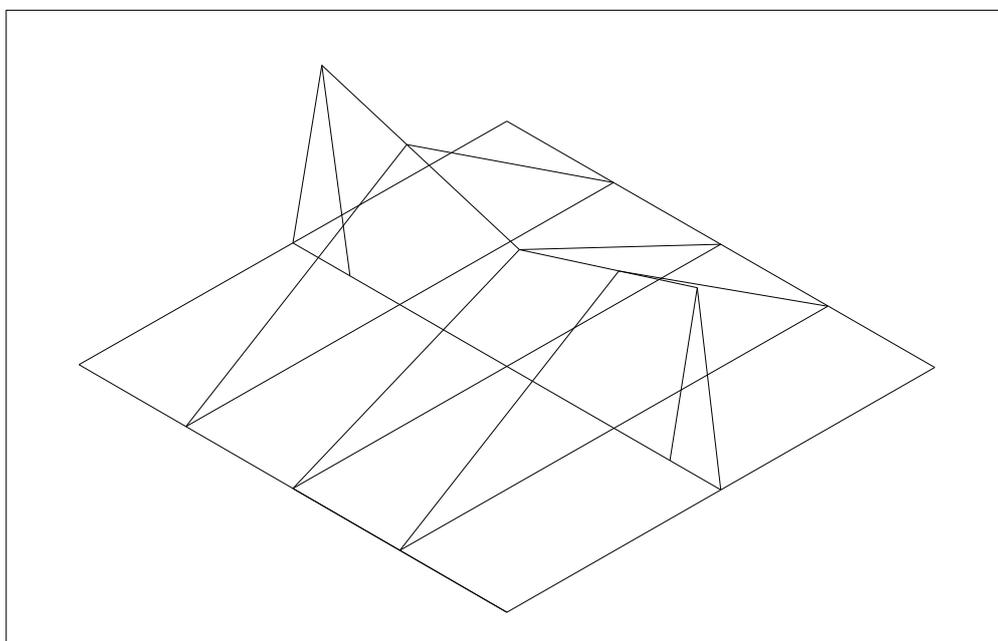
En la figura 2.1 se muestra cómo se constituye un sistema de dos hilos: atravesando un hilo sobre el que se pretende estabilizar, con curvatura inversa y anclándolo.



**Fig. 2.1** Sistema de dos hilos

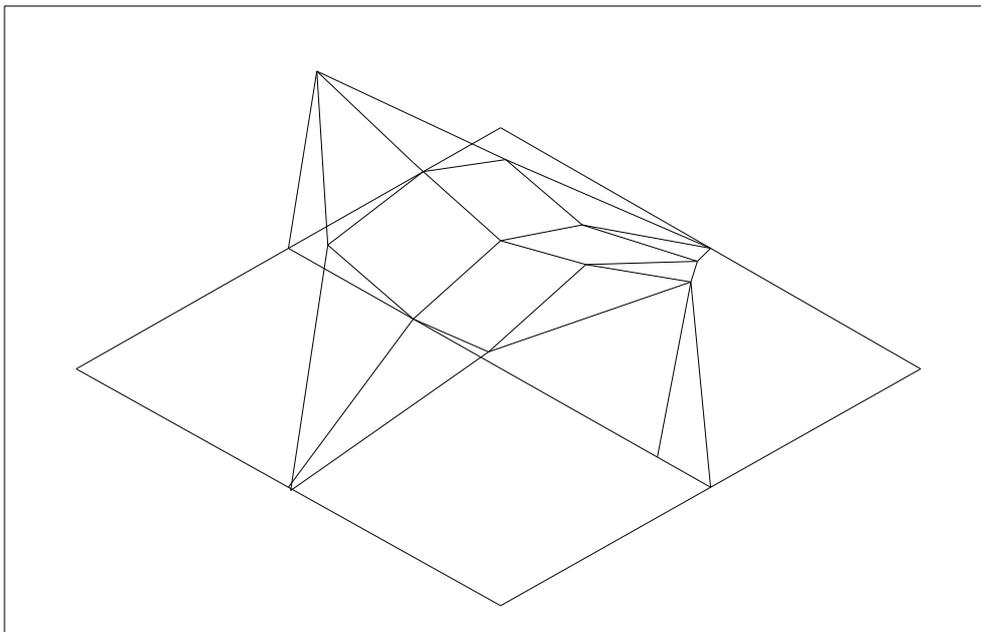
Se considera que ambos están contenidos en planos verticales y perpendiculares entre sí. Esta disposición permite estabilizar el punto de intersección de ambos hilos. Es la más sensible de todas las soluciones estabilizadoras.

Si ahora se considera que a partir de estos dos hilos se diseñará una estructura de cubierta de cables, deberán agregarse, en principio, dos cables estabilizadores más, figura 2.2, todos a  $90^\circ$  con respecto al primero, paralelos al segundo y contenidos, todos, en planos verticales.



**Fig. 2.2** Principio para diseño de cubierta

Agregando hilos según la primera dirección, figura 2.3, anclados en los que se tendieron en segundo término, figura 2.2, y unificando el anclaje de los segundos, se obtendrá una superficie “trensada”, en la que en cada punto de la misma se cruzan dos cables de curvatura opuesta, una hacia arriba y la otra hacia abajo. Ambos cables ejercen presión, cada uno sobre el otro.



**Fig. 2.3 Superficie Trensada**

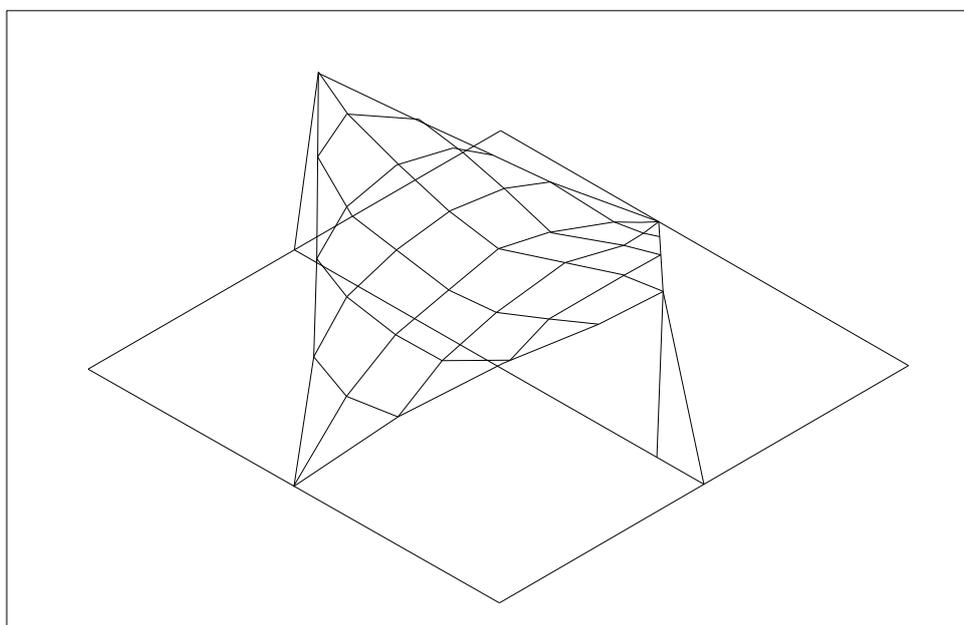
Si interesa que la superficie sea continua, es necesario agregar más y más cables, hasta el límite de generar un “tejido”, figura 2.4. Cuando se tensa cada uno de los cables de la red, se incrementa la presión en cada nudo. La tensión inicial más alta, o “pretensión necesaria”, será la que estabilice la red de cables ante la acción de las cargas. La pretensión produce, sobre los hilos, tensiones que brindan la seguridad de que subsistirán los esfuerzos de tracción, sean cuales fueren las cargas exteriores, las que nunca llegarán a anular el esfuerzo de tracción inicial en ningún punto de la superficie.

Las redes de hilos, como consecuencia del proceso elegido para su pretensado, que exige doble curvatura en el espacio, son rígidas y muy poco deformables ante la acción de cargas accidentales de intensidad alta. A la superficie estructural que se generó por este proceso algunos autores la llaman “a cuatro puntos”. Es la forma más simple de cubierta. Se puede hacer

fácilmente un modelo de esta superficie básica, con una tela extensible o un trozo de látex y verificar sobre él la mecánica estructural de las membranas pretensadas, la que se analiza a partir de las redes de hilos.

Las formas geométricas aptas para aplicar pretensión, es decir, capaces de sustentar estas membranas, son las de *doble curvatura total negativa o anticlásticas*, figura 2.4.

Cada elemento modular tridimensional de la superficie de cubierta debe contener o estar definido por un sector de superficie de curvatura anticlástica, anclado en elementos capaces de alojar los mecanismos de pretensión. Es decir, es condición de diseño que la superficie total de la cubierta y cada uno de los sectores de superficie que la integran, puedan ser pretensados, lo que significa que *los elementos de anclaje deben estar incorporados al diseño geométrico*.



**Fig. 2.4** Tejido de doble curvatura negativa

## 2.20. CARACTERÍSTICAS AL DESARROLLO SUSTENTABLE

### 2.20.1. Ligereza

Cuando el objetivo de diseño está esencialmente focalizado en la protección contra la lluvia y la incidencia directa de los rayos solares, las soluciones se traducen en sistemas esencialmente livianos, flexibles en su geometría para adaptarse a las orientaciones más convenientes.



**Fig. 2.5** Ligereza de la Tenso Estructura

### 2.20.2. Síntesis de los Elementos

Las grandes cargas adicionales provocadas por el viento obligan a resolver un sistema estructural resistente. Este sistema conforma un edificio

con una mínima relación entre masa construida y volumen espacial. Es decir, en un mínimo espesor se concentran estructura y cerramiento, los dos componentes esenciales del sistema que define el espacio. Las membranas tensadas son estructuras de tracción pura. Esto las convierte en los sistemas más económicos teniendo en cuenta la relación luz a cubrir – peso propio.



**Fig. 2.6** Flexibilidad en la Construcción

### **2.20.3.Luminosidad**

El paso de la luz es una cualidad característica de los sistemas de membranas, y proporciona grandes ventajas estéticas y económicas.

El aprovechamiento de la luz natural para la ambientación interior permite reemplazar la iluminación artificial durante el día, economizando recursos energéticos.

La envolvente se utiliza como *FILTRO*, y *NO COMO BARRERA* pudiendo regular su "permeabilidad" a los agentes externos.

También es importante tener en cuenta la apariencia luminosa nocturna desde el exterior y las reflexiones posibles a realizar arrojando luz sobre las membranas.



**Fig. 2.7** Luminosidad de la Tenso Estructura

#### **2.20.4. Versatilidad y Funcionalidad**

Es muy amplio el espectro en el cual puede aplicarse el sistema de membranas tensadas.

La flexibilidad formal que caracteriza a las membranas les permite adaptarse a múltiples funciones como:

- Áreas de exposición.
- Áreas para espectáculos.
- Ornamento urbano.
- Espacios para congresos y conferencias.
- Instalaciones deportivas.
- Instalaciones industriales.



**Fig. 2.8** Versatilidad y Funcionalidad de la Tenso Estructura

### **2.20.5. Sistemas Dinámicos**

Cuando las condiciones externas son cambiantes la utilización de sistemas móviles permite la adaptación a las distintas condiciones ambientales, mediante dispositivos mecánicos puede lograrse una alta flexibilidad funcional.

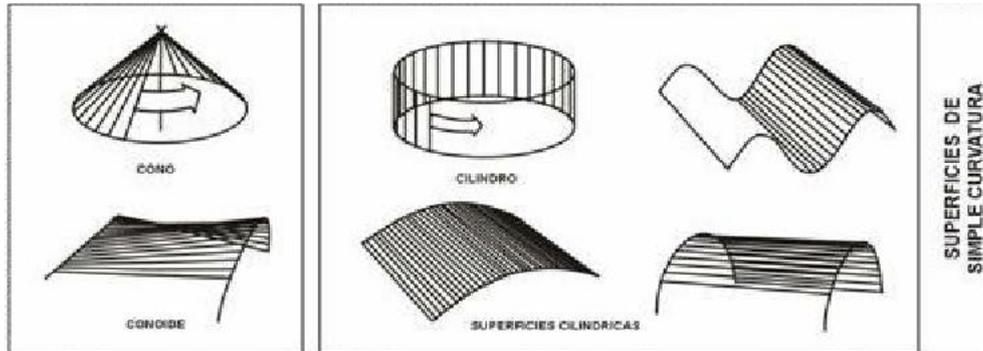


**Fig. 2.9** Flexibilidad de las Tenso Estructuras

## **2.21. TIPOS DE SUPERFICIES**

Las tensiones que se generan en la membrana son paralelas a la superficie de la misma y constante a lo largo del espesor. Para prevenir las deformaciones excesivas, la tela debe ser pretensada, aunque las tensiones resultantes sean mayores. Para lograr la evacuación adecuada de las aguas de lluvia y para la distribución adecuada de las tensiones a lo largo de las cubiertas de este tipo, entre otros motivos, se realiza el proceso de búsqueda de forma resultando en diferentes formas geométricas. Como se presenta a continuación.

### 2.21.1. Simple Curvatura



**Fig. 2.10** Superficies de Simple Curvatura

### 2.21.2. Sinclástica

Denominadas de curvatura Gaussiana positiva, donde los centros de las curvaturas se encuentran en el mismo lado de la superficie. Por ejemplo esferas y globos.



**Fig. 2.11** Superficies de Doble Curvatura Positiva

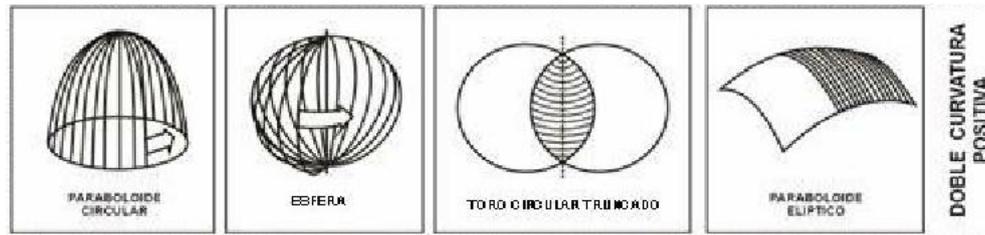


Fig. 2.12 Superficies de Doble Curvatura Positiva

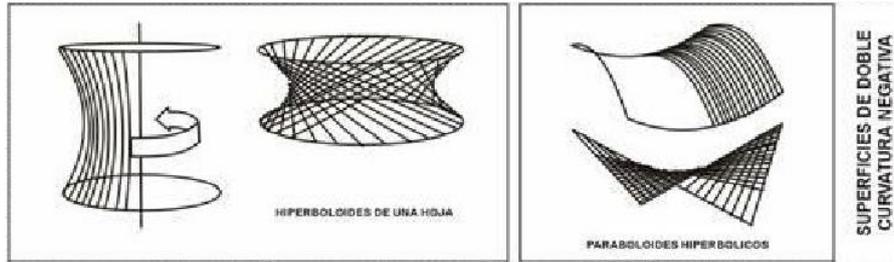
### 2.21.3. Anticlástica

Denominadas de curvatura Gaussiana negativa, donde los centros de curvatura están en direcciones opuestas, por ejemplo el hiperboloide parabólico. Existe todo un conjunto de formas que se logran de esta manera, a partir de la estructura portante, pues es en su mayoría la que define la geometría de la membrana.

Dentro de las **formas anti clásicas** existen varias configuraciones geométricas definidas por la estructura portante.



Fig. 2.13 Superficies de Doble Curvatura Negativa



**Fig. 2.14** Superficie Gaussiana de Doble Curvatura Negativa

### 2.21.3.1. Soportada por Mástiles

Este tipo de tenso estructuras tiene como característica principal la presencia de mástiles u otros elementos que soporten cargas de compresión, esta forma es ideal para cubiertas de amplias luces ya que los cables que tiran de la membrana parten de la parte superior de los mástiles y no requieren apoyos interiores como se muestra en la figura.



**Fig. 2.15** Estructura Soportada por Mástiles

Existen tres tipos importantes de este tipo de tenso estructuras:

- Mástiles articulados en la base estabilizados con tensores de cable.
- Mástiles articulados en la base estabilizados con la membrana.
- Mástiles empotrados.

### 2.21.3.2. Soportada por Arcos

Este tipo de cubierta se logra colocando debajo de la tela uno o varios arcos, que tensan la membrana, estos arcos deben ser lo suficientemente rígidos para garantizar la estabilidad de la estructura. Los arcos deben ser de sección tubular, para no dañar la tela y distribuir uniformemente las tensiones.



**Fig. 2.16** Estructura Soportada por Arcos



**Fig. 2.17** Estructura Soportada por Arcos Transversales

### 2.21.3.3. Apoyada en Puntos

El ejemplo más sencillo de este tipo de estructuras son los conos, se apoyan en el centro de la luz en un mástil, se pueden lograr variadas soluciones como suspender el mástil en cables.



**Fig. 2.18** Estructura Soportada en Puntos

Esta geometría permite ser reproducida de forma tal que cubra mayor área con elementos modulares típicos. Otra configuración ampliamente empleada es la forma de embudo donde los puntos elevados soportan los esfuerzos que se orientan hacia abajo y los puntos inferiores los esfuerzos orientados hacia arriba.

#### 2.21.3.4. Tipo Bóveda

Esta forma de cubiertas se caracteriza por colocar cables de acero en los dos sentidos creando la doble curvatura, la membrana se coloca por encima de los cables y la forma deseada se logra a partir de la acción de tensar los cables transversales o longitudinales



**Fig. 2.19** Estructura Tipo Bóveda

## **2.22. COMPONENTES DEL SISTEMA**

Membranas y cables materializan los principales componentes del sistema. Las primeras constan de una base textil, la cual le da la resistencia a los esfuerzos estructurales y la flexibilidad necesaria para adaptarse a la forma, con la doble curvatura que garantiza la resistencia a las cargas gravitacionales y de succión.

Los cables refuerzan la membrana en sus bordes y materializan el nexo entre la membrana y los herrajes de fijación y anclaje a las bases.

## **2.23. MEMBRANAS**

Las membranas son tejidos de poliéster a los que se van agregando capas superiores e inferiores de PVC en número de hasta dos por lado con distintos espesores, dependiendo de la aplicación y una capa final de teflón. Los hilos que forman el tejido base a su vez tienen varios filamentos entorchados, formando un torón y de acuerdo a como están entrelazado los torones tendremos una trama simple o doble y esta puede ser abierta o cerrada de acuerdo a los espacios que quedan entre los hilos al formar la malla.

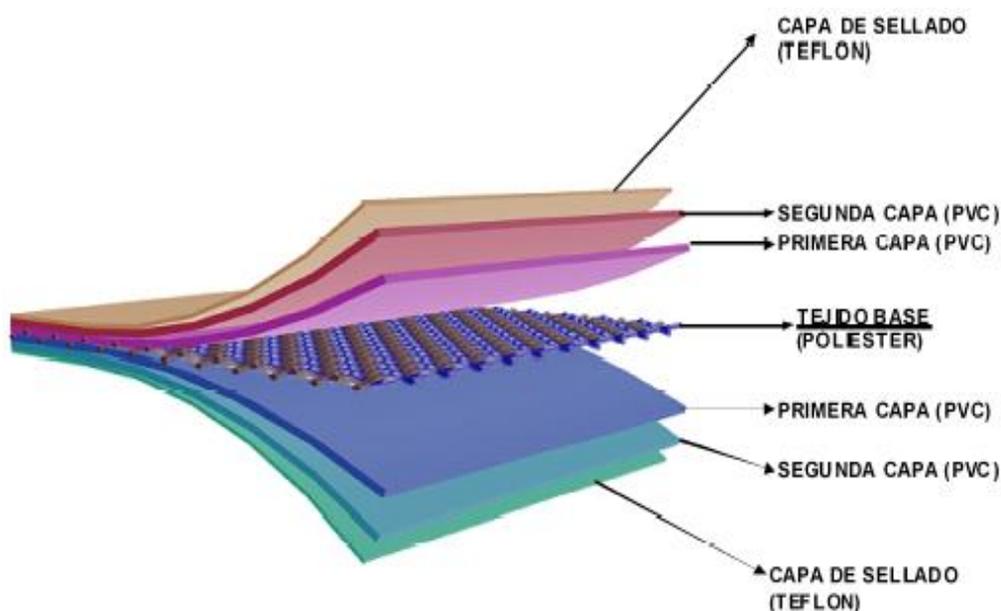
El tejido base da la resistencia requerida a tensión en los dos sentidos, mientras que las capas de PVC tienen como función proteger al tejido contra los rayos UV, abrasión y agentes atmosféricos, garantizando la vida útil del material.

## 2.24. TIPOS DE MATERIALES

Para el desarrollo de proyectos de tenso estructuras se utilizan materiales flexibles capaces de transmitir grandes esfuerzos axiales. Estos materiales se clasifican en:

### 2.24.1. Textiles ó Membranas

Los materiales utilizados para las membranas son tejidos de poliéster a los que se van agregando capas superiores e inferiores de PVC en número de hasta dos por lado con distintos espesores, dependiendo de la aplicación y una capa final de teflón.



**Fig. 2.20** Composición de la Membrana PVC

Los hilos que forman el tejido base a su vez tienen varios filamentos entorchados, formando un torón y de acuerdo a como están entrelazado los torones tendremos una trama simple o doble y esta puede ser abierta ó

cerrada de acuerdo a los espacios que quedan entre los hilos al formar la malla.

El tejido base da la resistencia requerida a tensión en los dos sentidos, mientras que las capas de PVC tienen como función proteger al tejido contra los rayos UV, abrasión y agentes atmosféricos, garantizando la vida útil del material.

Las capas impermeabilizan el tejido contra el agua lluvia y la humedad, estabilizan la geometría de la tela y proporcionan material para permitir soldo-costuras térmicas.

#### **2.24.2. Foils**

Los foils son fluopolímeros que al ser laminados son tan delgados que llegan a ser casi transparentes; existen 3 materiales distintos:

- PVC Poliéster,
- Silicona-Fibra de vidrio, y;
- ETFE: lamina de un material muy resistente cuya característica por su poco peso, resistencias mecánicas elevadas y su alta durabilidad; ésta lámina forma parte de una nueva generación de materiales plásticos que resisten a los rayos ultravioletas y otros agentes sin experimentar envejecimiento a lo largo del tiempo; se puede utilizar como simple tensada (monocapa) entre un soporte perimetral o como cojines de dos o más capas (multicapa) inflados con aire a baja presión.



**Fig. 2.21** Cubierta de Policarbonato

El PVC-P y Silicona-F son textiles recubiertos, de los cuales el PVC es de un gran uso en tenso-estructuras.

El ETFE es uno de los materiales estrellas de hoy en el mundo de la arquitectura deportiva y de edificios debido a las propiedades de transmisión de luz, eficiencia energética y auto limpieza del foil.

### **2.25. USO DE LAS CAPAS**

Las capas impermeabilizan el tejido contra el agua lluvia y la humedad, estabilizan la geometría de la tela y proporcionan material para permitir costuras soldadas térmicas.

## 2.26. FORMAS GEOMÉTRICAS BÁSICAS

Las *MEMBRANAS TENSADAS* son generadas a partir de formas con dobles curvaturas. La combinación de las mismas permite una gran diversidad formal, ajustándose a las necesidades de cada espacio.

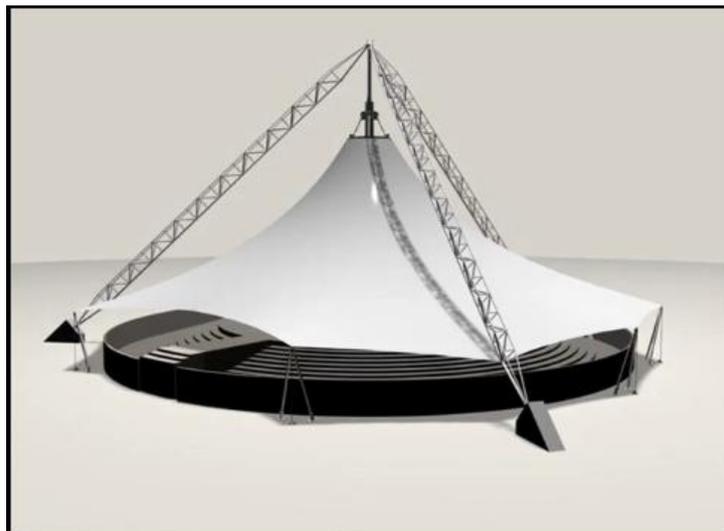
La mayor parte de las estructuras tensadas derivan de tres formas básicas:

- Paraboloides Hiperbólicos:



**Fig. 2.22** Estructura tipo Paraboloides Hiperbólico

- Conoides:



**Fig. 2.23** Estructura tipo Conoide

➤ Arcos:



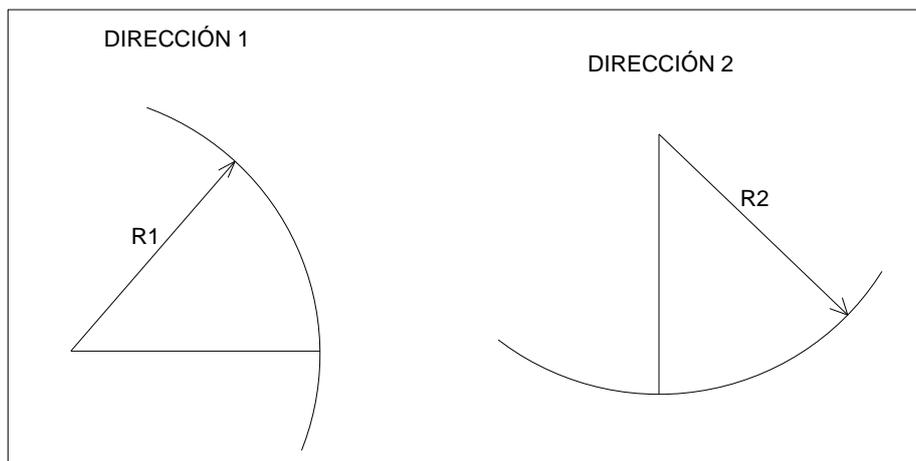
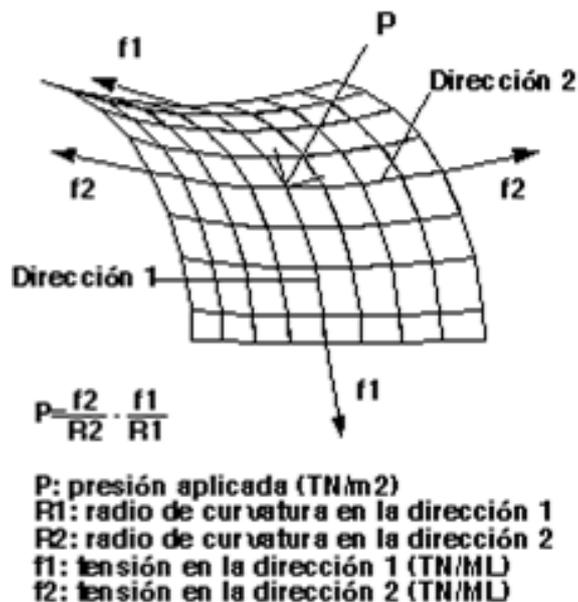
**Fig. 2.24** Estructura tipo Arco



**Fig. 2.25** Arco Central Sostenido

## 2.27. ANÁLISIS TÉCNICO

La pretensión interna aplicada mantiene al sistema en equilibrio estático de manera tal que cuando se aplica una carga externa (P), una de las direcciones principales resistirá la carga, mientras que la dirección opuesta ayudará al sistema a mantener la estabilidad; de esta manera la tela actúa biaxialmente.



**Fig. 2.26** Equilibrio estático de la membrana

## **2.28. MÉTODOS PARA UNIR MEMBRANAS**

Las uniones constructivas se clasifican en dos tipos según las partes que intervienen, las que unen dos franjas de la membrana y las que unen la membrana y la estructura portante.

### **2.28.1. Sistema Electro Soldado por Radio Frecuencia**

R. F. Welding es el sistema más sofisticado en el mundo. Este proceso se basa en la estimulación molecular donde deja sin memoria a las partículas durante el proceso y al terminar el proceso las moléculas de ambos lienzos quedan unidas unas con otras. No se pierden las propiedades originales de los materiales. Es el equipo más caro que hay pero el que mejor resultados ofrece.

### **2.28.2. Termo Sellado o Vulcanizado**

No es el método más recomendado para las tenso-estructuras, sin embargo es el método más utilizado en América Latina para unir lonas publicitarias, de camión o cortinas de tienda. Este método consiste en aplicar calor a 450 grados centígrados, pero esto quema literalmente el material y modifica sus propiedades originales. Es el equipo más barato en el mercado.

### **2.28.3. Máquina de Coser**

Este es el sistema más antiguo que se ha utilizado para unir los patrones, y se usó hasta hace 25 años atrás. En la actualidad algunos detalles pueden ser unidos con máquinas modernas de alta precisión, pero nunca se

unirá el cuerpo de la tela con este sistema. Hay compañías que en sus inicios utilizaron este método y lo continúan usando, pero no se certificará una empresa que lo utilice para unir el cuerpo de la tela.

## 2.29. BORDES

### 2.29.1. Flexibles

Consisten generalmente en un cable que corre a través de un “doblado” en el borde de la tela. En el caso de membranas más grandes el borde es reforzado con doble costura de borde que absorben los esfuerzos tangenciales.

Otra posibilidad (sobre todo en el caso del PTFE) es el uso de un cable externo conectado a los bordes y tomado a la membrana por una serie de placas de acero.



**Fig. 2.27** Estructura con Bordes Flexibles

### 2.29.2. Rígidos

En estos casos la membrana está prensada entre dos planchuelas que le dan una fijación continua. La utilización de este tipo de bordes dependerá de los condicionantes funcionales y/o de las características de los bordes del sitio en el cual se inserta la membrana.



**Fig. 2.28** Borde Rígido en Punta



**Fig. 2.29** Borde Rígido Desplazado

### **2.30. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y SISTEMA CONSTRUCTIVO**

Cuando se diseña cualquier estructura innovadora de alta precisión, un análisis exhaustivo del diseño debe ser llevado a cabo. Distintas condiciones de carga deben ser analizadas para asegurar la integridad estructural del sistema en todas las situaciones.

Básicamente en este tipo de sistema los problemas a resolver son:

- Resistir al viento.
- Asumir una configuración estática óptima con la menor cantidad de material.
- Emplear telas resistentes.
- Ser de fácil montaje.
- Disposición de anclajes en las zonas establecidas para una estabilidad de todo el sistema estructural.

El análisis estructural es realizado por computadoras, modelos a escala, además estructuras de dos dimensiones de simple curvatura son calculadas a mano aplicando métodos analíticos.

A pesar de que las normativas regulatorias de la aplicación de cargas de viento en las edificaciones no prevén que las tenso-estructuras requieran un tratamiento especial debido al efecto de las deformaciones, la flexibilidad inherente a las membranas introduce un pequeño grado de incertidumbre. La carga de viento es la que más influye en las estructuras tensionadas, para soportarlas deben tener la curvatura y pretensado adecuado. En algunos casos se hace necesario realizar análisis aéreo-elástico, pues si la frecuencia de oscilación natural de la estructura es más larga que la de la acción del viento

ocurre fenómenos aéreo-elásticos. Existe un conjunto de cargas que generalmente se desprecian en el análisis, como por ejemplo la carga de peso propio, lluvia, carga de uso, gradiente de temperatura y en el caso de Ecuador la de granizo.

En sus inicios los modelos a escala jugaban un papel importante, pues servían de referencia a la hora de realizar un diseño fidedigno de las membranas, que consistían en películas de jabón, alambre y tela tensionada.

Hoy en día se procede a realizar el proceso de búsqueda de forma mediante procedimientos matemáticos implementados computacionalmente.

La geometría y el comportamiento no-lineal del material de la membrana, además de las amplias deformaciones que sufre la tela en estado de servicio, conduce a la utilización de modelos analíticos complejos, lo cual dificulta la solución exacta de las ecuaciones diferenciales asociadas, y potencia el uso de los métodos numéricos. En este caso se aprovechan las oportunidades que brindan los medios computacionales, utilizando entornos numéricos como, por ejemplo en el Método de Elementos Finitos. Actualmente existe un conjunto de software comerciales que tienen como objeto el diseño de las tenso-estructuras, que parten desde la generación de la forma hasta los patrones de corte listos para enviar al fabricante. Los esfuerzos en la presente temática en Ecuador deben estar orientados hacia la modelación de las tenso-estructuras con programas cuyo procedimiento sea conocido y accesible.

En el método de elementos finitos se combinan eficientemente las hipótesis físicas y matemáticas, donde el objeto de análisis se basa, que a cada elemento se le asignan propiedades proporcionales a las del material y mediante operaciones matriciales se realiza la solución del modelo. Los elementos que se emplean para el modelo deben ser elementos laminares que no permitan esfuerzos de compresión.

Como fue mencionado antes, la forma de la cubierta define en gran medida el comportamiento estructural de la membrana. Las telas debido a que no poseen rigidez no son capaces de soportar cargas sin deformarse, por eso el sistema debe equilibrarse por ejemplo en una membrana anti-clástica, cuando es sometida a carga normal a la superficie, entonces la tensión en las fibras en el sentido longitudinal va en aumento y la tensión en las fibras en la dirección transversal disminuye.

## **Capítulo 3: CABLES, ANCLAJES Y ACCESORIOS**

### **3.1. ANTECEDENTES**

El conflicto en los cables de acero se produce en el sector donde el desgaste es severo, lo que ocurre generalmente en zonas donde se tiene mayor concentración de alambres cortados, donde los esfuerzos son desiguales en los cordones, donde los esfuerzos locales debido a la flexión del cable sobre las poleas son excesivos, cuando el cable esta empotrado al equipo en el cual se usa o cuando el alambre se corroe.

Para evitar lo antes descrito, debe tomarse en consideración las posibles consecuencias resultantes de la falla del cable especialmente cuando está en juego la vida de personas; como por ejemplo, ascensores, funiculares, tenso estructuras, etc.

Con el fin de evitar estos accidentes, se realiza diversos ensayos para conocer con exactitud sus características. Los alambres están fabricados por aceros estructurales, los cuales tienen como característica su bajo contenido de carbono.

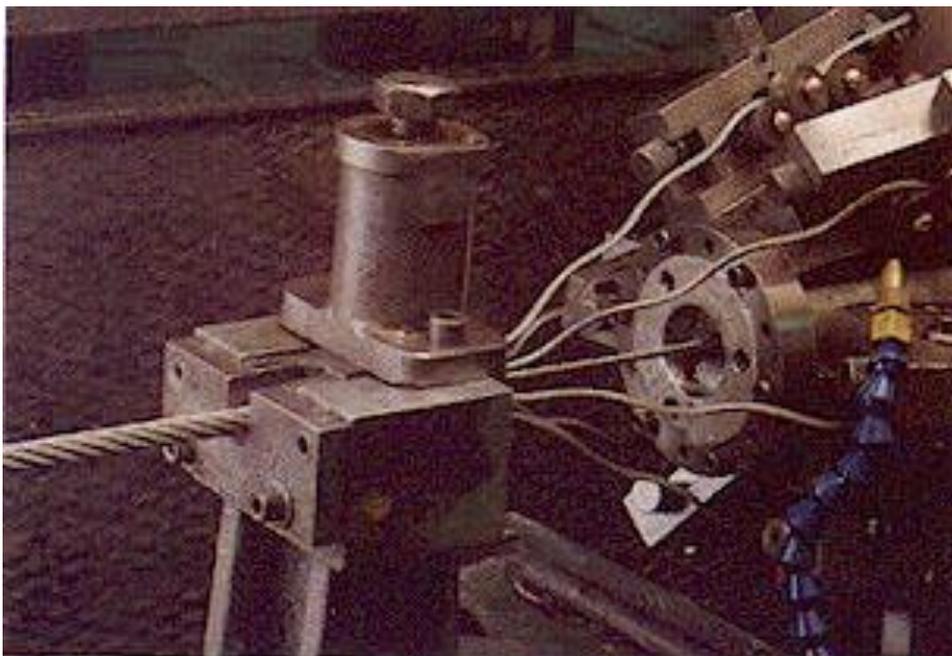
### **3.2. INTRODUCCIÓN**

En nuestros tiempos cada segmento de nuestra moderna sociedad industrial depende de cables de alambre de acero, en alguna fase de su funcionamiento.

Hoy en día, el cable de acero es una necesidad, la cual ha sido desarrollada y elaborada con precisión. El uso del cable de acero es múltiple, ya que se puede encontrar trabajando como una piola de freno en diversos medios de transporte

(bicicletas, automóviles, etc...), soportando el peso de personas en un ascensor o funicular, en redes para pesca industrial y también se puede hallar trabajando en la maquinaria pesada de la minería, por lo que es importante saber qué características debe cumplir el cable para cada trabajo al cual será sometido. Es importante saber cuál es el factor de seguridad para cada caso, sobre todo donde se ve involucrada la integridad física de personas.

Finalmente, el cuidado y mantenimiento adecuado que se debe tener con el cable es preponderante para obtener una mayor vida útil, por lo tanto es importante saber cuál es la forma más adecuada de manejo y cuáles son los agentes que más lo dañan.



**Fig. 3.1** Fabricación del cable de acero

### 3.3 CABLES DE ACERO

El Cable de Acero es una máquina simple, que está compuesto de un conjunto de elementos que transmiten fuerzas, movimientos y energía entre dos puntos, de una manera predeterminada para lograr un fin deseado.

El conocimiento pleno del inherente potencial y uso de un Cable de Acero, es esencial para elegir el cable más adecuado para una faena o equipo, tomando en cuenta la gran cantidad de tipos de cables disponibles, ver figura 3.1.

Cada cable de acero, con sus variables de diámetro, construcción, calidad de alambre, torcido, y su alma; se diseñan y fabrican cumpliendo las Normas Internacionales como:

- American Federal Specification (RR-W-410D)
- American Society For Testing & Materials (A.S.T.M.)
- British Standards Institute (B.S.)
- Deutsches Normenausschuss (D.I.N.)
- International Organization for Standardization (I.S.O.)

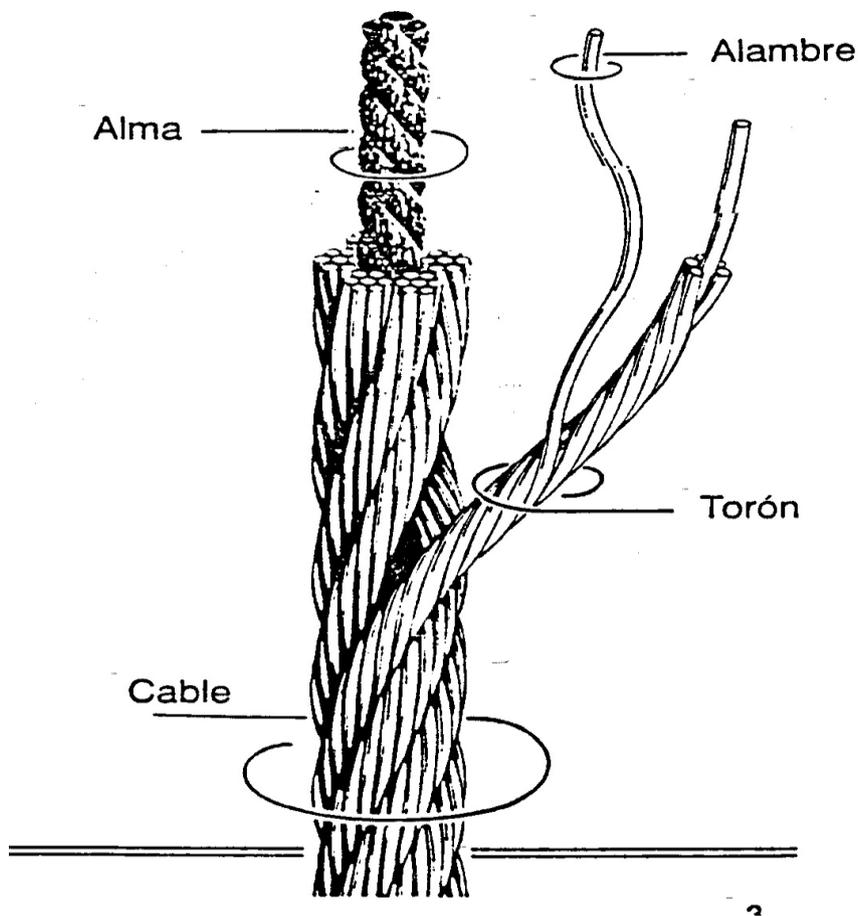
El entendimiento completo de las características de un cable de acero es esencial e involucra un conocimiento profundo de las condiciones de trabajo, factores de carga y resistencias del cable, porque hay que tener presente que: "donde hay un cable de acero trabajando, hay vidas humanas en juego y que frecuentemente es usado como un fusible en los diferentes equipos".

Para este efecto comenzaremos a describir un cable de acero, indicando el nombre de cada elemento que lo compone, con el fin de tener un vocabulario de acuerdo a lo que a continuación se menciona.

### 3.3.1 CABLE DE ACERO Y SUS ELEMENTOS

Se muestra a continuación los elementos que componen el cable de acero:

*Diagrama de Producción del Cable de Acero*



**Fig. 3.2** Elementos del cable de acero

- **Alambre:** Es el componente básico del cable de acero, el cual es fabricado en diversas calidades, según el uso al que se destine el cable final.
- **Torón:** Está formado por un número de alambres de acuerdo a su construcción, que son enrollados helicoidalmente alrededor de un centro, en una o varias capas.
- **Alma:** Es el eje central del cable donde se enrollan los torones. Esta alma puede ser de acero, fibras naturales o de polipropileno.
- **Cable:** Es el producto final que está formado por varios torones, que son enrollados helicoidalmente alrededor de un alma.

### 3.3.2 ALAMBRES PARA CABLES DE ACERO

Los alambres para la producción de cables de acero se clasifican en:

#### a) Tipos:

Según su recubrimiento y terminación serán de tres tipos:

- Tipo NB: Negro brillante.
- Tipo GT: Trefilados después de zincados.
- Tipo G: Zincados después de trefilados.

#### b) Clases:

Según la cantidad de zinc por unidad de superficie serán de dos clases:

- Clase A: Zincado grueso (pesado).
- Clase Z: Zincado liviano.

### c) Grados

Según la calidad nominal del acero de sus alambres, definida por su resistencia nominal a la tracción, número de torsiones, doblados, adherencia del recubrimiento de zinc, uniformidad del recubrimiento de zinc y peso del recubrimiento de zinc se designarán por (ver tabla 3.1):

**Tabla 3.1** Resistencia Nominal a Tracción del Cable de Acero

GRADO	NOMBRE COMÚN	RESISTENCIA NOMINAL A LA TRACCION (Kg/mm <sup>2</sup> )
1	Acero de tracción	120 – 140
2	Arado suave	140 – 160
3	Arado	160 – 180
4	Arado mejorado	180 – 210
5	Arado extra mejorado	210 – 245
6	Siemens–Martin 70 mínimo	70 mínimo
7	Alta resistencia 100 mínimo	100 mínimo
8	Extra alta resistencia	135mínimo

#### ➤ Selección

El alambre para cable de acero se selecciona según el tipo de cable que se quiera fabricar, es así como se utiliza un alambre galvanizado para cables que trabajaran en ambientes húmedos. Depende también de la flexibilidad que se le quiera dar al cable, así como de la cantidad de alambres que llevara y del trato al cual será sometido este.

#### ➤ Ensayos

Los alambres para cables de acero son sometidos a varios procesos de ensayo para comprobar su calidad, los ensayos a los que son sometidos son:

- a) Ensayo de tracción.
- b) Ensayo de torsión.
- c) Ensayo de doblado.
- d) Determinación de la adherencia del recubrimiento de zinc.
- e) Ensayo de uniformidad del recubrimiento de zinc.
- f) Determinación del peso del recubrimiento de zinc.

### **3.4 TORONES**

Los Torones de un cable de acero, están formados por un determinado número de alambres enrollados helicoidalmente alrededor de un alambre central y dispuesto en una o más capas. A cada número y disposición de los alambres se les llama CONSTRUCCION y que son fabricados generalmente según el concepto moderno, en una sola operación con todos los alambres torcidos en el mismo sentido, conjuntamente en una forma paralela. En esta manera se evitan cruces y roces de los alambres en las capas interiores, que debilitan el cable y reducen su vida útil y puede fallar sin previo aviso.

Las principales construcciones de torones, se pueden clasificar en tres grupos:

- Grupo 7: Incluyen construcciones que tienen desde 3 a 14 alambres.
- Grupo 19: Incluyen construcciones que tienen desde 15 a 26 alambres.
- Grupo 37: Incluyen construcciones que tienen desde 27 a 49 alambres.

El torón según el requerimiento del cable final, puede ser torcido a la derecha o a la izquierda.

### **3.5 ALMAS**

El Alma es el eje central o núcleo de un cable, alrededor del cual van colocados los torones.

Su función es servir como base del cable, conservando su redondez, soportando la presión de los torones y manteniendo las distancias o espacios correctos entre ellos. Hay dos tipos principales de Almas:

#### **3.5.1 Fibra (Naturales y Sintéticas)**

##### **3.5.1.1 Alma de Fibras Naturales**

Estas pueden ser "Sisal" o "Manila", que son fibras largas y duras. Existen también de "Yute", "Cáñamo" o "Algodón", pero no se recomiendan por ser blandas y se descomponen rápidamente, pero sí está permitido usar estas fibras como un relleno en ciertas aplicaciones y construcciones.

En general las Almas de Fibras Naturales se usan en cables de ingeniería (Ascensores y cables de izaje de minas), porque amortiguan las cargas y descargas por aceleraciones o frenadas bruscas. Se recomienda no usar en ambientes húmedos y/o altas temperaturas (sobre 80°C).

##### **3.5.1.2 Alma de Fibras Sintéticas**

Se han probado varias fibras sintéticas, pero lo más satisfactorio hasta hoy día es el "Polipropileno". Este material tiene características físicas muy similares a "Manila" o "Sisal", y tiene una resistencia muy superior a la descomposición provocada por la salinidad. Su única desventaja es ser un material muy abrasivo entre sí, por lo tanto, tiende a perder su consistencia si

está sujeto a muchos ciclos de operación sobre poleas con mucha tensión. Por esta razón un alma de "Polipropileno" no es recomendable en cables para uso en ascensores o piques de minas. Generalmente se usa en cables galvanizados para pesca y faenas marítimas, dando en estas actividades excelentes resultados. No emplearse en ambientes de altas temperaturas.

### **3.5.2 Acero (de Torón o Independiente)**

#### **3.5.2.1 Alma de Acero de Torón**

Un cable con un alma de Torón es un cable donde el alma está formada por un solo Torón, cuya construcción generalmente es la misma que los torones exteriores del cable. Principalmente, esta configuración corresponde a cables cuyo diámetro es inferior a 9.5 mm (3/8").

#### **3.5.2.2 Alma de Acero Independiente**

Esta es en realidad otro cable de acero en el núcleo o centro del cable y generalmente su construcción es de 7 torones con 7 alambres cada uno (7 x 7). Un cable de acero con un Alma de Acero de Torón o Independiente, tiene una resistencia a la tracción y al aplastamiento superior a un cable con alma de fibra, pero tiene una menor elasticidad. Se recomienda el uso de cables con Alma de Acero, donde hay altas temperaturas (superiores a 80°C) como en hornos de fundición o donde existan altas presiones sobre el cable, como por ejemplo en los equipos de perforación petrolera, palas o dragas mecánicas.

### 3.5.2.3 Alma de Acero Plastificada

Últimamente se ha desarrollado Alma de Acero Plastificada, cuya característica principal radica en eliminar el roce entre los alambres del alma con los alambres del torón del cable (su uso principal está en los cables compactados).

Las principales diferencias en las características de las almas y sus áreas en función del uso son:

**Cuadro 3.1** Características del Polipropileno

<b>POLIPROPILENO</b>
<b>VENTAJAS</b>
No le afecta el agua
No le afecta los ácidos o alcalinos
<b>DESVENTAJAS</b>
No soporta el calor
No frecuentes ciclos de operaciones sobre poleas
<b>AREAS DE USO</b>
Cables de pesca y uso marino.
Cables para Sondeo
Limpieza Petrolera

**Cuadro 3.2** Características del Acero

<b>ACERO</b>
<b>VENTAJAS</b>
Resistencia al calor
Resistencia a la compresión
Bueno para trabajos duros
<b>DESVENTAJAS</b>
No es elástico
<b>AREAS DE USO</b>
Cables de perforación petrolera
Gruas de fundición
Palas mecánicas y cables forestales

**Cuadro 3.3** Características del Sisal/Manila

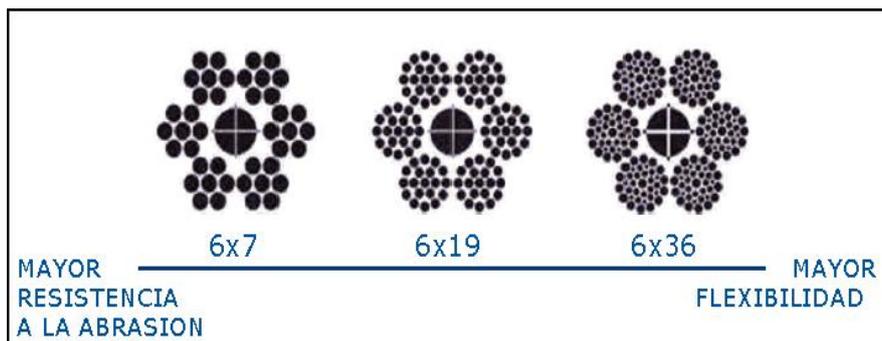
<b>SISAL/MANILA</b>
<b>VENTAJAS</b>
Elástico
Absorbe energía
<b>DESVENTAJAS</b>
No soporta el calor
No soporta el agua, ácidos y alcalinos
<b>AREAS DE USO</b>
Ascensores
Cables de izaje en piquez de Minas
Gruas
Huinches generales
Puentes

### **3.6 CARACTERÍSTICAS Y VIRTUDES EN CABLES DE ACERO:**

a) Flexibilidad y resistencia a la abrasión: Todos los cables de acero implican, en su diseño, características de compromiso técnico. En la mayoría de los casos, un cable no puede aumentar al mismo tiempo su resistencia a la fatiga y su resistencia a la abrasión. Por esta razón es necesario elegir el cable de acero apropiado, para la aplicación exacta.

Mientras que la clasificación 6x19 da un énfasis primario a la resistencia a la abrasión, la clasificación 6x36 es importante para su resistencia a la fatiga. Esta resistencia a la fatiga se hace posible por el mayor número de alambres en cada cordón.

Por ejemplo, a medida que el diámetro del cable aumenta, se puede usar un mayor número de alambres para adquirir resistencia a la fatiga, y estos alambres serán todavía lo suficientemente gruesos como para brindar adecuada resistencia a la abrasión (figura 3.3).



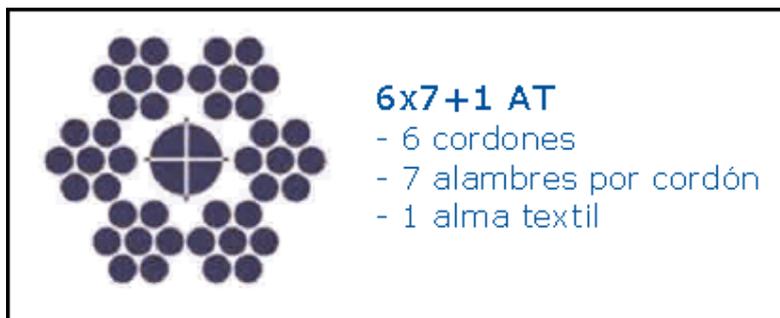
**Fig. 3.3** Configuración de los Cables de Acero

**b) Carga de Ruptura:** La carga de rotura es la carga final efectiva a la cual un cable se rompe durante un ensayo de tracción en el banco de prueba. En la práctica, para la elección de un cable se utilizan valores tabulados que indican lo que se llama “Carga Mínima de Rotura”, en cuyo cálculo intervienen la resistencia específica del material, el tipo de alma, el tipo de construcción, la sección, etc. Aquí es importante tener en cuenta dos aspectos: las Cargas Mínimas de Rotura especificadas en la tabla corresponden a valores de carga estática y en condiciones de tracción pura; la Carga Mínima de Rotura se aplica a un cable nuevo, sin uso.

**c) Carga de Trabajo:** Es la carga o peso que se debe aplicar sobre el cable en condiciones de trabajo con seguridad. Se abrevia C.T. (Carga de Trabajo). La carga de rotura es siempre mayor que la carga de trabajo. La relación entre CMR (Carga Mínima de Rotura) y CT (Carga de Trabajo) se llama Factor de Seguridad (FS), el FS en cable de acero es 5 a 1.

### 3.7 NOMENCLATURA BASICA DE CABLES CONVENCIONALES:

Los cables de acero se identifican mediante la nomenclatura que hace referencia a:



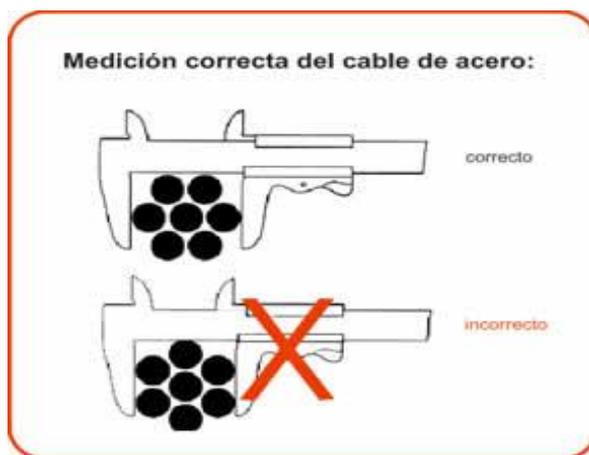
**Fig. 3.4** Nomenclatura Normalizada de los Cables de Acero

- 1.- La cantidad de cordones.
- 2.- La cantidad (exacta o nominal) de alambres en cada cordón.
- 3.- Una letra o palabra descriptiva indicando el tipo de construcción.
- 4.- Una designación de alma, cualitativa o cuantitativa.

Esta nomenclatura simple es sumamente práctica y está internacionalmente normalizada para los cables convencionales.

### 3.8 MEDICION CORRECTA DEL CABLE

El diámetro Nominal de un cable de acero es aquel que figura como valor en las tablas de resistencia de los catálogos técnicos. El diámetro Real es el correspondiente a la circunferencia que rodea a la sección del cable expresado en milímetros. Para medir el diámetro de un cable de forma correcta recomendamos utilizar el calibre en la forma indicada, ver (figura 3.5).



**Fig. 3.5** Medición del cable de acero

### 3.9 SELECCIÓN DEL TIPO DE CABLE

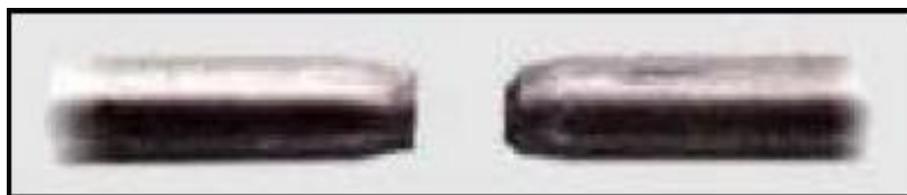
La clave del problema de la selección del cable más indicado para cada trabajo está en equilibrar correctamente los siguientes factores principales:

- Carga de rotura (Resistencia)
- Resistencia a las Flexiones y Vibraciones (FATIGA)
- Resistencia a la Abrasión
- Resistencia al Aplastamiento
- Resistencia de Reserva
- Exposición a la corrosión

Muy pocas veces es posible seleccionar un cable que cumpla al máximo con los requerimientos de resistencia a la Abrasión y Aplastamiento, y posea también la máxima resistencia a la Fatiga. En general, se debe privilegiar las características más sensibles a la operación que se deba realizar a cambio de una disminución relativa en aquellas características menos relevantes para el fin predeterminado.

### 3.9.1 RESISTENCIA O CARGA DE ROTURA

El primer paso consiste en determinar la máxima carga que el cable deberá soportar, teniendo en cuenta no sólo la carga estática, sino también las cargas causadas por arranques y paradas repentinas, cargas de impacto, altas velocidades, fricción en poleas, etc. Por razones de seguridad se recomienda normalmente multiplicar, la carga de trabajo por un factor, indicado en la tabla de factor de seguridad (figura 3.6).



**Fig. 3.6** Rotura por carga a tracción

### 3.9.2 RESISTENCIA A FLEXIONES Y VIBRACIONES (FATIGA)

Si un trozo de alambre se dobla varias veces, eventualmente se romperá; esto es debido al fenómeno llamado "Fatiga de Flexión". Este mismo fenómeno tiene lugar siempre que un cable de acero se dobla alrededor de poleas, tambores o rodillos. A menor radio de curvatura mayor es la acción de la fatiga. Los aumentos de la velocidad de operación y las flexiones en sentidos contrarios también aumentan este efecto. El mismo fenómeno es producido por vibraciones en cualquier parte del cable.



**Fig. 3.7** Fatiga de probeta de Acero

### **3.9.3 ABRASIÓN**

La abrasión es quizás el enemigo más común y destructivo del cable de acero. Se produce siempre que el cable roza o es arrastrado contra cualquier material. Este roce debilita el cable al producir desgaste en los alambres exteriores.

Como en el caso de la fatiga, el mejor remedio para el desgaste excesivo es utilizar la construcción más apropiada. Como regla general, a menor número de alambres y mayor diámetro de ellos, mayor es la resistencia al desgaste abrasivo. No siempre es necesario cambiar el tipo de cable utilizado pues muchos casos de desgaste anormal son producidos por defectos en el equipo. Por ejemplo, poleas mal alineadas o desgastadas, o enrollado incorrecto y otras condiciones irregulares que describiremos al tratar sobre el uso del cable.



**Fig. 3.8** Abrasión de probeta de Acero

### **3.9.4 APLASTAMIENTO**

El cable puede ser Aplastado por fuerzas exteriores en algunas ocasiones, pero lo más común es el Aplastamiento debido a la operación con cargas excesivas y también al uso de tambores lisos o con ranuras que no den el apoyo suficiente al cable. También, el aplastamiento es frecuente en los casos de enrollado en varias capas, en los puntos en que el cable se apoya sobre sí mismo.

Si la carga no puede ser disminuida o los tambores no pueden ser sustituidos por piezas más apropiadas para estas condiciones, debe recurrirse a cambiar el cable por uno de construcción más adecuada para resistir los efectos del aplastamiento. Si se está usando un cable con alma de fibra debe ser sustituido por uno con alma de acero, ya que ésta da mayor soporte a los torones e impide su deformación. Los cables de torcido REGULAR, son también más resistentes al aplastamiento que los de torcido LANG.

### **3.9.5 RESISTENCIA DE RESERVA**

La Resistencia de Reserva de un cable equivale a la resistencia combinada de todos sus alambres, excepto aquellos de las capas exteriores de los torones. A mayor número de alambres mayor es la Resistencia de Reserva, ya que al disminuir el diámetro de los alambres exteriores, mayor sección metálica estará concentrada en las capas internas del torón.

La Resistencia de Reserva tiene mayor importancia en los casos en que la rotura de un cable puede ocasionar accidentes de importancia. En estos casos

es recomendable la inspección frecuente por técnicos competentes y una selección del cable que se base fundamentalmente en este factor.

La tabla indica el porcentaje de Resistencia de Reserva en cables de 6 u 8 torones, relativas a la cantidad de alambres exteriores en cada torón.

**Tabla 3.2** Resistencia de Reserva de Cables de Acero

<b><i>Cantidad de alambres exteriores</i></b>	<b><i>Porcentaje de Resistencia de Reserva</i></b>
<b>6</b>	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>27</b>
<b>9</b>	<b>32</b>
<b>10</b>	<b>36</b>
<b>12</b>	<b>43</b>
<b>14</b>	<b>49</b>
<b>16</b>	<b>54</b>
<b>18</b>	<b>58</b>

### **3.9.6 EXPOSICIÓN A LA CORROSIÓN**

Los cables generalmente están instalados al aire libre: por lo tanto, obra sobre la acción corrosiva de la atmósfera. Un engrasado periódico evita, en parte, la oxidación; pero hay casos en que la corrosión es muy activa, y entonces se debe recurrir, para proteger los cables, a recubrimientos protectores, constituidos generalmente de zinc. La corrosión disminuye la sección metálica de los cables y al extenderse aquella lesiona los alambres, con lo cual se reduce la resistencia, capacidad contra la abrasión, elasticidad y flexibilidad de los cables.

El galvanizado de los alambres proporciona a éstos una mayor resistencia a la corrosión, pero aminora las características mecánicas del material, haciéndole perder un 10% de su resistencia y un 15% de su flexibilidad. En instalaciones fijas o en servicios de funcionamiento poco frecuente los cables galvanizados resultan mejores que los cables sin galvanizar, pero si el trabajo del cable es continuo la acción abrasiva destruye la capa protectora de zinc y se pierde la ventaja de tal protección.

En general, la mejor solución del problema es proteger los cables mediante un engrasado cuidadoso, realizado periódicamente, porque recurrir a los aceros inoxidable o a los bronce son soluciones que no satisfacen: la primera por su costo y la segunda por la poca resistencia del material.

Por consiguiente, para contrarrestar la corrosión de los cables se deben emplear estructuras con alambres gruesos, cuyos diámetros serán limitados por la flexibilidad que imponga el cable, y se realizará un engrasado cuidadoso y regular.

Si la corrosión fuera muy activa, entonces se debe recurrir al galvanizado de los alambres del cable.

### **3.10 FACTORES DE SEGURIDAD**

El factor de seguridad de un cable de acero es la relación entre la resistencia a la ruptura mínima garantizada del cable y la carga o fuerza de trabajo a la cual está sujeta. No es posible detallar el factor de seguridad para

todas las aplicaciones, porque también hay que considerar el ambiente y circunstancias en el área de trabajo, pero en la siguiente tabla se observa una guía general para la selección del correspondiente factor.

**Tabla 3.3** Factores de Seguridad de Cables de Acero

<b><i>Aplicación</i></b>	<b><i>Factor</i></b>
Tirantes de cable o torones (trabajo estático) para Tenso Estructuras	3 a 4
Cables principales para puentes colgantes	3 a 3.5
Cables de suspensión (péndulo para puentes colgantes)	3.5 a 4
Cables de tracción para teleféricos y andariveles	5 a 6
Cada cable de operación de una grúa almeja	4 a 5
Palas mecánicas - excavadoras	5
Cable de arrastre en minas	4 a 5
Cables de izaje en minas (vertical e inclinado)	7 a 8
Grúas tecles y polipastos industriales	6 (mínimo)
Ascensores - elevadores - para personal	12 a 15
Ascensores - elevadores - para material y equipos	7 a 10
Grúas con crisoles calientes de fundición	8 (mínimo)

Hay que tomar en cuenta que es necesario aumentar el factor de seguridad cuando hay vidas en juego, donde hay un ambiente muy corrosivo o donde una inspección frecuente es difícil de llevar a cabo.

### 3.11 ALARGAMIENTO DE UN CABLE DE ACERO

El alargamiento de un cable de acero en uso podría ser producto de varios factores, algunos de los cuales producen elongaciones que son muy pequeñas y generalmente pueden ser ignoradas. La lista siguiente cubre las causas principales de alargamiento de un cable. Las dos primeras son las más importantes y la tercera tiene una cierta influencia en determinadas circunstancias.

Alargamiento debido al acomodamiento de los alambres en los torones y los torones en el cable cuando está puesto en servicio lo que usualmente se conoce como "**Alargamiento Permanente por Construcción**".

El valor práctico de esta característica depende de muchos factores. Los más importantes son el tipo y construcción del cable, el rango de cargas aplicadas y la cantidad y frecuencia de los ciclos de operación. No es posible afirmar cifras exactas para los distintos tipos de cables en uso, pero los siguientes valores aproximados podrían ser empleados para conseguir resultados razonables.

**Tabla 3.4** Alargamientos de Cables de Acero

<b>CARGA</b>	<b>% Longitud del Cable</b>	
	<b>Alma de Fibra</b>	<b>Alma de Acero</b>
<b>Liviana (factor de seguridad 8:1)</b>	0.25	0.125
<b>Normal (factor de seguridad 5:1)</b>	0.5	0.25
<b>Pesada (factor de seguridad 3:1)</b>	0.75	0.50
<b>Pesada con muchos dobleces y deflexiones</b>	hasta 2.0	hasta 1.0

Alargamiento Elástico debido a la aplicación de una carga axial. Esta se comporta según la "Ley de Hooke" dentro de ciertos límites.

El módulo de elasticidad también varía, pero generalmente se incrementa con el aumento del área de la Sección de Acero. Usando los valores en la tabla siguiente, es posible obtener una estimación razonable del "Alargamiento Elástico". Como los usuarios de los cables van a encontrar cierta dificultad en conseguir el área metálica exacta, los siguientes valores están basados en el área circundante en relación al diámetro nominal del cable.

**Tabla 3.5** Módulos de Elasticidad de Cables de Acero

<b>Construcción Cables Negros</b>	<b>Módulo de Elasticidad (Kg/mm<sup>2</sup>)</b>
Serie 6 x 7 Alma de Fibra	6.3
Serie 6 x 7 Alma de Acero	7
Serie 6 x 19 Alma de Fibra	5
Serie 6 x 19 Alma de Acero	6
Serie 6 x 37 Alma de Fibra	4.7
Serie 6 x 37 Alma de Acero	5.6
Serie 18 x 7 Alma de Fibra	4.3
Serie 18 x 7 Alma de Acero	4.5
<b>Torones Galvanizados</b>	<b>Módulo de Elasticidad (Kg/mm<sup>2</sup>)</b>
1 x 7 (6/1)	11
1 x 19 (12/6/1)	10
1 x 37 (18/12/6/1)	9.5

Las cifras mencionadas son aproximadas y son aplicables a cables trabajando con un factor de seguridad de alrededor de 5:1. Se puede conseguir Módulos de Elasticidad más altos, trabajando con factores de seguridad inferiores a 5:1 y viceversa.

Entre otros factores de alargamiento tenemos:

- ✓ Expansión o Contracción Térmica debido a variaciones en la temperatura.
- ✓ Alargamiento causado por la rotación de un extremo libre del cable.
- ✓ Alargamiento debido al desgaste por fricción interna de los alambres en el cable, lo que reduce el área de la Sección de Acero originando un alargamiento permanente extra por construcción.
- ✓ El alargamiento permanente del cable cuando está sujeto a cargas axiales superiores al "Punto de Fluencia del Acero" (Límite elástico).

### **3.12 EJEMPLOS TÍPICOS DE DETERIORACIÓN DE CABLES DE ACERO**

- Daño mecánico debido al movimiento del cable con tensión sobre un canto vivo
- Desgaste localizado debido a la abrasión con una estructura de soporte. Vibración de un cable entre el tambor y la polea principal de izaje.
- Vía angosta de desgaste resultando en abrasión y fracturas por fatiga causada por un cable trabajando sobre una polea con

canaleta sobre dimensionada o corriendo sobre poleas chicas de apoyo

- Dos vías paralelas de alambres quebrados indicando una polea con una canaleta con diámetro insuficiente
- Desgaste severo asociado con presión excesiva sobre una polea con aparición del alma de fibra
- Corrosión severa debido a inmersión del cable en agua tratada químicamente
- Corrosión interna aguda aunque la superficie externa no muestra evidencia de deterioro. La falta de espacio entre los torones indica descomposición del alma de fibra
- Rotura del alambre como resultado de fatiga
- Roturas de alambre entre los torones con muestra de soporte insuficiente del alma
- Roturas en el alma de acero como resultado de tensión excesiva.
- Deformación del interior de los cordones debido a un desequilibrio en el torque durante su uso (tirones o golpes)
- Desgaste localizado y deformación debido a una coca previa en el cable
- Salida el alma de acero debido a tirones o golpes
- Un desgaste severo exterior y corrosión interna severa. Tensión excesiva, abrasión y corrosión.
- Un cable anti - giratorio con “jaula de pájaros” debido a un desequilibrio en el torque. Esta acumulación se puede encontrar en las puntas de anclaje del cable.

### 3.13 DETALLE PARA LA INSTALACIÓN DE GRAPAS

**Tabla 3.6** Detalle de instalación de grilletes o grapas

Diámetro nominal del cable, mm	Numero de perros o grapas	Espacio entre perros o grapas, mm	Longitud de cable doblado excluido el ojal
10	2	57	127
13	3	76	228
16	3	95	279
19	4	114	457
22	4	133	533
25	4	152	609
29	5	177	889
32	5	203	1016
35	6	228	1371
38	6	254	1524

### 3.14 TIPOS DE CABLES

Los cables también se pueden clasificar según su estructura y características más destacadas en los siguientes grupos:

- Cables espirales o cordones
- Cables normales
- Cables de igual paso
- Cables de cordones triangulares
- Cables anti giratorios
- Cables guardines
- Cables planos
- Cables semicerrados y cerrados



**Fig. 3.9** Modelo de Cable de Acero (alma de yute)

### 3.14.1 CABLES ESPIRALES O CORDONES

Se conocen también como cables de simple arrollamiento, en ellos los alambres están colocados en una o más capas arrolladas en forma de hélice alrededor de un núcleo. El núcleo generalmente lo forma un solo alambre.

Si esta construcción es ya un cable terminado, los alambres de las diferentes capas se arrollan en sentido alternado a izquierda y derecha y entonces se llama cable espiral. Cuando es un elemento de otro cable mayor, las distintas capas de alambres se arrollan en el mismo sentido y entonces se le llama cordón.

En general los cables espirales resisten bien el desgaste por rozamiento al tener una superficie aproximadamente cilíndrica y muy lisa.

En ellos se aprovecha bien la sección ya que en un diámetro relativamente pequeño se obtiene una capacidad de carga considerable. Al estar arrollado de forma alterna resiste bien la torsión. Además tienen un elevado módulo de elasticidad.

Al ser poco flexibles se usan fundamentalmente como cables estáticos, en cables finos se emplean para frenos y mandos de vehículos. Se usan también como cables carril de teleféricos, cables portadores de puentes colgantes, cables guía en extracción minera, contrapeso en ascensores y montacargas.

### **3.14.2 CABLES NORMALES**

Se forman con cordones cilíndricos arrollados helicoidalmente en torno a un núcleo o alma que puede ser de fibra o metálica.

Los cordones de estos cables son de alambres del mismo diámetro y el número de alambres en cada capa aumenta de 6 en 6, en progresión aritmética. Al ser todos los alambres del mismo diámetro son cables muy homogéneos

En estos cables el esfuerzo a la tracción se reparte de manera uniforme entre todos los alambres al estar arrollados con el mismo ángulo de cableado.

Su campo de aplicación es muy extenso, su limitación en el uso viene dada por su poca flexibilidad.

### **3.14.3 CABLES DE IGUAL PASO**

Las distintas capas de alambres que forman sus cordones están cableadas bajo el mismo paso, por ello los alambres de los cordones de las distintas capas no se cruzan entre sí y se apoyan a lo largo de toda su longitud en las ranuras que se forman entre cada dos alambres contiguos de la capa inferior. Su aspecto exterior es igual al de los cables normales y es preciso observar su sección para poderlos diferenciar.

Las composiciones más frecuentes son:

- Seale
- Warrington
- Relleno

En general los cables de igual paso gozan de mayor flexibilidad, gran resistencia a la compresión lateral y una elevada carga de rotura.

#### **3.14.4 CABLES DE CORDONES TRIANGULARES**

Estos cables están formados por seis cordones de forma aproximada a un triángulo equilátero.

#### **3.14.5 CABLES ANTIGIRATORIOS**

El cable de acero bajo la acción de una carga gira sobre su propio eje. Este fenómeno se debe al arrollamiento en hélice de los alambres y cordones, y al sentido de giro, que es opuesto al sentido de arrollamiento del cable, de modo que tiende siempre a desenrollarse.

Cuando la altura del izaje es considerable (dependiendo del diámetro del cable y otros factores), este problema comienza a adquirir importancia y en los sistemas de dos o más líneas, es muy probable que los cables se enrosquen entre sí.

Esto genera una condición altamente dañina para el cable y peligrosa para la seguridad de las personas. Hay instalaciones que resuelven este problema utilizando cables de torsión derecha e izquierda, trabajando en pares, haciendo

la salvedad de que en general los cables de torsión izquierda se fabrican solamente sobre pedido.

En la mayoría de los casos, en cambio, la solución consiste en utilizar cables de acero del tipo anti giratorios. En resumen estos cables se emplean para levantar cargas no guiadas (que pueden rotar libremente), con alturas de izamientos considerables.

El diseño y tipo constructivo de estos cables se basa en componer elementos cuyos momentos torsores se equilibren unos a otros, produciendo una resultante prácticamente nula.

Los diseños más utilizados son los llamados multicordones, entre los cuales el más popular es el 18x7+ 1x7, usualmente llamado "19x7". En este diseño se componen dos capas de 6 y 12 cordones respectivamente, sobre un alma de un cordón, siendo todos estos cordones prácticamente iguales, de 7 alambres cada uno.

El resultado es un cable de propiedades altamente anti giratorias, con una excelente resistencia a la tracción, con mediana flexibilidad y resistencia al aplastamiento.

Existen otras posibles construcciones, todas basadas en el mismo principio.

La construcción 34x7 es más flexible y más eficiente como anti giratoria, aunque también es algo menos estable.

### 3.15 CLASIFICACIÓN DE LOS CABLES

#### 3.15.1 CLASIFICACIÓN 6X19

La construcción más popular por su alta resistencia y gran flexibilidad, los torones están compuestos de 19 a 26 alambres. Cable 6 x 25 filler, negro con alma de fibra o con alma de acero. Construcciones especiales como la 6 x 21 negro con alma de fibra, regular izquierdo sin preformar. Se pueden surtir en torcido regular o lang. La construcción 3x19 negro slusher. El cable 6 x 19 galvanizado con ambas almas utilizado en aplicaciones de alta corrosión o marinas. Dentro de la clasificación 6x19, el cable 6x24 galvanizado con alma de fibra es también muy común en aplicaciones marinas.



Fig. 3.10 Cables de Acero 6x19 con alma (fibra o acero)

#### 3.15.2 CLASIFICACIÓN 6X37

Estos cables tienen de 31 hasta 49 alambres por torón, por lo cual son más flexibles que los cables clasificación 6x19, su aplicación es recomendada en baja abrasión. Negro con alma de fibra es ideal para grúas viajeras y mástiles, para maniobras en general, con alma de acero se utiliza en dragas, palas mecánicas y en el montaje y operación de grúas torre.

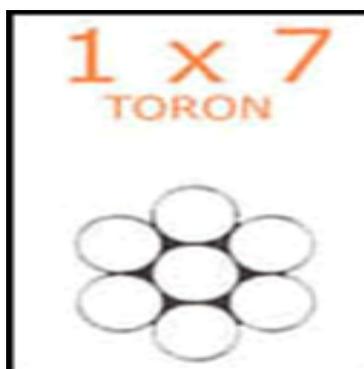
El cable 6 x 36 galvanizado o negro con alma de fibra en aplicaciones de barcos pesqueros, con alma de acero galvanizado para el anclaje de plataformas petroleras y aplicaciones marinas.



**Fig. 3.11** Cables de Acero 6x37 con alma (fibra o acero)

### 3.15.3 CLASIFICACIÓN 1X7

Se consideran bajo este rubro una serie de construcciones que abarcan desde 7 hasta 87 alambres, estos también para construcciones complejas del tipo 7 x 19, todos ellos tienen una aplicación básica para soporte de grandes claros sin la utilización de columnas, como tensores o atirantados de estructuras, tiros de mina, antenas de torres de radio y TV o bien cables estructurales utilizados para puentes o cruzamientos de ríos y barrancas.



**Fig. 3.12** Torón 1x7

### 3.15.4 CLASIFICACIÓN 18X7

Diseñados para una mínima tendencia al giro. Construidos con 18, 19, 34 ó 35 torones. El cable 18 x 7 negro con alma de fibra y el cable 19 x 7 negro con alma de torón son utilizados en la industria de la construcción en grúas torre, así como profundización de tiros y contrapesos mineros. El cable 34 x 7 con alma de fibra y el cable 35 x 7 negro con alma de torón utilizado también en grandes grúas.

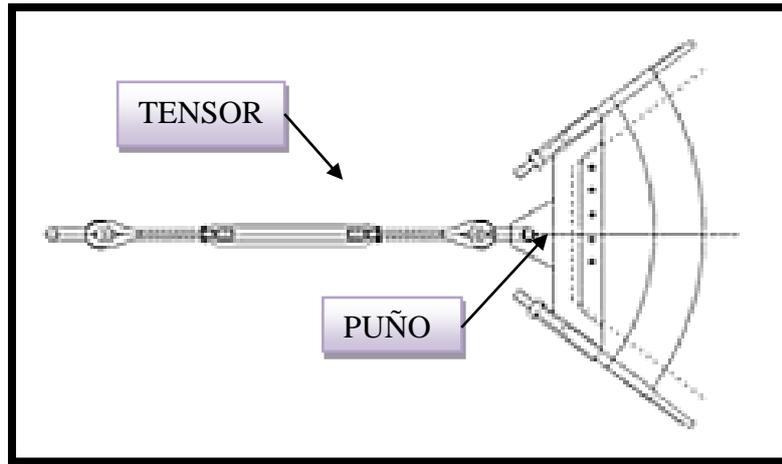


Fig. 3.13 Cables de Acero 18x7 con alma de fibra

### 3.16 PUÑOS

Resuelven el punto de unión entre dos bordes. Los problemas concernientes a la fijación de un paño de la membrana en estos puños dependen principalmente de tres factores:

- De la geometría del puño.
- Si el borde es flexible ó rígido.
- De la magnitud de las fuerzas tangenciales.



**Fig. 3.14** Configuración del Anclaje (puño + tensor)



**Fig. 3.15** Puño de acero (rígido) y anclaje (móvil)



**Fig. 3.16** Puño de acero (rígido) y anclaje (móvil) empotrado.

### 3.17 ANCLAJES

#### 3.17.1 DEFINICION

Entre los distintos tipos de arrostros de una estructura, los **anclajes**, se posicionan como la opción técnica y más económica de la actualidad, permitiendo rebajar los plazos de realización de obra y facilitando además la ejecución de la misma.

En la actualidad existen varios tipos de **anclajes**:

- **Anclajes provisionales:** Este tipo de anclaje como su propia palabra indica se usa de forma temporal, ya que tras su utilización queda inservible debido a la corrosión.

- **Anclajes permanentes:** Este tipo de anclaje lleva un tratamiento anticorrosivo y su función es la de sujetar a la estructura de forma definitiva.



**Fig. 3.17** Anclaje de acero en pantalla de hormigón

Todos los tipos de anclajes se llevan a cabo a través de los sistemas de **rotación o rotopercusión**

### 3.17.2 TIPOS DE ANCLAJES

Existen una variedad muy grande de formas de anclajes según el tipo de estructura que se analice, en nuestro caso el anclaje será a través de cables de aceros galvanizados (con o sin alma), como muestra la figura 3.18:



**Fig. 3.18** Anclaje de acero para estructuras tensadas



**Fig. 3.19** Anclaje de acero con columna

### 3.17.3 ACCESORIOS

#### 3.17.3.1 GRAPAS DE ACERO INOXIDABLE PARA CABLE

- Toda la grapa está hecha en acero inoxidable 316 para resistir la acción corrosiva y oxidación.
- Todos los componentes están pulidos para evitar imperfecciones en el acabado.
- Todas las grapas se empaquetan y etiquetan individualmente con las instrucciones de aplicación y advertencias apropiadas, (figura 3.20)



**Fig. 3.20** Grillete o Grapa de acero

#### 3.17.3.2 TERMINALES DE VACIO CERRADOS

- Terminales de vaciado de acero forjado hasta 1-1/2"; acero de aleación fundido entre 1-5/8" y 4".
- Las terminales de vaciado poseen una clasificación de eficiencia del 100%, basado en la resistencia del cable según el catálogo. La clasificación se basa en el uso recomendado con cable 6x7, 6x19, o 6x37 (ver figura 3.21).

**Cuadro 3.4** Cargas de Ruptura según el diámetro

Diám. del cable		Diám. de hebras estructural (plg)	Carga Ruptura (t)
(plg.)	(mm)		
1/4	6-7	-	4.50
5/16 - 3/8	8-10	-	12.0
7/16 - 1/2	11-13	-	20.0
9/16 - 5/8	14-16	1/2	30.8
3/4	18	9/16 - 5/8	43.5
7/8	20-22	11/16 - 3/4	65.3
1	24-26	13/16 - 7/8	81.6
1-1/8	28-30	15/16 - 1	100
1-1/4 - 1-3/8	32-35	1-1/16 - 1-1/8	136
1-1/2	38	1-3/16 - 1-1/4	170
† 1-5/8	† 40-42	1-5/16 - 1-3/8	188
† 1-3/4 - 1-7/8	† 44-48	1-7/16 - 1-5/8	268
† 2 - 2-1/8	† 50-54	1-11/16 - 1-3/4	309
† 2-1/4 - 2-3/8	† 56-60	1-13/16 - 1-7/8	360
† 2-1/2 - 2-5/8	† 64-67	1-15/16 - 2-1/8	424
† 2-3/4 - 2-7/8	† 70-73	2-3/16 - 2-7/16	549
† 3 - 3-1/8	† 75-80	2-1/2 - 2-5/8	656
† 3-1/4 - 3-3/8	† 82-86	2-3/4 - 2-7/8	750
† 3-1/2 - 3-5/8	† 88-92	3 - 3-1/8	820
† 3-3/4 - 4	† 94-102	-	1005



**Fig. 3.21** Terminal cerrado

### 3.17.3.3 TERMINALES DE VACIADO ABIERTOS

- Terminales de vaciado de acero forjado hasta 1-1/2"; acero de aleación fundido entre 1-5/8" y 4".
- Las terminaciones de vaciados tienen una clasificación de eficiencia del 100%, basado en la resistencia del cable según el catálogo. La clasificación se basa en el uso recomendado con cable 6x7, 6x19, o 6x37 (ver figura 3.22).

**Cuadro 3.5** Cargas de Ruptura según el diámetro

Diám.del cable		Diám.de hebras estructural (plg)	Carga Ruptura (t)
(plg.)	(mm)		
1/4	6-7	-	4.5
5/16-3/8	8-10	-	12
7/16-1/2	11-13	-	20
9/16-5/8	14-16	1/2	27
3/4	18	9/16-5/8	43
7/8	20-22	11/16-3/4	55
1	24-26	13/16-7/8	78
1-1/8	28-30	15/16-1	92
1-1/4 - 1-3/8	32-35	1-1/16 - 1-1/8	136
1-1/2	38	1-3/16 - 1-1/4	170
* 1-5/8	* 40-42	1-5/16 - 1-3/8	188
* 1-3/4 - 1-7/8	* 44-48	1-7/16 - 1-5/8	268
* 2 - 2-1/8	* 50-54	1-11/16 - 1-3/4	291
* 2-1/4 - 2-3/8	* 56-60	1-13/16 - 1-7/8	360
* 2-1/2 - 2-5/8	* 64-67	1-15/16 - 2-1/8	424
* 2-3/4 - 2-7/8	* 70-73	2-3/16 - 2-7/16	511
* 3 - 3-1/8	* 75-80	2-1/2 - 2-5/8	563
* 3-1/4 - 3-3/8	* 82-86	2-3/4 - 2-7/8	722
* 3-1/2 - 3-5/8	* 88-92	3 - 3-1/8	779
* 3-3/4 - 4	* 94-102	-	875



**Fig. 3.22** Terminal abierto y tabla de Carga

#### **3.17.3.4 GUARDACABO ABIERTO**

- Acero galvanizado por inmersión en caliente.
- Recomendado para aplicaciones livianas donde el guardacabo está ensamblado con otro accesorio (como los grilletes o eslabones maestros), ver figura 3.23



**Fig. 3.23** Guardacabo Abierto

### 3.17.3.5 GUARDACABO SÓLIDO

- Hierro dúctil fundido.
- Adecuado para el perno de la terminal de vaciado abierta, la horquilla para pluma de grúa y la terminal de cuña (ver figura 3.24).



**Fig. 3.24** Guardacabo Cerrado

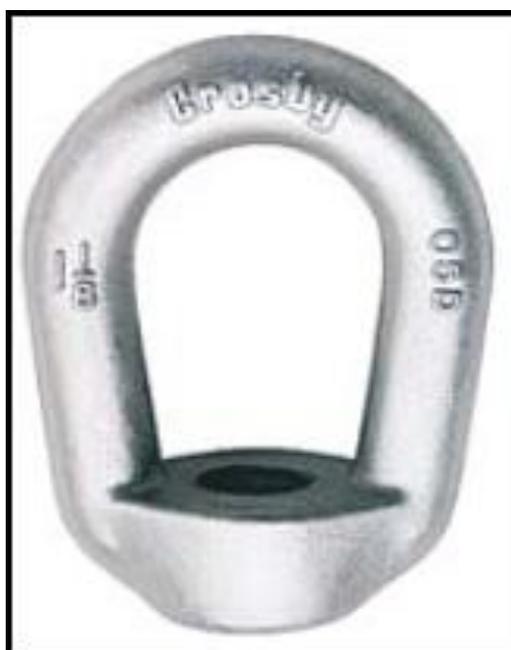
### 3.17.3.6 OJILLOS FORJADOS CERRADOS

- Acero forjado - Templado y revenido.
- Galvanizados por inmersión en caliente.
- Machueledos con rosca estándar UNC clase 2 después de galvanizado.
- Los Ojillos Roscados cumplen o exceden todas las normativas de ASME B30.26 incluyendo identificación, ductilidad, factor de diseño, carga de prueba y requisitos de temperatura, además cumplen con otros requisitos críticos de rendimiento que incluyen índices de fatiga, propiedades de impacto, y capacidad de rastrear el material que no han sido abordados por ASME B30.26.

- Recomendado para tensión lineal o vertical (ver figura 3.25).

**Cuadro 3.6** Cargas Límite de trabajo

No. de tamaño	"S" No. de parte (plg.)	G-400 No. de parte	Diámetro Máximo de Rosca	Carga límite de trabajo (lbs.)*
1	.25	1090438	1/4	520
2	.31	1090474	3/8	1250
3A	.38	1090517	1/2	2250
4	.50	1090535	5/8	3600
5	.63	1090553	3/4	5200
6	.75	1090571	7/8	7200
7	.88	1090599	1	10000
8	1.00	1090633	1-1/4	15500
9	1.13	1090651	1-3/8	18500
10	1.25	1090679	1-1/2	22500
11	1.50	1090697	2	40000



**Fig. 3.25** Ojillos Cerrados

### 3.17.3.7 TENSORES

- Galvanizado por inmersión en caliente.
- Extremos templados y revenidos, cuerpos con tratamiento térmico normalizados.
- Las Terminales Templados y Revenidos y los cuerpos normalizados poseen propiedades de impacto mejoradas, para una mayor resistencia a todas las temperaturas.
- Ganchos forjados con área transversal incrementada que da como resultado un gancho resistente con mejores propiedades de fatiga.
- Rosca universal modificada UNJ para mejores propiedades de fatiga. El cuerpo tiene rosca UNC.
- Ojos ovalados del tensor forjado, por diseño, facilitan el ensamble y minimizan la tensión en el ojo. Para los tensores entre 1/4" y 2-1/2" se puede ensamblar un grillete más pequeño a través del ojo.
- Los tensores se recomiendan para tracción recta o en línea solamente.
- Tuercas de seguridad disponibles para todos los tamaños.
- Las terminales templados y revenidos y los cuerpos normalizados poseen propiedades de impacto aumentadas para una mayor firmeza en todas las temperaturas.
- Propiedades de niveles de dureza típicos, resistencia tensora y ductilidad están disponibles en todos los tamaños.

- Los tensores se pueden entregar con prueba a plena carga o con inspección magnética certificada si el cliente lo solicita.
- Cumplen o exceden todas las normativas de ASME B30.26 incluyendo identificación, ductilidad, factor de diseño, carga de prueba, y requisitos de prueba, además cumplen con otros requisitos críticos de rendimiento que incluyen índices de fatiga, propiedades de impacto, y capacidad de rastrear el material que no han sido abordados por ASME B30.26.
- Las combinaciones de ensambles para tensores incluyen: ojo y ojo, gancho y gancho, gancho y ojo, quijada y quijada, quijada y ojo (ver figuras 3.26; 3.27; 3.28).



**Fig. 3.26** Gancho-Gancho y Gancho-Ojo



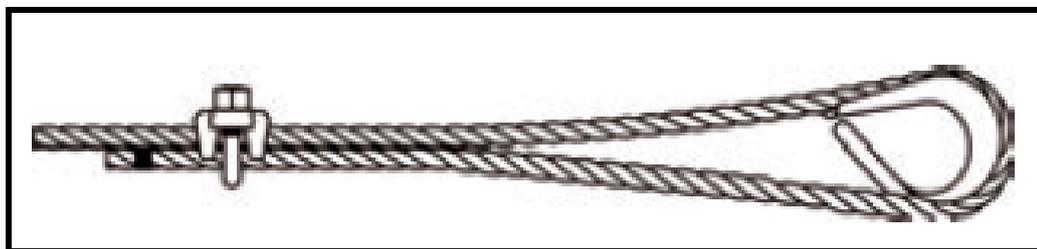
**Fig. 3.27** Ojo-Ojo y Quijada-Ojo



**Fig. 3.28** Quijada-Quijada

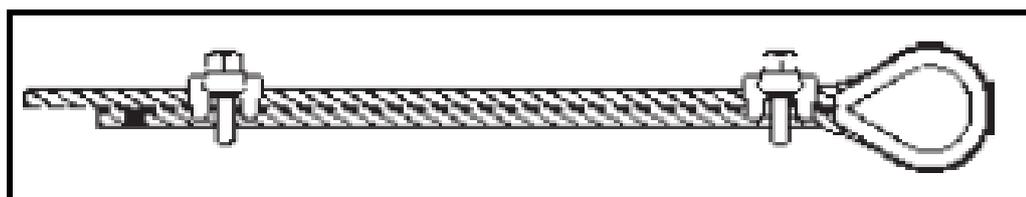
### 3.17.3.8 PROCEDIMIENTO DE ARMADO DE LOS ACCESORIOS

- Doblar hacia atrás la cantidad de cable especificada, desde el guardacabo u ojo. Colocar la primera grapa a una distancia equivalente a la base de la grapa desde el extremo muerto del cable. Aplicar el tornillo “U” sobre el extremo muerto del cable, el extremo vivo descansa en la base. Apretar las tuercas uniformemente con torquímetro alternando de una a la otra hasta lograr el torque recomendado (ver figura 3.29).



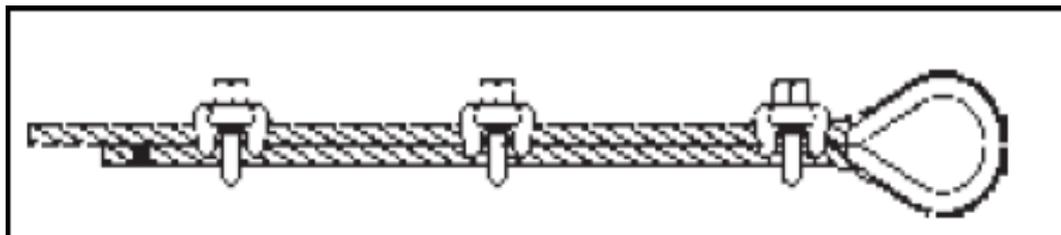
**Fig. 3.29** Colocación de una grapa y guardacabo

- Cuando se requiere dos grapas, aplicar la segunda grapa lo más cerca posible del guardacabo. Apretar las tuercas alternando el torque recomendado con torquímetro. Cuando se requieran más de dos grapas, colocar la segunda grapa lo más cerca posible del guardacabo u ojo, a continuación gire las tuercas de la segunda grapa pero no las apriete (fig.3.30).



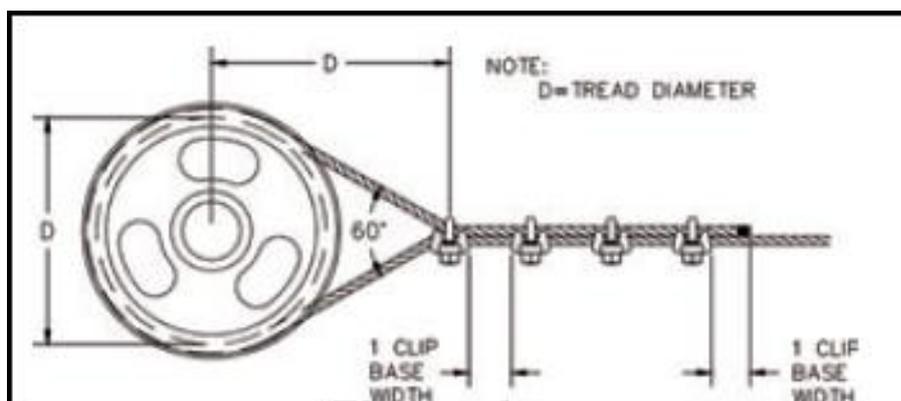
**Fig. 3.30** Colocación de dos grapas y guardacabo.

- Cuando se requieren tres o más grapas, espaciar las grapas adicionales a la misma distancia entre las dos primeras, tensar el cable flojo y apretar uniformemente las tuercas en cada tornillo U, alternando de una tuerca a la otra hasta lograr el torque recomendado con torquímetro, ver figura 3.31.



**Fig. 3.31** Colocación de tres grapas o más y guardacabo.

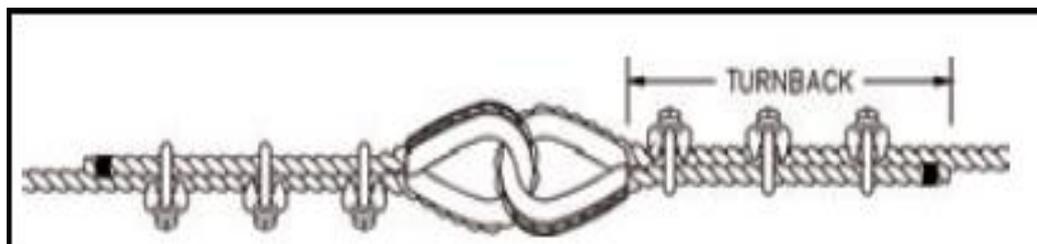
- Si se utiliza una polea en lugar de un guardacabo, añadir una grapa adicional. La distancia de las grapas deben ser ubicadas como indica en el dibujo, ver figura 3.32.



**Fig. 3.32** Utilización de polea en amarre

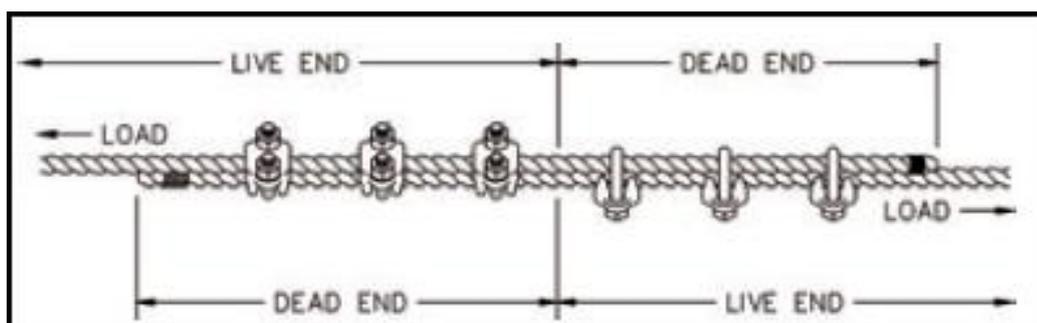
### 3.17.3.9 EMPALMES DE CABLES

- El método preferido para empalmar dos cables es usar dos ojos de torniquete para empalmarlos con guardacabos, y utilizar la cantidad adecuada de grapas en cada ojo, ver figura 3.33.



**Fig. 3.33** Empalme entre cables con guardacabos

- Un método alternativo es usar dos veces la cantidad de grapas usadas en una terminación de empalme. Los cables se colocan en forma paralela uno del otro y quedan sobre montados dos veces la cantidad de cable usada en un torniquete, según se muestra en las instrucciones de aplicación. Cada punta muerta debe llevar el mismo número mínimo de grapas, ver figura 3.34.



**Fig. 3.34** Empalme intercalado con grapas

En el siguiente cuadro se muestra las características según el número de grapas:

**Cuadro 3.7** Accesorios en función del diámetro del cable.

Tamaño grapa (plg.)	Tamaño cable (plg.)	No. mínimo de grapas	Cantidad de cable a doblar en pulgadas	*Torque en lbs -pie
1/8	1/8	2	3-1/4	4.5
3/16	3/16	2	3-3/4	7.5
1/4	1/4	2	4-3/4	15
5/16	5/16	2	5-1/4	30
3/8	3/8	2	6-1/2	45
7/16	7/16	2	7	65
1/2	1/2	3	11-1/2	65
9/16	9/16	3	12	95
5/8	5/8	3	12	95
3/4	3/4	4	18	130
7/8	7/8	4	19	225
1	1	5	26	225
1-1/8	1-1/8	6	34	225
1-1/4	1-1/4	7	44	360
1-3/8	1-3/8	7	44	360
1-1/2	1-1/2	8	54	360
1-5/8	1-5/8	8	58	430
1-3/4	1-3/4	8	61	590
2	2	8	71	750
2-1/4	2-1/4	8	73	750
2-1/2	2-1/2	9	84	750
2-3/4	2-3/4	10	100	750
3	3	10	106	1200
3-1/2	3-1/2	12	149	1200

### 3.18 PLACAS O PLATINAS METÁLICAS

#### 3.18.1 DEFINICIÓN

El Acero es una aleación de hierro que contiene entre un 0,04 y un 2,25% de carbono y a la que se añaden elementos como níquel, cromo, manganeso, silicio o vanadio, entre otros.

La Siderurgia es la tecnología relacionada con la producción del hierro y sus aleaciones, en especial las que contienen un pequeño porcentaje de carbono, que constituyen los diferentes tipos de acero y las fundiciones.

Para fabricar aleaciones de hierro y acero se emplea un tipo especial de aleaciones de hierro denominadas ferroaleaciones, que contienen entre un 20 y un 80% del elemento de aleación, que puede ser manganeso, silicio o cromo.

Las capacidades de las pletinas de anclaje son válidas para situaciones de cargas estáticas. Para casos especiales como situaciones de fatiga o cargas dinámicas se requiere realizar un cálculo estructural más detallado.

La tolerancia tenida en cuenta en las capacidades de las pletinas de anclaje, debida a excentricidades causadas en su producción o colocación, es de **20 mm**. Mayores excentricidades de colocación, posicionamiento del perfil en la pletina, sus dimensiones (mínima área de anclaje), etc..., tienen que tomarse en cuenta en el cálculo de la capacidad de la pletina de anclaje.

**Cuadro 3.8** Dimensiones y calidades de las pletinas.

	Se laminan en forma individual a partir de planchones y corresponden a aquellas cuyo espesor final es igual a mayor a 6 mm y cuyos extremos están cortados mecánicamente o por soplete.	
Aplicaciones	Calidades	Dimensiones
Uso en Construcción, Industria y Transporte para: Estructuras, Tubos soldados, Recipientes a presión  Cascos de Barcos	Varía según su uso.	Espesor: 6 a 50 mm. Ancho: 1.000 a 2.000 mm. Largo: 3.700 a 12.000 mm. Combinaciones de <u>ancho</u> y largo dependen del espesor.

### **3.18.2 CLASIFICACIÓN DEL ACERO**

Los diferentes tipos de acero se agrupan en cinco clases principales: aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultra resistente, aceros inoxidables y aceros de herramientas.

#### **3.18.2.1 ACEROS AL CARBONO**

Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono y menos del 1,65% de manganeso, el 0,60% de silicio y el 0,60% de cobre. Entre los productos fabricados con aceros al carbono figuran máquinas, carrocerías de automóvil, la mayor parte de las estructuras de construcción de acero, cascos de buques, somieres y horquillas o pasadores para el pelo.

#### **3.18.2.2 ACEROS ALEADOS**

Estos aceros contienen una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono normales.

Estos aceros se emplean, por ejemplo, para fabricar engranajes y ejes de motores, patines o cuchillos de corte.

#### **3.18.2.3 ACEROS DE BAJA ALEACIÓN ULTRA RESISTENTES**

Esta familia es la más reciente de las cinco grandes clases de acero. Los aceros de baja aleación son más baratos que los aceros aleados

convencionales ya que contienen cantidades menores de los costosos elementos de aleación.

Sin embargo, reciben un tratamiento especial que les da una resistencia mucho mayor que la del acero al carbono. Por ejemplo, los vagones de mercancías fabricados con aceros de baja aleación pueden transportar cargas más grandes porque sus paredes son más delgadas que lo que sería necesario en caso de emplear acero al carbono.

Además, como los vagones de acero de baja aleación pesan menos, las cargas pueden ser más pesadas. En la actualidad se construyen muchos edificios con estructuras de aceros de baja aleación.

Las vigas pueden ser más delgadas sin disminuir su resistencia, logrando un mayor espacio interior en los edificios.

#### **3.18.2.4 ACEROS INOXIDABLES**

Los aceros inoxidables contienen cromo, níquel y otros elementos de aleación, que los mantienen brillantes y resistentes a la herrumbre y oxidación a pesar de la acción de la humedad o de ácidos y gases corrosivos. Algunos aceros inoxidables son muy duros; otros son muy resistentes y mantienen esa resistencia durante largos periodos a temperaturas extremas.

Debido a sus superficies brillantes, en arquitectura se emplean muchas veces con fines decorativos. El acero inoxidable se utiliza para las tuberías y tanques de refinerías de petróleo o plantas químicas, para los fuselajes de los aviones o para cápsulas espaciales.

También se usa para fabricar instrumentos y equipos quirúrgicos, o para fijar o sustituir huesos rotos, ya que resiste a la acción de los fluidos corporales. En cocinas y zonas de preparación de alimentos los utensilios son a menudo de acero inoxidable, ya que no oscurece los alimentos y pueden limpiarse con facilidad.

### **3.18.2.5 ACEROS DE HERRAMIENTAS**

Estos aceros se utilizan para fabricar muchos tipos de herramientas y cabezales de corte y modelado de máquinas empleadas en diversas operaciones de fabricación. Contienen wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación, que les proporcionan mayor resistencia, dureza y durabilidad.

### **3.18.3 TIPOS DE PLATINAS**

#### **3.18.3.1 Fleje de Acero Laminado en Caliente**

**a.- Formatos (mm):**

- ✓ Espesor: 1,5 a 4
- ✓ Ancho: 20 a 1.500

**b.- Usos:**

- ✓ Estructura para plegado.
- ✓ Piezas para montaje mediante soldadura y remachado.
- ✓ Componentes para diversas industrias.
- ✓ Fabricación de partes para la industria de la construcción, minería y metalmecánica.

**c.- Características:**

- ✓ Elevadas características mecánicas.
- ✓ Buena conformabilidad.
- ✓ Excelente Soldabilidad.

**d.- Normas:**

- ✓ Norma de acero para uso estructural NCh 203 of 2006 según las distintas calidades.
- ✓ A 42-27 ES (A 270 ES)
- ✓ A 37-24 ES ( A 240 ES)
- ✓ Norma de acero estructural para uso general ASTM A36M-96.

### **3.18.3.2 Plancha de Acero Laminado en Frio**

**a.- Espesor:** 0,25 a 1,90

**b.- Formatos (mm):**

- ✓ Ancho: 20 a 1500
- ✓ Largo: 300 a 5600

**c.- Usos:**

- ✓ Procesos de plegado y embutición profunda.
- ✓ Industria automotriz, línea blanca, muebles metálicos, aparatos de calefacción y ventilación.
- ✓ Tubos y perfiles pequeños.

**d.- Características:**

- ✓ Buenas características mecánicas (elasticidad, formabilidad y resistencia a la tracción).
- ✓ Ductilidad (alargamiento de ruptura).
- ✓ Maleabilidad.
- ✓ Acero base para Zinc Alum.

**e.- Normas:**

- ✓ SAE 1010.
- ✓ EK acero para embutición.

### 3.18.3.3 Plancha de Acero Galvanizado

**a.- Espesor (mm):** 0,30 a 1,9

**b.- Formatos (mm):**

- ✓ Ancho: 20 a 1500
- ✓ Largo: 300 a 5600

**c.- Usos:**

- ✓ Industria de refrigeración y aire acondicionado.
- ✓ Construcción, línea blanca y automotriz.
- ✓ Metalmecánica en general.

**d.- Características:**

- ✓ Acero laminado en frio recubierto de Zinc (Galvanizado).

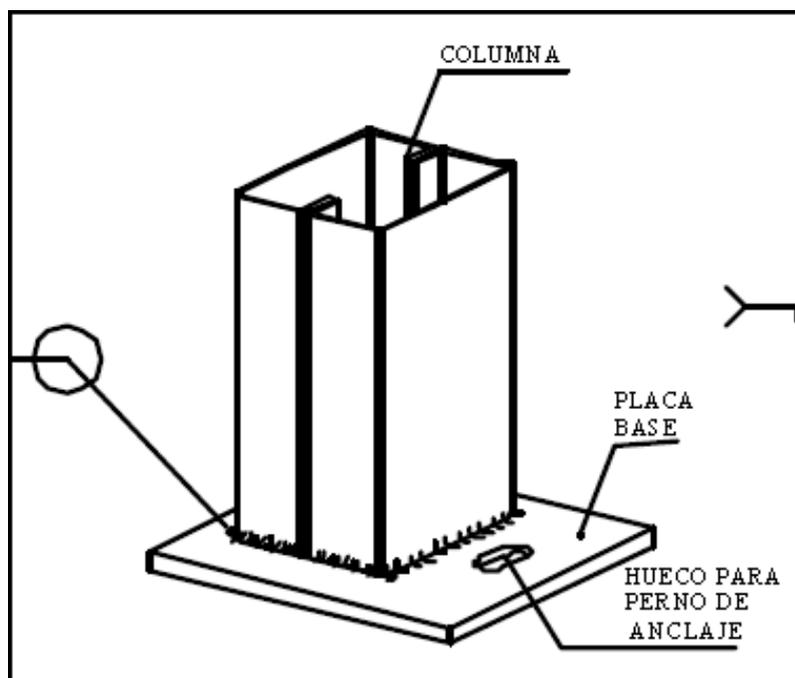
- ✓ Resistente a la corrosión y condiciones extremas.
- ✓ Combina la resistencia del acero y la durabilidad de zinc.
- ✓ Excelente conformabilidad.
- ✓ Disponible en diferentes grados para plegado y estampado.

**e.- Normas:**

- ✓ ASTM 653 Calidad Comercial G60.
- ✓ ASTM 653 Calidad Comercial G40, espesor 0.30Mm.

### 3.18.4 FORMAS Y UNIONES

Existen una variedad de tipos, formas y uniones; las mismas que se describen a continuación:



**Fig. 3.35** Articulación para columna cuadrada

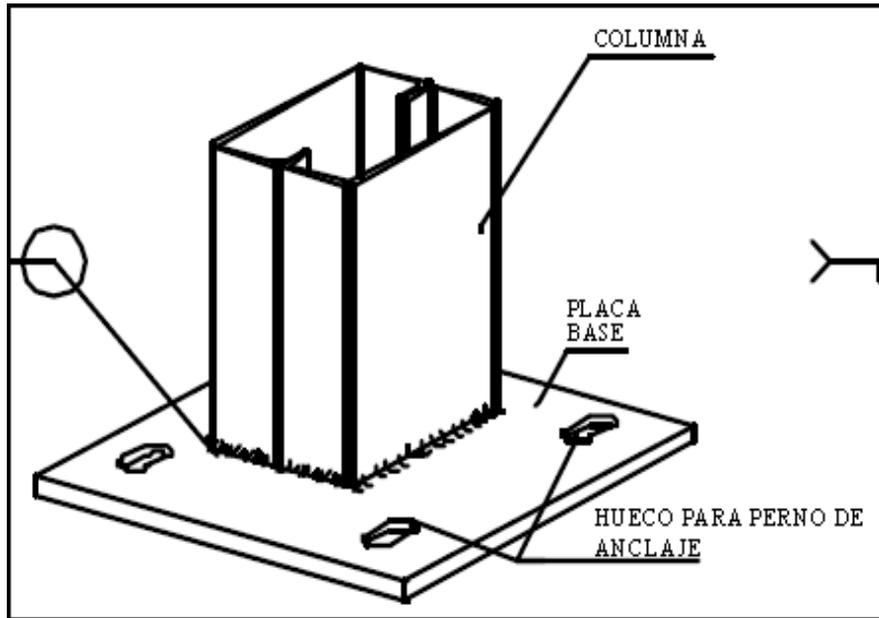


Fig. 3.36 Articulación para columna rectangular

#### 3.18.4.1 Articulación para columna en construcción compuesta

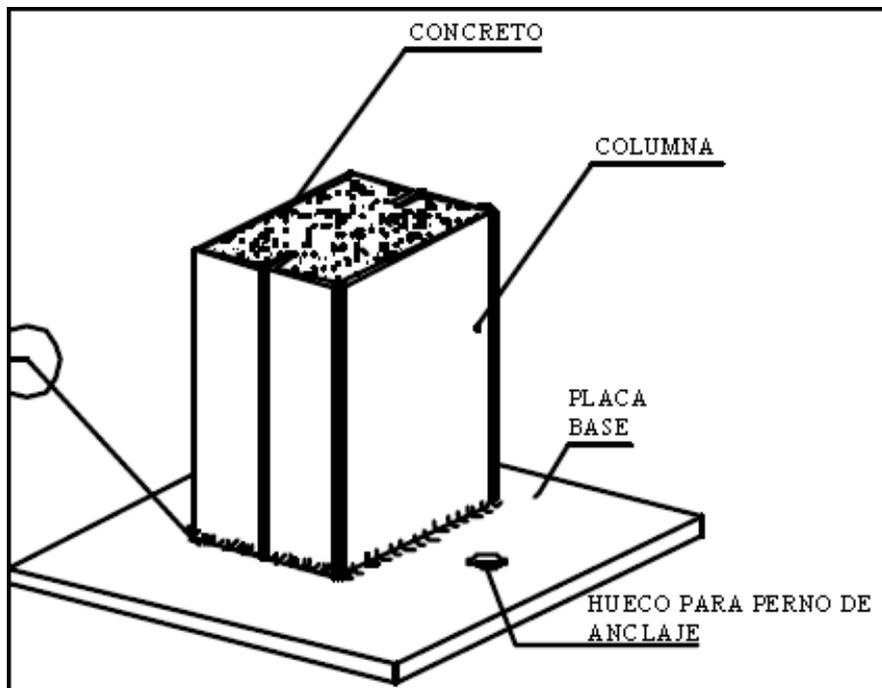


Fig. 3.37 Articulación para columna compuesta

### 3.18.4.2 Articulación con tuercas ajustables grout de nivelación

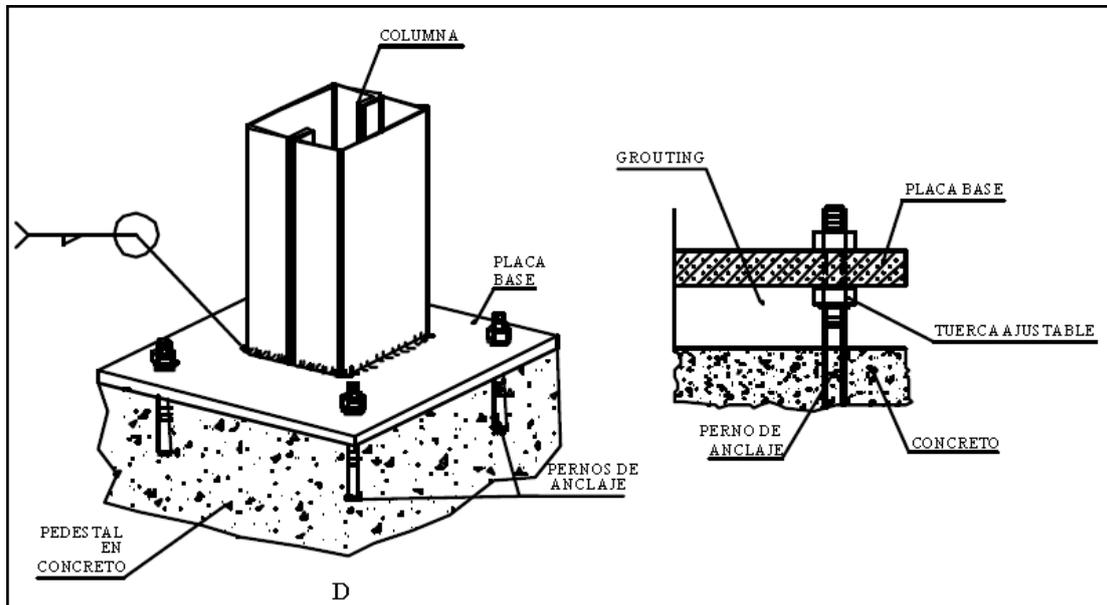


Fig. 3.38 Articulación con tuercas de nivelación

### 3.18.4.3 Articulación ideal con pasador

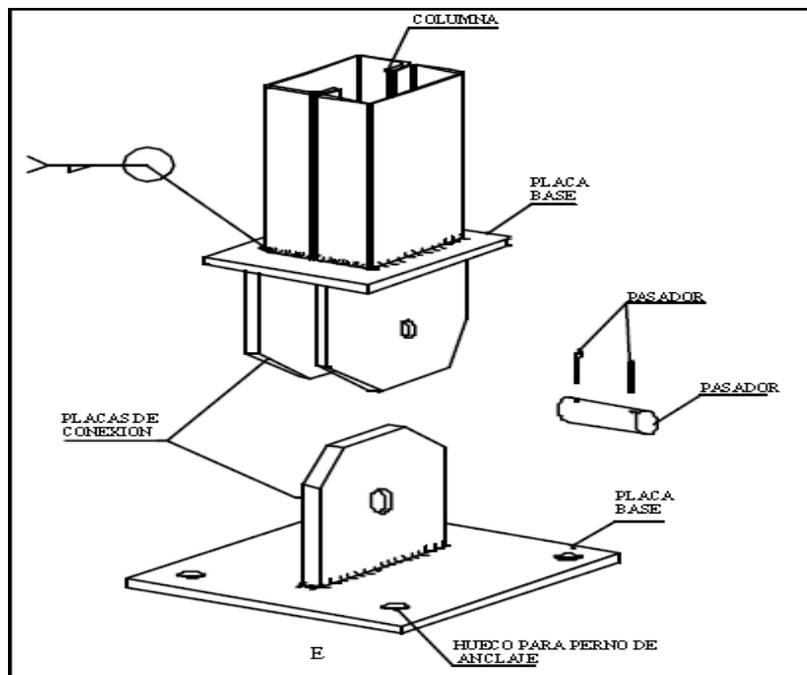


Fig. 3.39 Articulación con pasador

### 3.18.4.4 Articulación para columna conformada por dos perfiles "c" unidos espalda con espalda

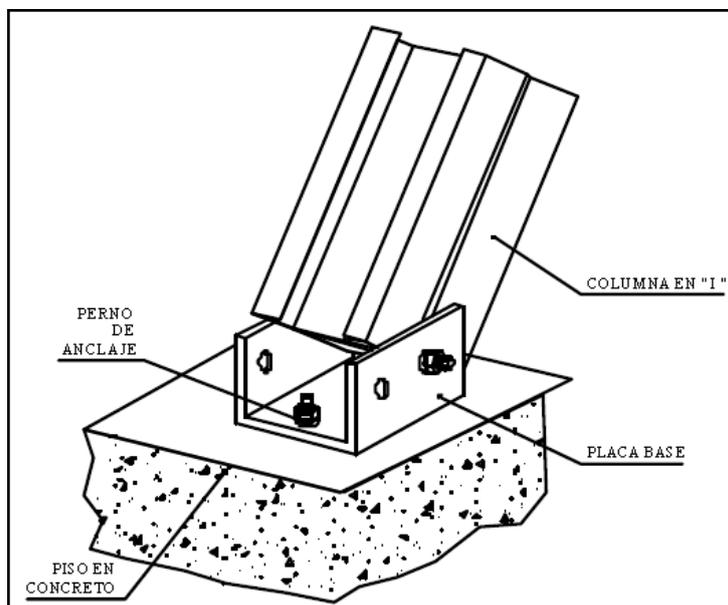


Fig. 3.40 Articulación para 2 perfiles "c"

### 3.18.4.5 Alternativa de articulación con placa de conexión doblada

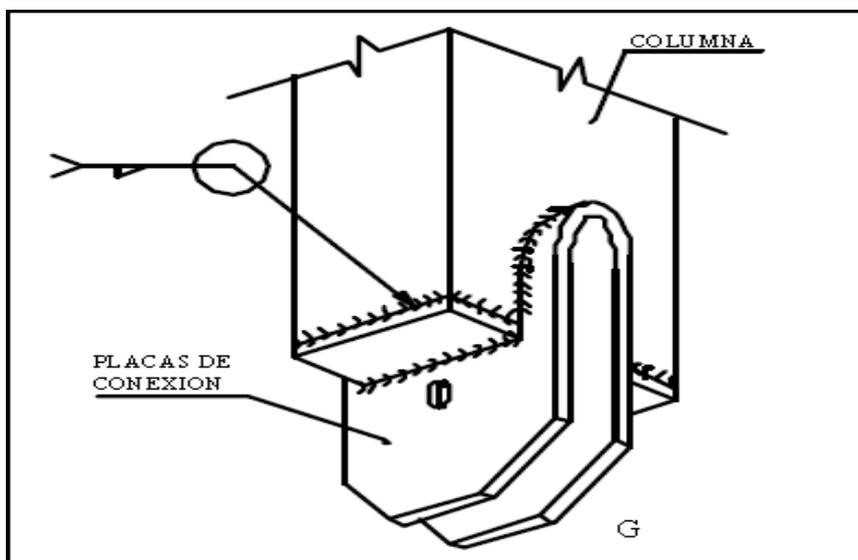


Fig. 3.41 Articulación con placa de conexión doblada

### 3.19 PERNOS

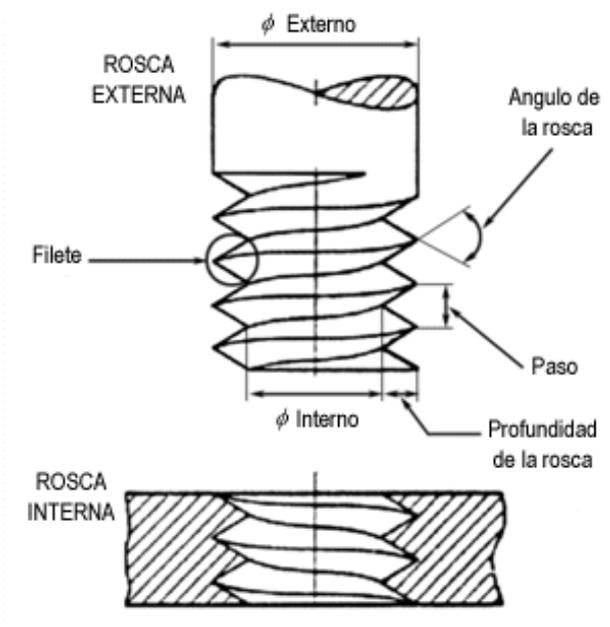
#### 3.19.1 DEFINICION

Pieza de núcleo cilíndrico o cónico, con un resalto en hélice, llamado filete o rosca, cuya sección puede presentar varias formas geométricas y cuya cabeza puede ser hexagonal, cuadrada, cilíndrica, de gota de sebo, redonda, avellanada y cilíndrica con ojo hexagonal.

#### 3.19.2 PARTES DE UN PERNO O TORNILLO

- **FILETE DE TORNILLO.-** es el borde o cresta de sección transversal uniforme, de forma helicoidal, sobre la superficie exterior o la interior de un cilindro.
- **FILETE EXTERIOR.-** es un reborde que queda en el lado externo de un miembro, como el caso de un eje.
- **FILETE INTERIOR.-** es el filete situado en la parte interna de un miembro, como en el caso de un orificio.
- **DIÁMETRO MAYOR.-** Es el diámetro más grande de un tornillo.
- **DIÁMETRO MENOR.-** Es el diámetro más pequeño de un tornillo.
- **PASO.-** Es la distancia de un punto situado sobre el filete de un tornillo y hasta el punto correspondiente del siguiente filete, medida paralelamente al eje.  $P = 1/N$ , siendo,  $P =$  paso,  $N =$  número de filetes por pulgada o por unidad de longitud en el sistema métrico decimal.

- **DIÁMETRO DE PASO.-** Es el diámetro de un cilindro imaginario que pasa a través de los filetes, de manera que se igualarán los anchos de los filetes y anchos de los espacios cortados por el cilindro.
- **AVANCE.-** Es la distancia que avanza o adelanta un filete de tornillo, axialmente en una vuelta.
- **ÁNGULO DE FILETEADO.-** Es el ángulo comprendido entre los lados del filete, medido en un plano que atraviese el eje del cilindro.
- **CRESTA.-** Es la superficie superior que une los dos lados de un filete.
- **RAÍZ.-** Es la superficie inferior, o de fondo, que une los lados de dos filetes adyacentes.
- **LADO.-** Es la superficie de un filete, que conecta la cresta con la raíz.
- **EJE DEL TORNILLO.-** Es la línea de centro longitudinal que atraviesa el tornillo.
- **FORMA DEL FILETE.-** Es la sección transversal del filete, cortada por un plano que contenga al eje.
- **SERIE DEL FILETE.-** Es el número estándar de filetes por pulgada (por unidad de longitud en el sistema métrico decimal, en su caso), para diversos diámetros.



**Fig. 3.42** Descripción del Perno o Tornillo

### 3.19.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS PERNOS

La resistencia del perno está determinada por su diámetro y por el material del cual está hecho. Las dimensiones del perno están descritas en más abajo.

La resistencia y tipo de acero del perno están marcados en alto relieve en la cabeza de los pernos. Los pernos de la serie milimétrica usados en mecánica están fabricados según las normas DIN 931 (y otros); mientras que los pernos usados en estructuras están fabricados según las normas DIN 6914 (y otras).

**Tabla 3.7** Designación para pernos

Clase		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	6.9	8.8	10.9	12.9	14.9
Denominación antigua		4A	4D	4S	5D	5S	6S	6G	8G	10K	12K	

**CALCULO Y DISEÑO ESTRUCTURAL PARA LA CUBIERTA DEL MERCADO CENTRAL DE LA PARROQUIA DE PÍNTAG EN BASE A TENSO-ESTRUCTURAS CON EL USO DE BAMBÚ GIGANTE (DENDROCALAMUS ASPER).**

Resistencia estática $R_m = \sigma_B$ en $N/mm^2$	nom.	300	400	400	500	500	600	600	800	1,000	1,200	1,400
	mín.	330	400	420	500	520	600	600	800	1,040	1,220	
Límite de fluencia $R_{el} = \sigma_S$ en $N/mm^2$	nom.	180	240	320	300	400	480	540				
	mín.	190	240	340	300	420	480	540				
Límite 0.2 % $R_{p0.2} = \sigma_{0.2\%}$ en $N/mm^2$	nom.								640	900	1,080	1,260
	mín.								640	940	1,100	
Trabajo de resiliencia en Joule	mín.				25				30	20	15	
Alargamiento de rotura (probeta corta) en %		25	22	14	20	10	8	12	12	9	8	7
Dureza Brinell HB	mín.	90	114	124	147	152	181	183	219	295	353	
	máx.	209	209	209	209	209	238	238	285	363	412	
Dureza Vickers HV	mín.	95	120	130	155	160	190	194	230	310	372	
	máx.	220	220	220	220	220	250	250	300	382	434	
Dureza Rockwel HRB	mín.	52	67	71	79	82	89	90				
	máx.	95	95	95	95	95	99	99				
Dureza Rockwell HRC	mín.								20	31	38	
	máx.								30	39	44	

### 3.19.4 CONVENCION PARA LA IDENTIFICACIÓN

#### 3.19.4.1 PERNOS

- La primera cifra da el 1 % de la resistencia mínima a la tracción  $R_m$  (equivale a la resistencia estática  $\sigma_B$ ) en  $N/mm^2$ .
- La segunda cifra da el décuplo de la relación entre la fluencia mínima  $R_{el}$  (equivalente al límite de fluencia  $\sigma_S$ ) y la resistencia mínima a la tracción.
- Ambas cifras multiplicadas entre sí dan el 10% del límite de fluencia mínima.
- Aparte de llevar estos dos grupos de números (separados por un punto), puede llevar la marca y/o logotipo del fabricante

#### 3.19.4.2 TUERCAS

- La única cifra da el 1% de la tensión de prueba  $\sigma_L$  en  $N/mm^2$ , que equivale a la resistencia mínima a la tracción  $R_m$  (resistencia estática  $\sigma_B$ ) de un perno que se puede emparejar con esta tuerca, sin destruir la rosca durante la prueba.
- La mayor capacidad de carga (al menor costo) de un conjunto perno-tuerca está dada cuando coinciden el primer grupo de las marcas del perno y el de la tuerca.

**Tabla 3.8** Convención para tuercas y pernos

Perno	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9	12.9	14.9
	4			5		6	8	10	12	14

### 3.20 TIPOS DE CABOS

#### 3.20.1 DEFINICIÓN

Los cabos son elementos longitudinales de fibras textiles, que tienen características propias según el material con el que se ha fabricado. Según el tipo de material de fabricación se clasifican en:

- **NYLON:** Se conoce también como Poliamida, tiene buena resistencia a la tracción y a la abrasión, resiste bastante bien al ataque de los rayos solares. Es más pesado que el agua y es bastante elástico.
- **POLIÉSTER:** Más conocido por su nombre comercial Dacron difiere principalmente del Nylon en cuanto a la elasticidad ya que el Poliéster es mucho menos elástico, especialmente si en la construcción sale pre-estirado; en general los cabos de Poliéster son forrados.
- **POLIPROPILENO:** Esta fibra es mucho menos resistente a la tracción y a la intemperie que las anteriores pero su principal característica es que es más liviana que el agua y sigue siendo muy

maleable para hacer nudos o pasar por poleas aunque es menos resistente al desgaste en estas.

- **POLIETILENO:** Este es el más visto como el cabo naranja del Salva Vidas, es un cabo poco resistente a la tracción, a los rayos ultravioletas y a los roces.
- **ARAMIDA:** Más conocido como Kevlar, es una fibra derivada del nylon pero tres veces más resistente a la tracción y al estiramiento que éste. Su debilidad está en la pérdida de resistencia en donde es doblado (nudos, poleas pequeñas, etc) por este motivo es recomendable utilizar gasas en reemplazo de los nudos. También pierde resistencia con la exposición al sol, por esto casi siempre viene forrado en Poliéster.
- **SPECTRA:** Esta fibra es más liviana que el Kevlar, es más o menos similar su resistencia a la tracción y estira apenas un poco más. Es más resistente a los rayos UV y no pierde tanta resistencia en los nudos y en las poleas. Generalmente se lo encuentra forrado en Poliéster aunque también se lo usa sin forrar.

### **3.20.2 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES:**

#### **3.20.2.1 NYLON O POLIAMIDA:**

- La poliamida, es un termoplástico semicristalino que posee buena resistencia mecánica, tenacidad y resistencia al impacto elevadas;

tiene buen comportamiento al deslizamiento, también posee buena resistencia al desgaste, buena resistencia a la fatiga, alto poder amortiguador, autoextingible; por ello es apropiado como plástico de ingeniería de uso universal, en construcciones mecánicas y trabajos de mantenimiento industrial.

- Porcentaje de elongación: del 25 al 35 %.
- Diámetros (en mm): 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54 y 56.



**Fig. 3.43** Cabo Retorcido de Nylon

### 3.20.2.2 CABO RETORCIDO ESPECIAL (FORTEX):

- Los cabos de 3 cordones retorcidos, tiene muy buena resistencia a la abrasión y la tracción principalmente, y en función de su relativo bajo costo, han resultado ser los más usados para usos generales para la industria y el campo. Tiene buena resistencia a la abrasión y a bajas temperaturas no se cristaliza.
- Porcentaje de elongación: del 8 al 20 %.
- Diámetros (en mm): 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50 y 52.



**Fig. 3.44** Cabo Retorcido Especial (Fortex)

## Capítulo 4: BAMBÚ GIGANTE

### 4.1 INTRODUCCIÓN

El bambú es un material usado desde la más remota antigüedad, aportando una centenaria contribución que aun crece en importancia, aumentando la comodidad y el bienestar del ser humano.

El bambú es conocido como la planta de mil usos. Esta maravillosa y majestuosa planta es versátil, flexible y de gran dureza, apta para ser utilizada en diversas ramas tales como construcción, jardinería, pesca, artesanía, muebles, utensilios, como fuente comestible y otros usos inimaginables.

Como cultivo el bambú hace una importante contribución al medio ambiente, como reconstituyente del mismo. Brinda beneficios a corto y mediano plazo, lo que lo convierte en una excelente opción, para la preservación de cuencas hidrográficas, prevención y control de la erosión.

### 4.2 DATOS TÉCNICOS GENERALES

- **Nombre Científico:** Dendrocalamus Asper clon Tailandia
- **Origen:** Tailandia, Vietnam e Indonesia
- **Altura promedio:** 25 - 30 metros
- **Diámetro promedio:** 18 centímetros
- **Clasificación Radicular:** Crecimiento en sepa

- **Usos:** Paisajismo por su exuberante follaje, muy apreciada en la construcción, muebles, es comestible, utilizada para el control de la erosión.
- **Características:** Tamaño gigante, de crecimiento acelerado, plantación densa.

### 4.3 GENERALIDADES

El origen de la palabra Dendrocalamus Asper, proviene del griego: dendron que quiere decir árbol, calamus que significa caña y asper a áspero. Es desconocido; sin embargo, se presume que puede ser nativo de Asia, debido a que allí se encuentra extensos cultivos de este bambú gigante.

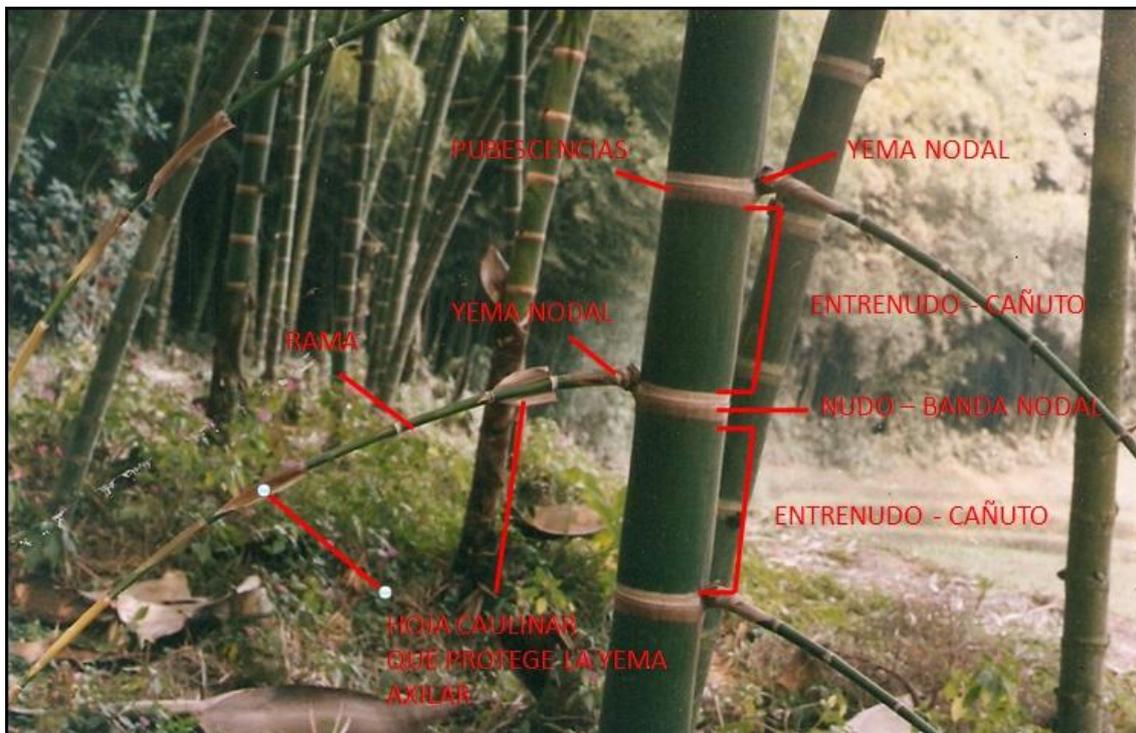


**Fig. 4.1** Plantación de Bambú Gigante en el Ecuador

### 4.3.1 Estructura del Bambú

Estructuralmente, está constituido por un sistema de ejes vegetativos o tallos segmentados por nudos (anillos a lo largo del tallo), entrenudos (espacio entre los nudos), y de un rizoma (raíz) que se extiende libre y agresivamente por el subsuelo.

El rizoma es el órgano que fija y soporta a la planta en el suelo; es el que absorbe, almacena y dosifica los líquidos nutrientes al organismo vegetal y es el que actúa como elemento de propagación asexual del bambú.



**Fig. 4.2** Estructura del Bambú Gigante

El tallo tiene forma cilíndrica y espacios huecos separados transversalmente por tabiques o nudos que le dan una gran rigidez y al mismo tiempo, flexibilidad y resistencia. Los tallos, llamados comúnmente culmos, difieren en altura,

diámetro y forma de crecimiento, según la especie y las características agroecológicas del lugar del cultivo.

El culmo brota del suelo con el diámetro máximo y final que tendrá hasta su madurez, desarrolla su longitud completa durante el periodo invernal, luego brotan las ramas y las hojas en un tiempo de hasta 6 años, llamado periodo de maduración o sazónamiento, en el que adquiere las características físico mecánicas de la madera sólida.

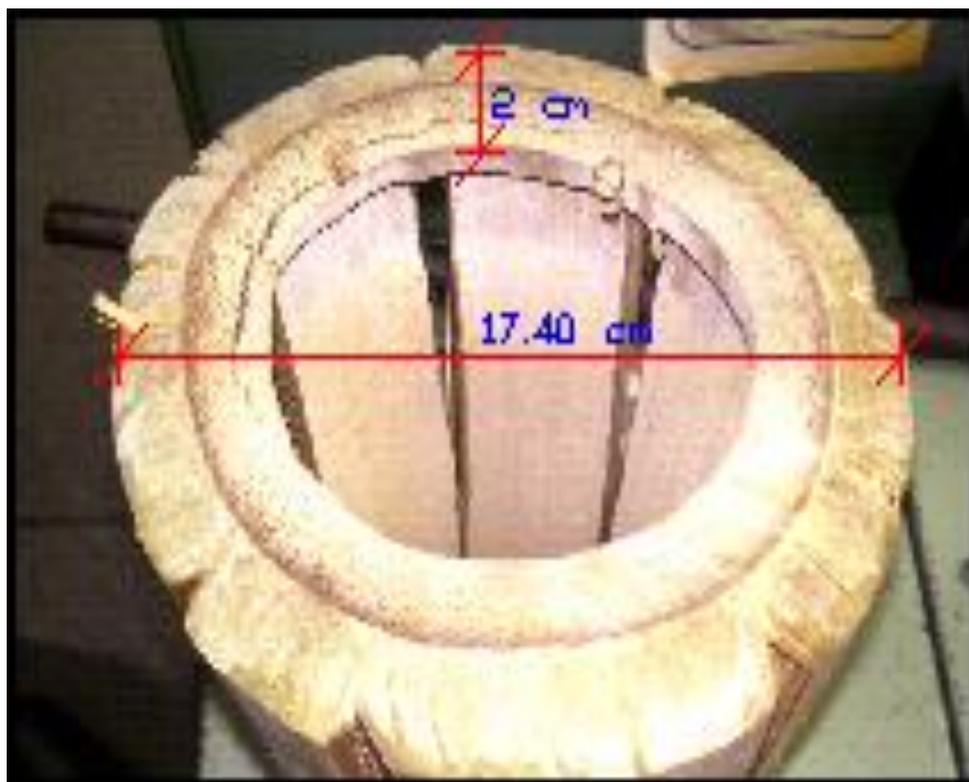


**Fig. 4.3** Forma del Culmo

Sin embargo, también los diferentes grados de resistencia y de dureza que va adquiriendo a través de los años, pueden ser aprovechados para diferentes fines tales como: fabricación de muebles, artesanías, postes, viviendas, parquet, etc. La altura promedio puede superar holgadamente los 30 metros de longitud; su diámetro puede sobrepasar de los 20 centímetros; su color es

verde claro, aunque puede tener ligeras variaciones a verde oscuro o amarillento.

A lo largo de su vida, cada cepa, puede producir hasta 15 kilómetros de tronco útil. La distancia de sus entrenudos está dentro del rango de 20 a 50 centímetros de longitud; el espesor de la pared varía de los 11 a 36 mm.



**Fig. 4.4** Dimensiones del Bambú Gigante

Sorprendentemente, los productos sustitutos y complementarios naturales del bambú gigante, son las maderas, que por su calidad, son llamadas finas, tales como: Chanul, Caoba, Teca, Laurel, Guayacán, entre otras. Sin embargo estas maderas no presentan la misma versatilidad y resistencia que tiene el bambú gigante para los diferentes usos, desde la artesanía, hasta la construcción, características que hacen la explotación de este producto, atractiva y rentable.

Indudablemente, otros bambúes, como la caña guadua (*Guadua Angustifolia* Kunt), por ejemplo, se presenta como producto sustituto y complementario de la caña gigante.

### 4.3.2 Especies y Plantaciones

En el mundo existen alrededor de 1500 especies de bambú entre leños y herbáceos que se distribuyen en Asia 63%, en América 32%, en Oceanía y África 5%.

### 4.3.3 Condiciones de Siembra

- **Altitud:** 400 a 2000 m.s.n.m.
- **Temperatura:** 18 °C a 24 °C
- **Precitación:** Mayor a 1300 mm por año
- **Humedad Relativa:** 80%
- **Suelos:** Areno-Limosos, arcillosos, sueltos profundos, bien drenados y fértiles.
- **Distancia de Siembra:** 5x5 metros.
- **Plateo:** 1.5 metros.
- **Hoyo:** 40x40 centímetros.

## 4.4 CICLO BIOLÓGICO

### 4.4.1 Crecimiento

El crecimiento del bambú empieza a partir del brote, pero este no crece a partir de la raíz sino que brota desde las yemas del bambú anterior (viejo); dentro de la manchas se encuentran las mejores plantas que tienen mayor diámetro y altura que los primeros que nacieron, es decir los nuevos bambús

crecen más fuertes que los anteriores. Crecen aproximadamente 52cm diarios, considerando que las dimensiones del bambú están en función del clima, suelo, humedad y el contenido de agua en el suelo.



**Fig. 4.5** Nacimiento de un nuevo Bambú

#### **4.4.2 Aprovechamiento**

Gran nivel de aprovechamiento en tiempo reducido, la cosecha se sigue los pasos según Boucherie, los mismos que indica que madura entre 4 a 5 años, a medida que el tiempo pasa se obtiene mayor dureza, lo que significa una inversión rentable y un ingreso económico sostenible.

### 4.4.3 Maduración y Dureza

La madurez para el corte es de 18 años desde el crecimiento de la mancha y 4 años posteriores a esta se puede cortar el bambú.

El bambú que está listo para corte (maduro) se lo puede identificar por la presencia de líquenes y manchas blancas en el tallo.



**Fig. 4.6** Bambú Gigante Maduro

## 4.5 ETAPAS DE CORTE

La luna es un factor importante según investigaciones, en el desarrollo de todos los seres vivos en el planeta. Por lo general la cosecha se realiza en cuarto menguante después de la luna llena en la cual se tiene un periodo de corte de 7 días y en horas de la mañana de 3 a 6 am si no se realiza en esta etapa el bambú solo tendrá una durabilidad de dos años, dando lugar a pérdida de su resistencia en su retoño, este proceso se dice que fue realizado en una época de *aguaje* dentro de los tiempos y periodos no permitidos.

#### 4.5.1 Corte con la Luna

Este fenómeno consiste en lo siguiente: durante la luna llena no existe un periodo completo de oscuridad, se alarga el proceso de fotosíntesis, por lo que se genera una acumulación de hidratos de carbono *harinas* en el protoplasma, donde las células se hacen grandes, y las membranas celulares son delgadas y vulnerables al ataque de los insectos.

Para realizar el corte del bambú es necesario tener en cuenta los siguientes elementos y factores:

- Machete o sierra
- En periodos de lluvia
- Cuando estén sus retoños evitando cortar la guadua madre

Si el bambú es cosechado con la luna se debe mantener de 2 a 3 meses a la sombra y cubierta de los agentes climáticos antes de ser utilizada en la construcción.

#### 4.5.2 Lugar de Corte

Se debe realizar el corte a ras y por encima del primer o segundo nudo localizado sobre el nivel de suelo. Para cortar hay que tener en cuenta además el grado de sazónamiento del tallo esto quiere decir que el tallo está listo para ser cortado, y su máxima madurez es cuando el tallo empieza a deteriorarse. Si el corte se lo realiza en menos de un año se dice que el corte es de un bambú inmaduro. La máxima madurez es de 4 a 5 años y la óptima para construcciones está entre 2 a 3 años con un diámetro de 15 a 20 centímetros y una altura aproximada de 30 a 40 metros.

### 4.5.3 Criterios para el corte de Tallos Maduros

Existen tres criterios para determinar el corte apropiado de los tallos maduros que se los menciona a continuación:

1. Retener una proporción fija de los tallos maduros, corte de la mitad de un tercio de los tallos maduros
2. Dejar un numero constante de tallos maduros, aquí se da el problema de que el numero dejado pueda ser muy alto en ciertas matas y muy bajo en otras
3. Retener un numero de tallos maduros, se necesita que los múltiplos sean sencillos y que el mínimo por tallo sea fijo.

En ocasiones se realizan cortes forzados y estos se presentan en algunas guaduas jóvenes, cuando éstas han sido atacadas por insectos y hongos habrá que remover cuando se cuente con tallos viejos y deteriorados. Una vez cortados hay que protegerlos de los insectos xilófagos como el *dinoderus minutus*, que atraídos por el almidón que se encuentra depositado en su fibra, estos construyen largas galerías a lo largo de la misma dejándola inservible.

## 4.6 PRESERVACIÓN

Para preservar el bambú es necesario protegerla del ataque de agentes nocivos como son los hongos e insectos. Por tal razón se los trata con insecticidas y fungicidas que ya vienen mezclados en la mayoría de los productos comerciales que se emplean para tratar maderas, unos son más efectivos que otros según su composición química.

#### 4.6.1 Inmunización

- Criterio adecuado, para el buen manejo del material, iniciando desde la selección y corta del mismo, hasta el almacenamiento y comercialización.
- Un factor pre determinante con el cual se garantiza la calidad y durabilidad del material, es la inmunización del bambú, mediante el sistema boucherie, que es el utilizado en nuestro país.
- Los inmunizantes utilizados para la preservación del bambú, son aceptados internacionalmente como no tóxicos y amigables con el ambiente.

#### 4.6.2 Forma de Curado de Boucherie en el Ecuador



**Fig. 4.7** Curado tipo Boucherie

El curado del bambú en nuestro país se lo realiza con la pieza total (longitud total de aproximadamente 20 metros), la presión para el ingreso de las Sales de Boro más agua a la pieza es de 10psi. La sabia y el agua que se encuentra en el interior (entre los anillos) salen por un extremo y es reemplazada por el material de curado.

#### 4.6.2.1 Por Gravedad

Puede aplicarse en dos formas: Colocando verticalmente la guadua y llenando su entre nudo superior con el preservativo, dejándolo en esta posición por algunas horas hasta que éste haya bajado a lo largo de su pared. O también utilizando un tanque abierto en su parte superior, al cual se le coloca en su parte inferior un tubo metálico con una llave, conectado al extremo de la guadua por una sección de un neumático de carro. En este caso debe tenerse el cuidado de colocar el tanque en un nivel más alto que la guadua.

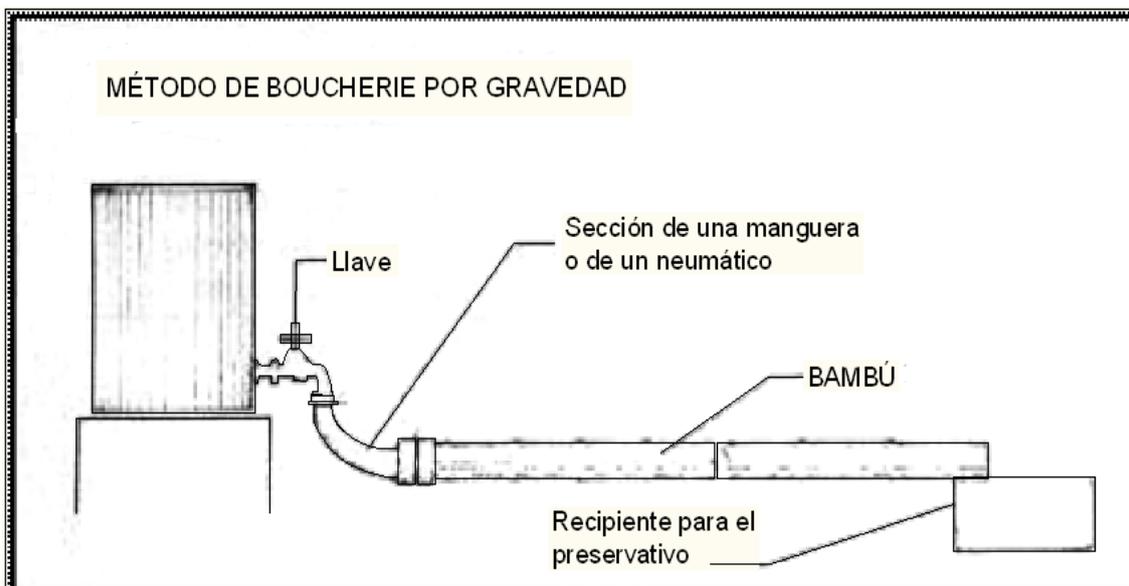
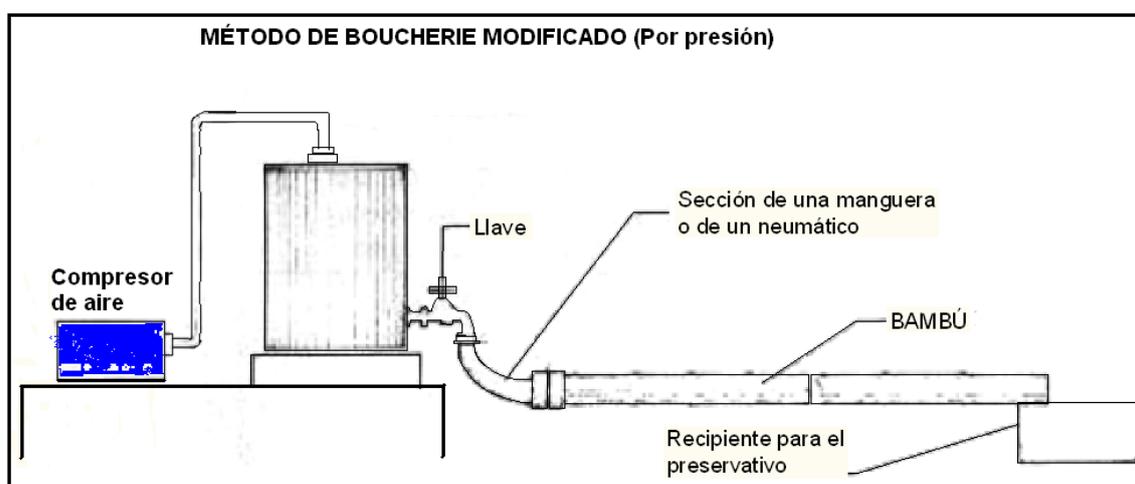


Fig. 4.8 Método Boucherie por gravedad

#### 4.6.2.2 Modificado por presión

Este método es similar al anterior solo que el tanque que se emplea debe ser hermético y llevar en su parte superior una válvula de bicicleta, un medidor o indicador de presión y una tapa con rosca por donde se llena el tanque con el preservativo hasta las tres cuartas partes. Posteriormente se le aplican de 10 a 15 libras de aire utilizando una bomba de aire portátil (utilizadas en bicicletas).



**Fig. 4.9** Método Boucherie Modificado (Por Presión)

### 4.7 BENEFICIOS DEL CULTIVO DEL BAMBÚ

Los beneficios que aporta el cultivo de bambú gigante son innumerables, entre ellos se destacan los siguientes:

- Recuperación de tierras desoladas o baldías, sin uso aparente.
- Protección de pendientes, de riberas de ríos y quebradas, con la ayuda de su sistema radicular, formando redes gigantescas de raíces debajo de la superficie de los suelos, reteniéndolos o sosteniéndolos a los mismos, evitando además, la erosión.

- Protección de las fuentes de agua contra la evaporación gracias a la sombra que proporciona el follaje. Únicamente sembríos en riveras de ríos o esteros.
- Mantiene la humedad de los suelos almacenando gran cantidad de agua en sus tallos durante invierno, regresándola al suelo, a través de las raíces, en verano.
- Lugar de vida y fuente de alimento para varias especies animales, especialmente aves.
- La explotación de este producto, permite proteger bosques primarios con otras especies maderables, que demoran hasta cincuenta años en crecer, mientras que el Dendrocalamus Asper, se puede cosechar a partir del quinto año, sin que la mata deje de producir.



**Fig. 4.10** Cultivo de Bambú Gigante en el Ecuador

Entre las aportaciones principales que provee esta planta tenemos:

- Aporta de 2 a 4 toneladas de biomasa por hectárea al año.
- Aporta 35% más de oxígeno que otras especies forestales.
- Captura de 12 toneladas de anhídrido carbónico por hectárea.

#### **4.8 USOS DEL BAMBÚ**

Como material para la construcción, posee características especiales en cuanto a flexibilidad y ligereza, permitiendo variedad en las construcciones. Su alta resistencia lo hace acreedor número uno de invulnerabilidad ante eventos sísmicos, de aquí se desprende la frase que dice que el bambú baila al ritmo del sismo. Además este material es estéticamente agradable y por ende las casas construidas de bambú son atractivas, económicas y duraderas.

Otros usos del bambú recaen en la jardinería como planta ornamental, en la industria como gran proveedor de materia prima para pisos, papel, muebles, cestería, y otros.

Hemos visto que el bambú es el perfecto aliado del hombre para preservar el medio ambiente, por lo que se recomienda sembrarlo en terrenos falseados o deforestados y a la orilla de los ríos para evitar su desbordamiento o bien minimizar el efecto negativo causado por el aumento desmedido del agua en el cauce de los ríos.

Más liviano que el acero, pero cinco veces más fuerte que el concreto. El bambú es conocido a nivel mundial como el acero vegetal, sus características físico-mecánicas lo hacen ser un material altamente resistente a los sismos.

#### **4.9 VENTAJAS AL CONSTRUIR CON BAMBÚ**

1. El bambú es un material liviano debido a su forma circular y las secciones huecas que posee, además es de fácil manipulación, almacenamiento y transporte, lo que permite la construcción rápida de estructuras.
2. Por sus características físicas que lo convierten en un material fuerte y a la vez elástico, el bambú es un material altamente anti-sismico , de gran confiabilidad, que puede curvarse sin sufrir rupturas, además puede ser utilizado en todo tipo de miembros estructurales.
3. El bambú posee fibras, cuya constitución permite ser cortado transversal o longitudinalmente en piezas de cualquier tamaño, empleando herramientas muy sencillas.
4. El bambú por naturaleza es de un tono muy atractivo, además su corteza es lisa y no requiere ser raspado, o pulido.
5. La caña de bambú puede ser aprovechada en su totalidad.
6. La construcción con bambú permite la combinación de este magnífico material con madera, metal y otros.
7. Del bambú no utilizado en estructuras principales se derivan materiales para enchapes tales como esteras, paneles, contrachapados, etc.
8. El bambú continúa liderando como el material de construcción de más bajo precio.

## Capítulo 5: ENSAYOS DE LOS MATERIALES

### 5.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL BAMBÚ GIGANTE (DENDROCALAMUS ASPER)

Las normas internacionales para ensayos de bambú es: *INBAR STANDARD FOR DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO*, que establecen los parámetros para sacar resultados confiables y que se puedan evaluar de mejor manera las propiedades del bambú.

#### 5.1.1 TRACCIÓN

La determinación del esfuerzo último de tensión se lo realiza paralela a la fibra por la aplicación de aumento gradual de carga al tronco de prueba de bambú.

##### 5.1.1.1 Aparatos Utilizados

Las mordazas de la máquina de tensión, debe asegurar que la carga sea aplicada a lo largo del eje longitudinal de la pieza de prueba y prevenir el giro longitudinal. La presión debe ser perpendicular a las fibras y en dirección radial. La máquina de tracción utilizada para este ensayo es la mostrada en la figura 5.1 con una capacidad de 10 Toneladas.



**Fig. 5.1** Máquina universal para ensayo de tracción, Escuela Politécnica del Ejército, Laboratorio de Resistencia de Materiales

La carga debe ser aplicada continuamente a través de toda la prueba a una velocidad de los cabezales de 0.01 milímetros/segundo, y medida al 1%.

Las dimensiones de corte deben ser medidas a una precisión de 0.1 milímetros.



**Fig. 5.2** Deformímetro colocado en la probeta

Los resultados de las deformaciones unitarias medidas mediante el aparato de la figura 5.2 son mostrados con valores a dimensionales que se muestra en la figura 5.3.



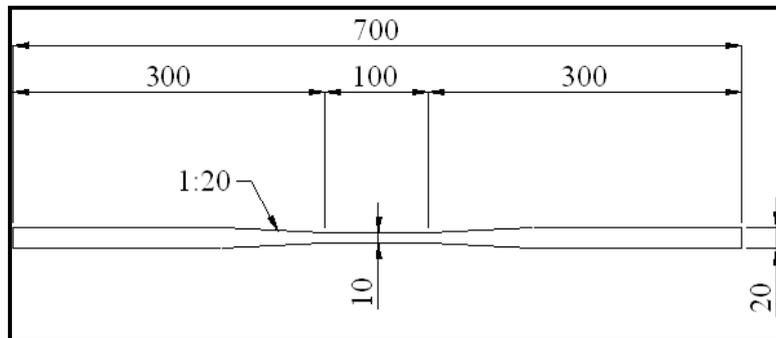
**Fig. 5.3** Máquina de medición de la deformación unitaria

#### 5.1.1.2 Probetas de Prueba

Las probetas deben ser tomadas de la parte basal media y superior de cada tronco de bambú.

La dirección general de las fibras debe ser paralela al eje longitudinal de la porción de medida de la pieza en prueba. La porción de medida debe tener una sección transversal rectangular con dimensiones del grosor de las paredes o menor en la dirección radial, de 10 a 20 milímetros en la dirección tangencial, y

la longitud de medida debe ser de 50 a 100 milímetros como se muestra en la figura 5.4.



**Fig. 5.4** Probetas para tracción en mm

Mediante esta forma que se le da a la probeta del bambú se asegura que la falla ocurra en la porción media de la pieza y minimiza la concentración de tensión en el área de transición.

Las probetas para el ensayo se muestran en la figura 5.5



**Fig. 5.5** Probetas para tracción (sin nudo)

Para tener datos de tracción de los dos casos que se pueden presentar en la tracción del bambú, se ensayó también probetas con el nudo intermedio, las cuales arrojaron valores menores que los no tenían nudo en el centro. Para este ensayo se tallaron las probetas con la misma norma pero dejando parte del nudo intacto como se muestra en la figura 5.6.



**Fig. 5.6** Probetas para tracción (con nudo en el medio)

### 5.1.1.3 Procedimiento

Medir las dimensiones de la pieza de prueba a una confiabilidad de 0.1 milímetros en tres lugares de la parte media, y calcular su promedio.

El sujetador en los terminales de la pieza en prueba entre las mordazas de la maquina evaluadora a una distancia segura de la porción media. La carga debe ir a una velocidad constante. Leer la carga máxima.

De cada probeta se saca el esfuerzo último, que se obtiene de la relación por cociente de la fuerza última que nos da la máquina de tracción para el promedio las áreas de la sección media.

El esfuerzo último de tensión se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

Donde:

$\sigma_{ult}$  = Esfuerzo último de tensión (Kg/cm<sup>2</sup>)

$F_{ult}$  = Carga máxima (Kg)

A = Promedio del área transversal medida (cm<sup>2</sup>)

Con los valores mostrados por la máquina de la deformación unitaria se obtiene las gráficas respectivas, con lo cual se obtiene el módulo de elasticidad que corresponde a la pendiente de la curva en el rango elástico del material, como se ve a continuación.

$$E = \frac{\sigma_{ult}}{\varepsilon}$$

Donde:

E = Módulo de Elasticidad (Kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_{ult}$  = Esfuerzo último de tensión (Kg/cm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = Deformación unitaria

#### 5.1.1.4 Resultados

Los ensayos a tracción de las probetas se realizaron en el laboratorio de resistencia de materiales, el mismo que presentaba las siguientes condiciones:

- ✓ Humedad: 59 %
- ✓ Temperatura ambiente: 19.2 °C

Con estas condiciones de laboratorio se obtienen en las probetas mostradas en las figuras 5.5 y 5.6 los siguientes resultados:

**Tabla 5.1** Esfuerzos Admisibles Promedios.

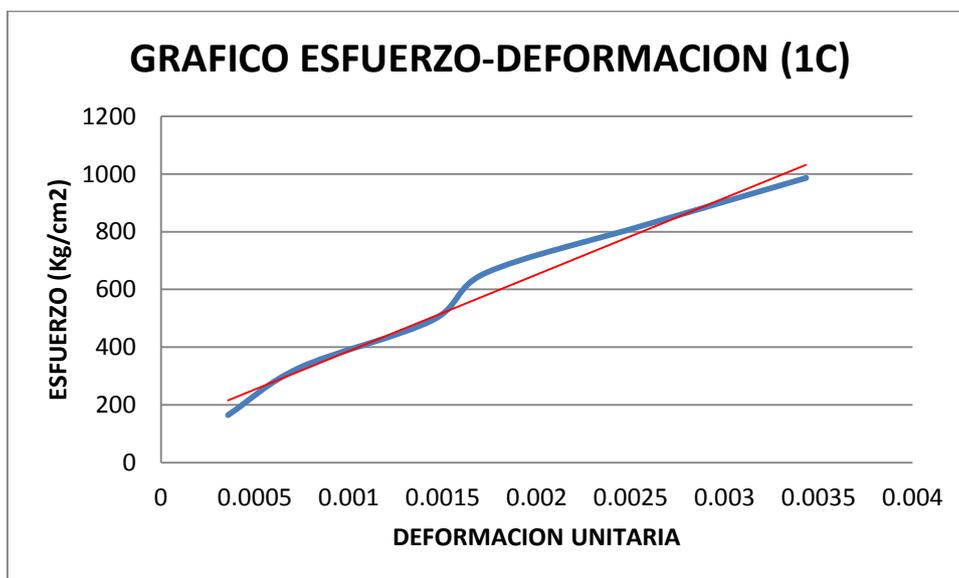
PROBETA	e(mm)	h(mm)	AREA		FUERZA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
			(mm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )		
1A	8.98	16.89	151.48	1.51	2340.00	1544.77
1B	10.77	15.57	167.79	1.68	2035.00	1212.86
1C	10.72	14.19	152.05	1.52	1965.00	1292.33
1D	10.42	14.68	153.05	1.53	2345.00	1532.20
1E	10.64	14.81	157.63	1.58	1895.00	1202.19
1F	10.00	15.11	151.04	1.51	2425.00	1605.52
2A	10.21	16.69	170.24	1.70	2285.00	1342.23
2B	12.11	16.92	205.67	2.06	2315.00	1125.61
2C	10.06	16.82	169.76	1.70	1615.00	951.36
2D	8.73	16.97	148.88	1.49	1835.00	1232.54
2E	11.91	16.92	201.63	2.02	2225.00	1103.50
2F	6.76	16.49	110.62	1.11	1555.00	1405.70
<b>PROMEDIO</b>						<b>1295.90</b>

**Tabla 5.2** Módulos de Elasticidad Promedios (20% al 80%)

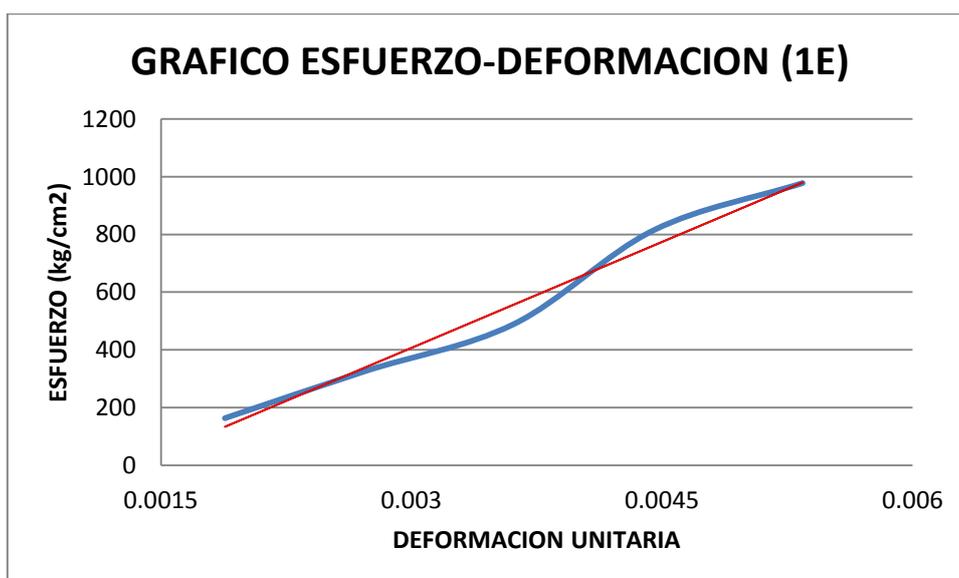
PROBETA	MODULO DE ELASTICIDAD (Kg/cm <sup>2</sup> )
1C	298895.13
1E	251555.49
2E	325832.72
<b>PROMEDIO</b>	<b>292094.45</b>

Mediante los resultados obtenidos se grafica en el rango elástico las siguientes probetas:

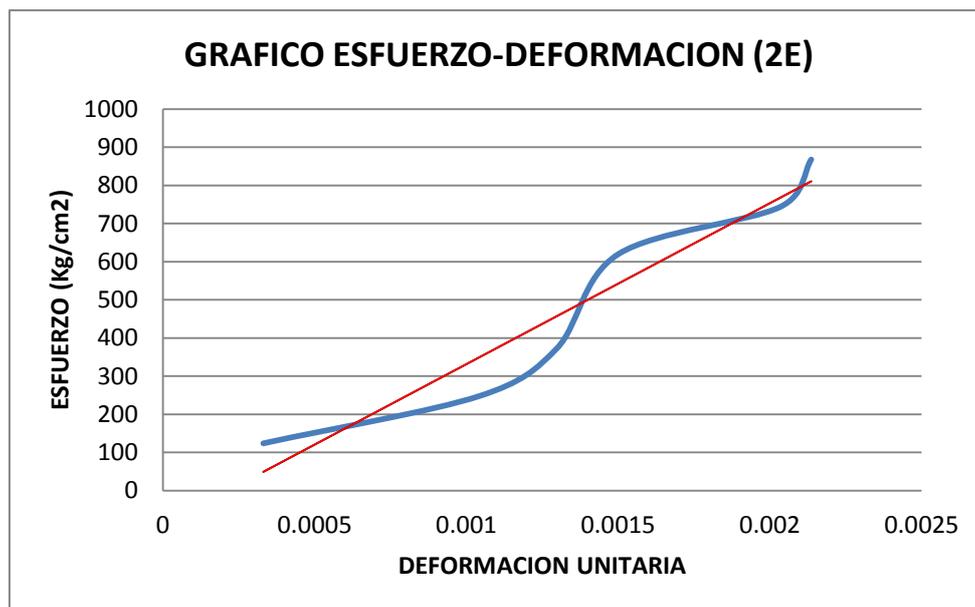
**Cuadro 5.1** Esfuerzo-Deformación unitaria (Probeta 1C sin nudo)



**Cuadro 5.2** Esfuerzo-Deformación unitaria (Probeta 1E sin nudo)



**Cuadro 5.3** Esfuerzo-Deformación unitaria (Probeta 2E con nudo)



#### 5.1.1.5 Comparación con la Tesis de Caña de Guadua

Los resultados obtenidos del Esfuerzo promedio se comparan con los resultados de la tesis “Propiedades Físicas-Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth y Aplicación al Diseño de Baterías Sanitarias del IASA II”, que se presenta en el siguiente cuadro:

**Cuadro 5.4** Esfuerzos Admisibles Promedios

<b>ESFUERZOS (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
Caña Guadua	Bambú Gigante
1608.32	1295.9

#### 5.1.1.6 Análisis de Resultados

- Para las probetas de bambú gigante (DENDROCALAMUS ASPER) ensayadas en 12 probetas a tracción, cuyo Esfuerzo Admisible Promedio es de 1295,90 (Kg/cm<sup>2</sup>); ver tabla 5.1.

- Este Esfuerzo Admisible está en el rango de valores según los estudios realizados, cuyo valor es de 1450 Kg/cm<sup>2</sup>; razón por la cual los resultados obtenidos son válidos para nuestro diseño.
- Los Módulos de Elasticidad Promedio entre el 20% y 80% obtenidos en el laboratorio es de 292094,45 Kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que fueron obtenidos en 3 probetas, ver tabla 5.2.
- El Módulo de Elasticidad está en el rango del valor según los estudios realizados, que es de 293800 Kg/cm<sup>2</sup>, razón por la cual los resultados son válidos para nuestro diseño, además, si lo comparamos con el del Acero que es de 2100000 Kg/cm<sup>2</sup>, se puede decir que el Bambú es el ACERO NATURAL para la construcción.

### **5.1.2 COMPRESIÓN**

Se especifica un método para la compresión en pruebas paralelas a los ejes en especímenes de troncos de bambú.

Mediante este ensayo se logra determinar lo siguiente:

- El esfuerzo último de compresión
- El módulo de elasticidad nominal

#### **5.1.2.1 Aparatos Utilizados**

La prueba se lleva a cabo en una máquina de prueba adecuada, donde por lo menos exista un engranaje semiesférico para obtener la distribución homogénea de la carga sobre los terminales de la muestra, además se utiliza un deformímetro para obtener las deformaciones que se van produciendo en la probeta de muestra en el rango elástico, como se muestra en la Fig. 5.7.



**Fig. 5.7** Máquina de compresión universal y probeta de Bambú, Escuela Politécnica del Ejército, Laboratorio de Resistencia de Materiales

#### **5.1.2.2 Probetas de Prueba**

Las muestras deben ser tomadas de la parte baja, media y alta de cada tronco de bambú. La compresión de pruebas paralelas al eje deben ser realizadas en muestras sin nódulos, esto quiere decir sin nudos y la longitud debe ser tomada igual al diámetro exterior, sin embargo si esta es 20 milímetros o menos, la altura debe ser 2 veces el diámetro externo.

Los planos terminales del espécimen deben estar perfectamente al ángulo del equipo. Además los planos terminales deben ser planos con una desviación máxima de 0,02 milímetros.

Para determinar el módulo de elasticidad  $E$  se debe colocar un deformímetro calibrado a 0,01 milímetros para tomar las lecturas a cargas iguales y constantes que son dispuestas por el investigador (fig. 5.7 y 5.8).



**Fig. 5.8** Cilindros de compresión (hueco-nudo-hueco)

### **5.1.2.3 Procedimiento**

La muestra debe ser puesta de tal manera que el centro del cabezal coincida con el centro de la sección transversal del espécimen de prueba y una carga pequeña no más de 1KN.

La carga debe ser aplicada continuamente durante la prueba para provocar que la cabeza móvil de la maquina este a una velocidad constante de 0,01 milímetros/segundo.

El deformímetro debe ser leído de tal forma que se tenga un número considerable de lecturas para poder trazar la gráfica de esfuerzo deformación del rango elástico y de ahí sacar el valor del módulo de elasticidad que será

determinado de la misma grafica trazada. Se deberá saber cuál fue la lectura final de la carga para tener el valor de referencia.



**Fig. 5.9** Cilindro de compresión con Deformímetro (hueco-hueco)

El esfuerzo de compresión máxima debe ser calculado con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

Donde:

$\sigma_{ult}$  = Esfuerzo último de compresión (Kg/cm<sup>2</sup>).

$F_{ult}$  = Carga máxima (Kg).

$A$  = Área promedio transversal (cm<sup>2</sup>).

De igual manera que en el caso de tracción el módulo de elasticidad  $E$  debe ser calculado del promedio de lecturas del deformímetro como una relación por

cociente entre el esfuerzo de compresión y la deformación unitaria entre el 20% y 80% de la carga máxima.

#### 5.1.2.4 Resultados

Los ensayos a compresión de las probetas se realizaron en el laboratorio de resistencia de materiales, el mismo que presentaba las siguientes condiciones:

- ✓ Humedad: 54 %
- ✓ Temperatura ambiente: 20.4 °C

Los resultados de esfuerzos obtenidos a compresión para las diferentes probetas analizadas son las siguientes:



**Fig. 5.10** Cilindro de compresión colapsado (hueco-nudo-hueco)

**Tabla 5.3** Esfuerzos Admisibles a Compresión Promedios.

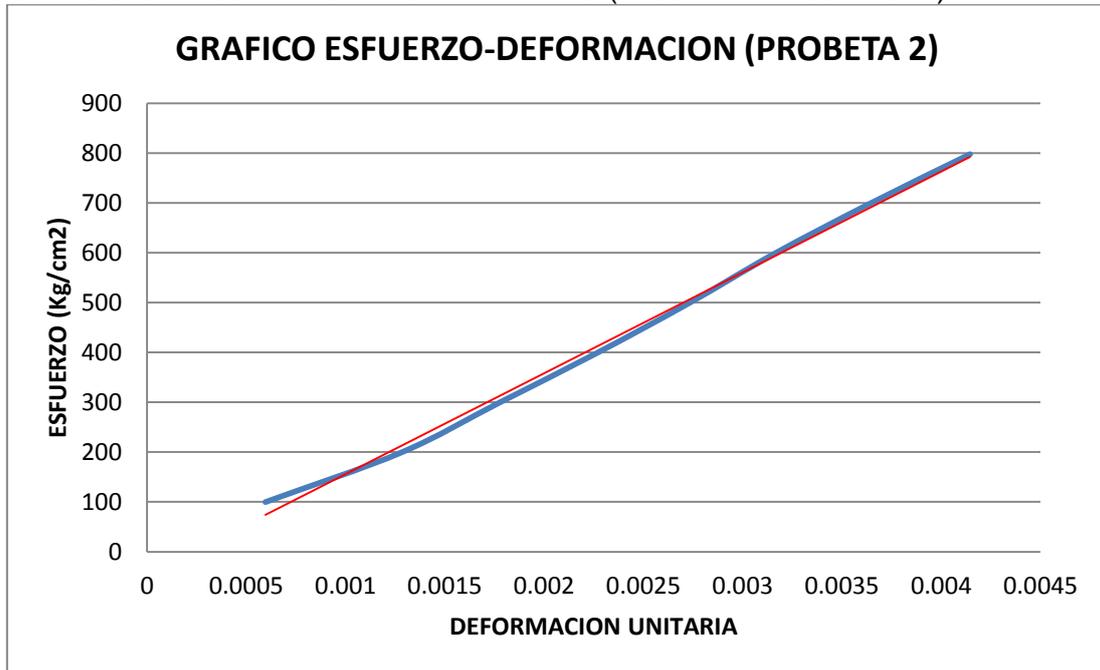
PROBETA	L(cm)	D ext(mm)	e(mm)	D int (mm)	Área Neta		FUERZA (Ton)	ESFUERZO (Kg/cm2)	OBSERVACIONES
					(mm2)	(cm2)			
1	47.04	156.54	20.36	136.18	4,681.80	46.82	<b>44.70</b>	954.76	NUDO-NUDO
2	33.53	167.20	20.32	146.88	5,013.28	50.13	<b>51.00</b>	1,017.30	NUDO-HUECO
3	32.66	163.20	20.34	142.86	4,886.79	48.87	51.50	1,053.86	HUECO-NUDO-HUECO
4	29.87	163.00	20.56	142.44	4,931.83	49.32	<b>43.60</b>	884.05	NUDO-HUECO
5	29.85	152.60	14.70	137.90	3,354.04	33.54	<b>39.80</b>	1,186.63	HUECO-NUDO-HUECO
6	27.65	151.40	18.15	133.25	4,059.68	40.60	<b>40.00</b>	985.30	HUECO-HUECO
<b>PROMEDIO</b>								<b>1,013.65</b>	

**Tabla 5.4** Módulos de Elasticidad Promedios (20% al 80%)

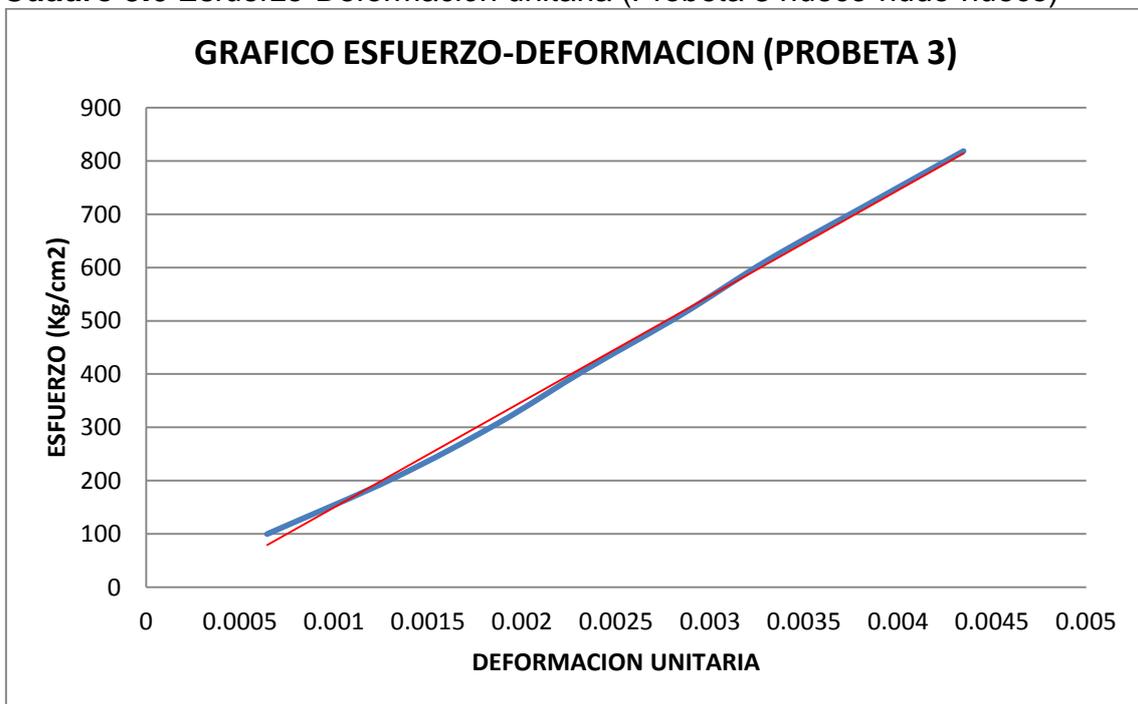
PROBETA	MODULO DE ELASTICIDAD (Kg/cm2)	OBSERVACIONES
<b>2</b>	209574.18	NUDO-HUECO
<b>3</b>	203279.77	HUECO-NUDO-HUECO
<b>5</b>	27069.35	HUECO-NUDO-HUECO
<b>6</b>	307631.14	HUECO-HUECO
<b>PROMEDIO</b>	<b>186888.61</b>	

Las gráficas de los Módulos de Elasticidad en el rango elástico:

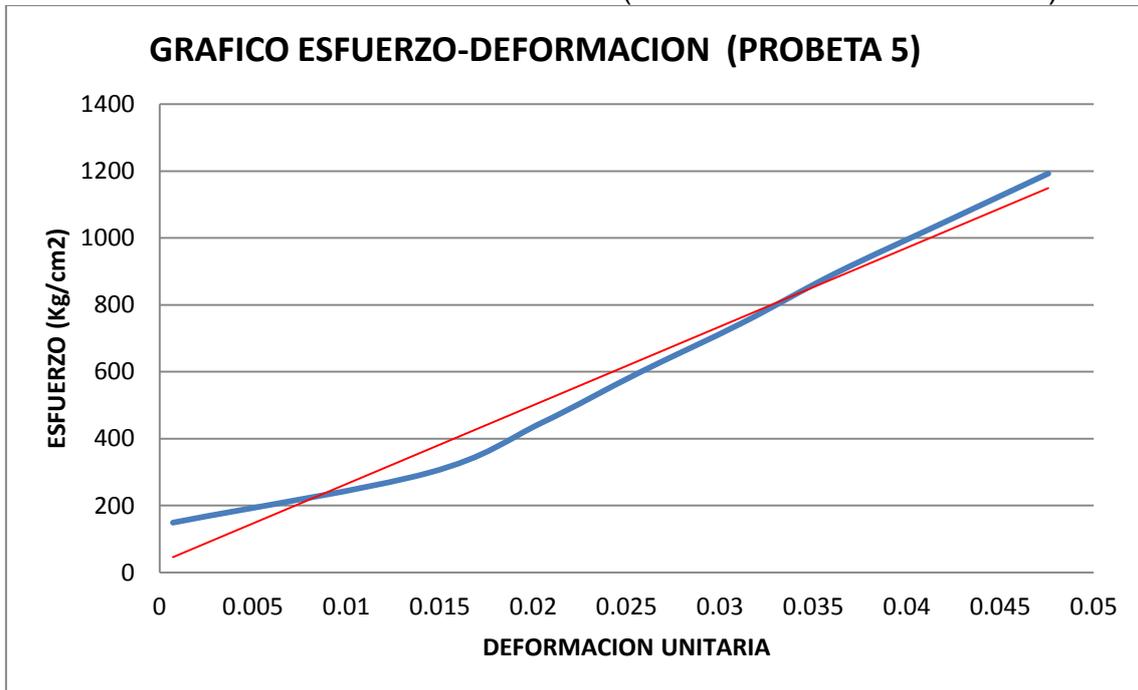
**Cuadro 5.5** Esfuerzo-Deformación unitaria (Probeta 2 nudo-hueco)



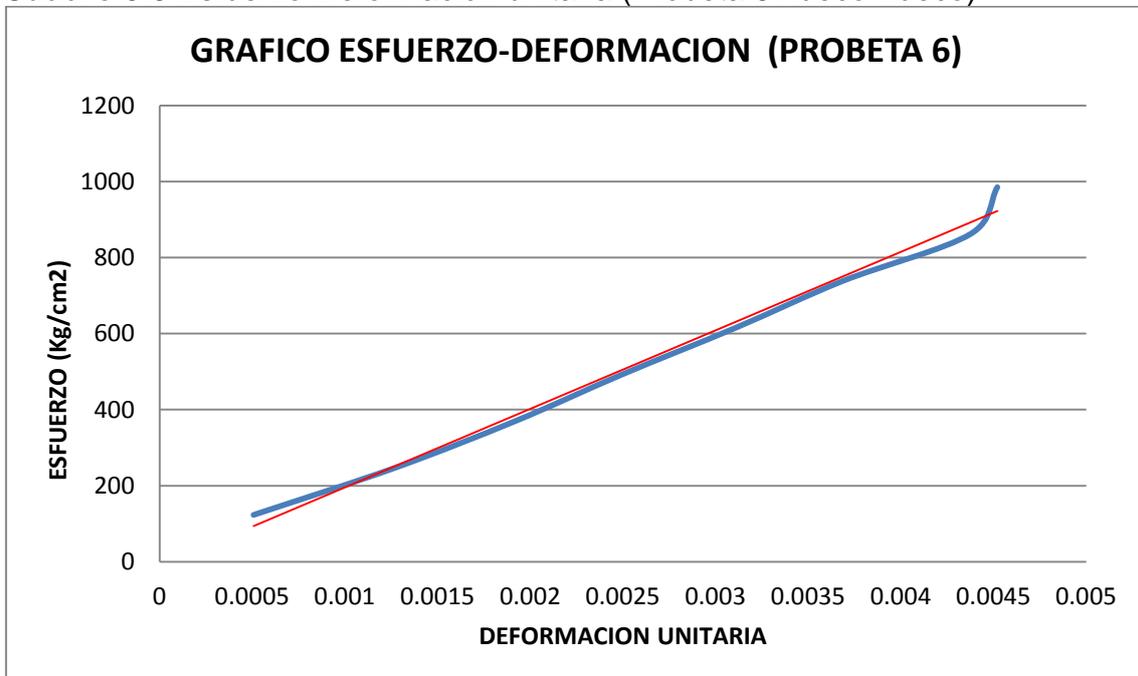
**Cuadro 5.6** Esfuerzo-Deformación unitaria (Probeta 3 hueco-nudo-hueco)



**Cuadro 5.7** Esfuerzo-Deformación unitaria (Probeta 5 hueco-nudo-hueco)



**Cuadro 5.8** Esfuerzo-Deformación unitaria (Probeta 6 hueco-hueco)



### 5.1.2.5 Comparación con la Tesis de Caña Guadua

Los resultados obtenidos del Esfuerzo promedio a compresión se comparan con los resultados de la tesis “Propiedades Físicas-Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth y Aplicación al Diseño de Baterías Sanitarias del IASA II”, que se presenta en los siguientes cuadros:

**Cuadro 5.9** Esfuerzos Admisibles a Compresión Promedios

<b>ESFUERZOS ADMISIBLES (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
Caña Guadua	Bambú Gigante
493.71	1013.65

**Cuadro 5.10** Módulos de Elasticidad a Compresión Promedios (20% al 80%)

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
Caña Guadua	Bambú Gigante
121462.95	186888.61

### 5.1.2.6 Análisis de Resultados

- Para los ensayos de bambú gigante (DENDROCALAMUS ASPER) ensayadas en 6 probetas de cilindros diferentes a compresión, cuyo Esfuerzo Admisible Promedio es de 1013,65 (Kg/cm<sup>2</sup>), como se aprecia en la tabla 5.3.

- Este Esfuerzo Admisible está en el rango de valores según los estudios realizados, cuyo valor es de 1450 Kg/cm<sup>2</sup>; razón por la cual los resultados obtenidos son válidos para nuestro diseño.
- Los Módulos de Elasticidad Promedio entre el 20% y 80% obtenidos en el laboratorio es de 186888,61 Kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que fueron obtenidos en 4 probetas, ver tabla 5.4.
- Las probetas ensayadas con nudo en el centro presentan una abertura inicial en uno de sus extremos, por lo que se rompen en las partes externas y continúa a lo largo del espécimen como se muestra en la figura 5.11.



**Fig. 5.11** Cilindros de compresión (hueco-nudo-hueco)

- Las probetas con un nudo en uno de sus extremos presentan la rotura inicial al extremo opuesto donde no se encuentra el nudo. El extremo sin nudo es el primero en ceder ante las fuerzas, provocando una abertura en las fibras, lo que nos demuestra que a compresión el nudo es muy resistente tal como se observa en la figura 5.12.



**Fig. 5.12** Cilindro de compresión (nudo-nudo)

- Las probetas que se ensayaron con los nudos en ambos extremos siempre presentaron un abultamiento y rotura en el medio de la probeta, generando una abertura de las fibras en la parte media, lo que nos reitera que a compresión, la zona donde se encuentran los nudos es muy resistente tal como se aprecia en la figura 5.13.



**Fig. 5.13** Cilindro de compresión (nudo-nudo)

### **5.1.3 FLEXIÓN**

#### **5.1.3.1 Alcance**

Se especifica un método para pruebas de flexión en troncos de bambú gigante.

#### **5.1.3.2 Objetivo**

Determinar:

- ✓ El esfuerzo de flexión en troncos de bambú con dos puntos de carga.
- ✓ La determinación de la curva esfuerzo deformación.
- ✓ El modulo de elasticidad del tronco de bambú.

### 5.1.3.3 Aparatos utilizados

Un instrumento para el ensayo de flexión capaz de medir carga lo más cercano al 1% y la deflexión lo más cercano a milímetros; un mecanismo capaz de asegurar la flexión de un tronco de bambú aplicando una carga media entre los centros de soporte de la carga.

La prueba debe ser una prueba de flexión de 4 puntos dos de aplicación de las cargas y dos de los apoyos. La carga debe ser dividida en mitades por medio de una viga apropiada, para evitar la ruptura del tronco de bambú en los puntos de aplicación de la carga y en las reacciones en los apoyos deben ser aplicadas en los nudos con ayuda de dispositivos que permitan rotar libremente, figura 5.14.



**Fig. 5.14** Maquina de Carga para el ensayo de flexión, Escuela Politécnica del Ejército, Laboratorio de Resistencia de Materiales

#### 5.1.3.4 Probetas de prueba

Los troncos deben estar sin ningún defecto visible, limpios, sin presencia de material orgánico (hongos), humedad, etc; con el propósito de obtener la deflexión real, además deberá poseer una distancia libre entre apoyos de  $30\varnothing$ ; donde ( $\varnothing e$ ) es el diámetro externo del bambú gigante para alcanzar la flexión pura.

#### 5.1.3.5 Procedimiento

a.- Determinación del diámetro externo ( $\varnothing e$ ) del bambú, el espesor ( $e$ ) de las paredes, diámetro interno ( $\varnothing i$ ); para encontrar el valor del momento de inercia:

$$I = \left(\frac{\pi}{64}\right) * [\varnothing e^4 - (\varnothing e - 2e)^4]$$

Donde:

I = Momento de inercia ( $\text{mm}^4$ )

$\pi = 3.1416$

$\varnothing e$  = Diámetro externo

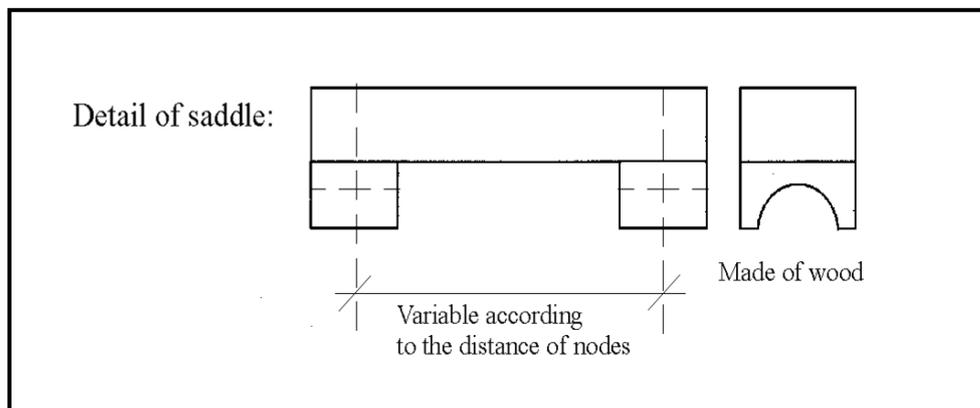
$\varnothing i$  = Diámetro interno

t = Espesor del bambú ( $\varnothing e - \varnothing i$ )

b.- Colocamos el bambú en forma horizontal sobre los apoyos inferiores de la máquina de flexión, de tal forma que los extremos (bambú) se encuentren apoyados sobre los dispositivos de madera prefabricados, figura 5.15, 5.16 y 5.17.



**Fig. 5.15** Dispositivos de madera para los apoyos



**Fig. 5.16** Apoyos de madera con dimensiones variables

c.- La carga sobre el tronco de bambú debe ser constante a una confiabilidad de 1%, es decir que a medida que se aplica la carga se debe contabilizar las deformaciones respectivas en relación a un plano de referencia y así hasta llegar a la ruptura de la probeta (viga de bambú).



**Fig. 5.17** Viga de repartición de carga (dos puntos)

d.- El contenido de humedad debe estar alrededor del 30%.

### 5.1.3.6 Gráficas y Fórmulas

El esfuerzo último de flexión estática es calculado de la siguiente manera; como muestra la figura 5.16.

$$\rho_{ult} = \frac{Mult * c}{I}$$

Donde:

$\sigma_{ult}$  = Esfuerzo máximo de flexión (Kg/cm<sup>2</sup>).

$c$  = Centro de gravedad que esta a  $\phi e/2$  (cm).

$I$  = Momento de inercia (cm<sup>4</sup>).

$Mult$  = Momento ultimo de flexión (Kg.cm).

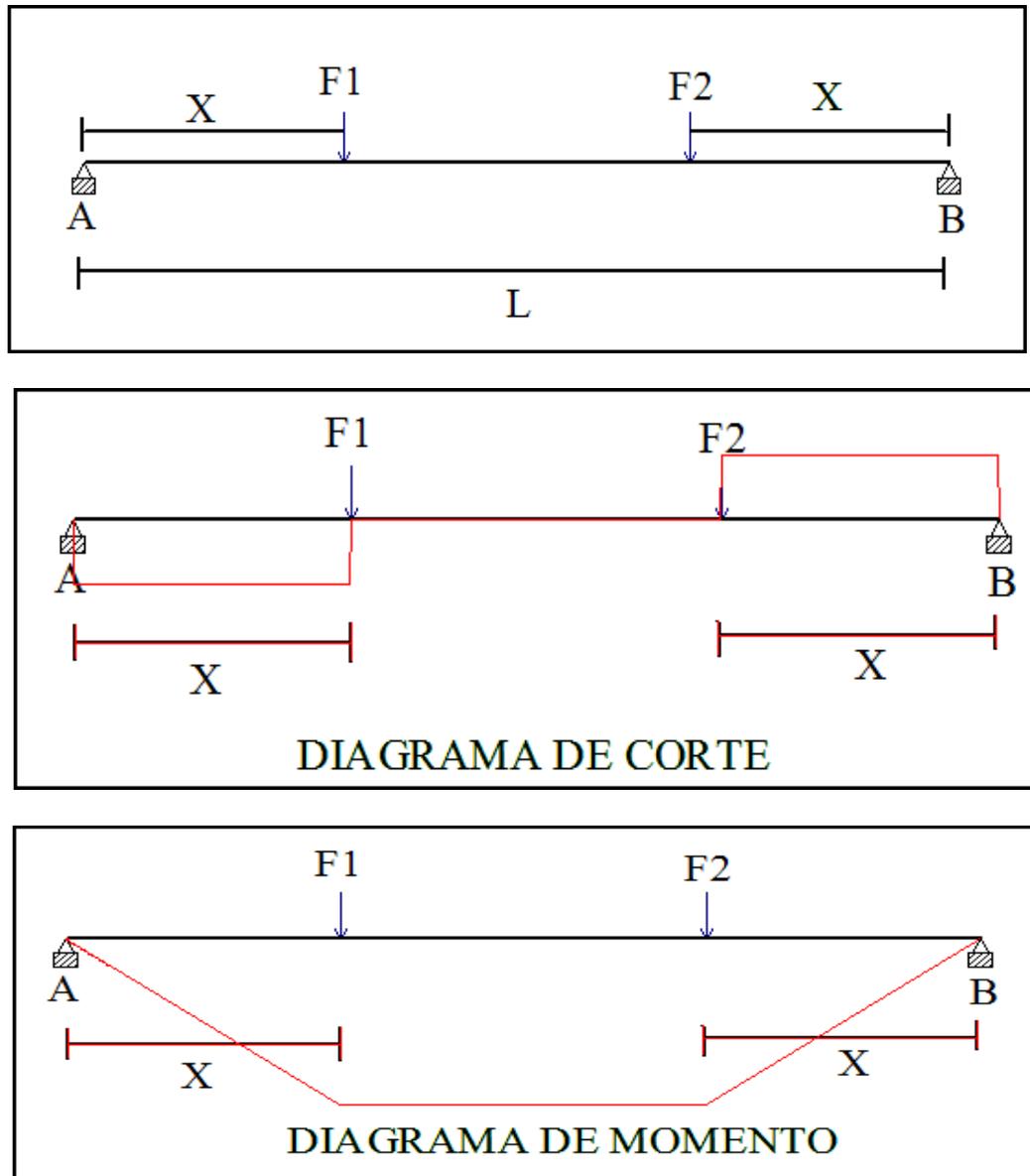


Fig. 5.18 Modelo matemático del ensayo a flexión

$$Mult = \frac{Fult * x}{2}$$

Donde:

$x$  = Distancia del apoyo a la primera carga (cm).

$F_{ult}$  = Fuerza ultima aplicada (Kg).

$$I = \left(\frac{\pi}{64}\right) * [\emptyset e^4 - (\emptyset e - 2e)^4]$$

Para el módulo de elasticidad o módulo de Young es dado por la parte lineal del diagrama de esfuerzo deformación el modulo de elasticidad E es calculado con la siguiente fórmula:

Fórmula de la deflexión máxima en el centro de la viga.

$$\delta_{max} = \frac{0.5F * x}{48EI} * (3L^2 - 4x^2)$$

Despejando (E):

$$E = \frac{Mult}{48 * I * \delta_{max}} * (3L^2 - 4x^2)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad Kg/cm<sup>2</sup>.

F = Fuerza máxima (Kg).

x = Distancia a la primera carga (cm).

L = Distancia libre entre apoyos (cm).

I = Momento de inercia (cm<sup>4</sup>).

$\delta_{max}$  = Deformación máxima (cm).

### 5.1.3.7 Resultados

Los ensayos a flexión de las probetas se realizaron en el laboratorio de resistencia de materiales, el mismo que presentaba las siguientes condiciones:

- ✓ Humedad: 54 %
- ✓ Temperatura ambiente: 20.4 °C

Los resultados de esfuerzos obtenidos a flexión para las diferentes probetas analizadas son las siguientes:

**Tabla 5.5** Esfuerzo Admisible Promedio

PROBETA	Di (mm)	e(mm)	De (mm)	Área		INERCIA (cm <sup>4</sup> )	FUERZA (Kg)	L(cm)	M ult (Kg.cm)	σult (Kg/cm <sup>2</sup> )
				(mm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )					
1	128.53	16.37	144.91	<b>3517.98</b>	35.18	827.35	400.00	200.00	15000.00	168.99
2	127.81	17.58	145.39	<b>3774.64</b>	37.75	887.90	400.00	200.00	15000.00	150.98
<b>PROMEDIO</b>										<b>159.98</b>

**Tabla 5.6** Módulo de Elasticidad Promedio

PROBETA	MODULO ELASTICIDAD (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	203680.89
2	190379.36
<b>PROMEDIO</b>	<b>197030.12</b>

### 5.1.3.8 Comparación con la Tesis de Caña de Guadua

Los resultados obtenidos del Esfuerzo promedio a flexión se comparan con los resultados de la tesis “Propiedades Físicas-Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth y Aplicación al Diseño de Baterías Sanitarias del IASA II”, que se presenta en los siguientes cuadros:

Los dos tipos de ensayos fueron realizados con una sola probeta como se indica en las figuras, o sea sin unir dos a la vez.

**Cuadro 5.11** Esfuerzos Admisibles a Flexión Promedios

<b>ESFUERZOS ADMISIBLES (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
Caña Guadua	Bambú Gigante
476.12	159.98

**Cuadro 5.12** Módulos de Elasticidad a Flexión Promedios (20% al 80%)

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
Caña Guadua	Bambú Gigante
112475.20	197030.12

### 5.1.3.9 Análisis de Resultados

- Para las probetas de bambú gigante (DENDROCALAMUS ASPER) ensayadas en 2 probetas a flexión, cuyo Esfuerzo Admisible Promedio es de 159,98 (Kg/cm<sup>2</sup>); ver tabla 5.5.
- Para luces mayores de 4 metros tenemos que reforzar la viga de bambú, ya sea armando con 2 o más vigas para poder obtener deformaciones pequeñas y que estén dentro del rango admisible.
- Este Esfuerzo Admisible está en el rango de valores según los estudios realizados, cuyo valor es de 183,60 Kg/cm<sup>2</sup>; razón por la cual los resultados obtenidos son válidos para nuestro diseño.
- Los Módulos de Elasticidad Promedio entre el 20% y 80% obtenidos en el laboratorio es de 197030,12 Kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que fueron obtenidos en 2 probetas, ver tabla 5.6.

## 5.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS CABLES DE ACERO

### 5.2.1 Tracción

La determinación del esfuerzo último de tensión en la probeta.

#### 5.2.1.1 Aparatos Utilizados

Las mordazas de la máquina de tensión, debe asegurar que la carga sea aplicada a lo largo del eje longitudinal de la pieza de prueba y prevenir el giro longitudinal. La presión debe ser perpendicular a las fibras y en dirección radial. Hay dos máquinas que se utilizan para estos ensayos de tracción, las mismas están en función de la capacidad:

a.- Máquina universal de tracción con una capacidad de 10 Toneladas;

figura 5.19



**Fig. 5.19** Máquina para ensayo de tracción 10Tn, Escuela Politécnica del Ejército, Laboratorio de Resistencia de Materiales

b.- Máquina universal de tracción con una capacidad de 25 a 50 Toneladas; figura 5.20.



**Fig. 5.20** Máquina de tracción de 25-50 Tn, Escuela Politécnica del Ejército, Laboratorio de Resistencia de Materiales

La carga debe ser aplicada continuamente a través de toda la prueba a una velocidad de los cabezales de 0.01 milímetros/segundo, y medida al 1%.

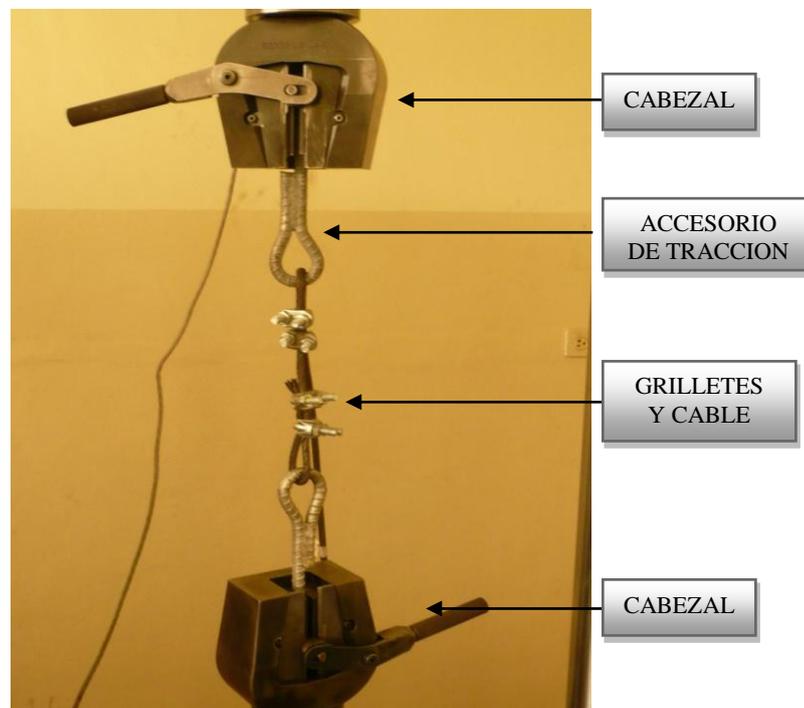
#### **5.2.1.2 Probetas de Prueba**

Las probetas serán cortadas de la misma dimensión, entre 80 a 100 cm cada una, esta dimensión se requiere para poder colocar los grilletes en los extremos de cable y poder anclar en los dispositivos tensores para ensayarlos en la máquina de tracción, como muestra la figura 5.21.



**Fig. 5.21** Probetas para ensayo a tracción

Mediante esta forma de sujeción nos aseguramos que la probeta tenga una falla en la porción media del cable y minimiza la concentración de esfuerzos en el área de transición. La probeta para el ensayo se muestra en la figura 5.20.



**Fig. 5.22** Probetas para ensayo a tracción

### 5.2.1.3 Procedimiento

De cada probeta se obtiene el esfuerzo último de rotura, el mismo que se marca en el dial de la máquina universal, ver figura 5.23.



**Fig. 5.23** Lectura de esfuerzos en maquina universal.

El esfuerzo último de tensión se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

Donde:

$\sigma_{ult}$  = Esfuerzo último de tensión (Kg/cm<sup>2</sup>)

$F_{ult}$  = Carga máxima (Kg)

$A$  = Promedio del área transversal medida (cm<sup>2</sup>)

Con los valores mostrados por la máquina de la deformación unitaria se obtiene las gráficas respectivas, con lo cual se obtiene el módulo de

elasticidad que corresponde a la pendiente de la curva en el rango elástico del material, como se ve a continuación.

$$E = \frac{\sigma_{ult}}{\varepsilon}$$

Donde:

E = Módulo de Elasticidad (Kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_{ult}$  = Esfuerzo último de tensión (Kg/cm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = Deformación unitaria

#### 5.2.1.4 Resultados

Los ensayos a tracción de las probetas se realizaron en el laboratorio de resistencia de materiales, el mismo que presentaba las siguientes condiciones:

- ✓ Humedad: 66 %
- ✓ Temperatura ambiente: 17.8 °C

Los resultados de esfuerzos obtenidos a tracción para las diferentes probetas analizadas son las siguientes:

**Tabla 5.7** Esfuerzos Admisibles a Tracción del Acero

TIPO	ESFUERZO (Kg)
CABLE DE ACERO $\phi$ 3/8"	3527.01
CABLE DE ACERO $\phi$ 1/2"	12531.86
CABLE DE ACERO $\phi$ 9/16"	13149.85
CABLE DE ACERO $\phi$ 1/4"	2370.00
CABLE DE ACERO $\phi$ 5/16"	4992.50

### 5.2.1.5 Análisis de Resultados.

- Para las probetas de Acero ensayadas en diferentes diámetros a tracción, cuyo Esfuerzo Admisible Promedio se muestran en la tabla 5.7, podemos observar que a medida que el diámetro es mayor los valores de esfuerzos aumenta.
- Según el diámetro del cable de acero, el alma varía de material ya que este cambio está relacionado con la capacidad de tensión
- El colapso ó rotura de las probetas se dan en la junta de unión con los grilletes, por donde gira el cable, por lo que en las consideraciones técnicas se considera un factor de reducción de la magnitud de la fuerza soportante del cable.

## 5.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CABO DE NYLON

### 5.3.1 Tracción

La determinación del esfuerzo último de tensión en la probeta de nylon.

#### 5.3.1.1 Aparatos Utilizados

Las mordazas de la máquina de tensión, debe asegurar que la carga sea aplicada a lo largo del eje longitudinal de la pieza de prueba y prevenir el giro longitudinal. La presión debe ser perpendicular a las fibras y en dirección radial. Máquina universal de tracción con una capacidad de 50 Toneladas; figura 5.24.



**Fig. 5.24** Máquina universal para ensayo de tracción, Escuela Politécnica del Ejército, Laboratorio de Resistencia de Materiales

La carga debe ser aplicada continuamente a través de toda la prueba a una velocidad de los cabezales de 0.01 milímetros/segundo, y medida al 1%.

### 5.3.1.2 Probetas de Prueba

Las probetas serán cortadas de la misma dimensión, entre 40 y 60 cm cada una para evitar elongaciones excesivas en el momento de ensayarlas, esta dimensión se requiere para poder colocar los grilletes en los extremos de

cabo nylon y poder anclar en los dispositivos tensores para poder ensayarlos, como muestra la figura 5.25.



**Fig. 5.25** Probetas de ensayo a tracción.

Mediante esta forma que se le da a la probeta nylon y se asegura que la falla ocurra en la porción media del cabo y minimiza la concentración de esfuerzos en el área de transición.

### **5.3.1.3 Procedimiento**

De cada probeta se obtiene el esfuerzo último de rotura, el mismo que se marca en el dial de la maquina universal, ver figura 5.26.



**Fig. 5.26** Lectura de esfuerzos en maquina universal

El esfuerzo último de tensión se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

Donde:

$\sigma_{ult}$  = Esfuerzo último de tensión (Kg/cm<sup>2</sup>)

$F_{ult}$  = Carga máxima (Kg)

A = Promedio del área transversal medida (cm<sup>2</sup>)

Con los valores mostrados por la máquina de la deformación unitaria se obtiene las gráficas respectivas, con lo cual se obtiene el módulo de elasticidad que corresponde a la pendiente de la curva en el rango elástico del material, como se ve a continuación.

$$E = \frac{\sigma_{ult}}{\varepsilon}$$

Donde:

E = Módulo de Elasticidad (Kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_{ult}$  = Esfuerzo último de tensión (Kg/cm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = Deformación unitaria

#### 5.3.1.4 Resultados

Los ensayos a tracción de las probetas se realizaron en el laboratorio de resistencia de materiales, el mismo que presentaba las siguientes condiciones:

- ✓ Humedad: 66 %
- ✓ Temperatura ambiente: 17.8 °C

Los resultados de esfuerzos obtenidos a tracción para las diferentes probetas analizadas son las siguientes:

**Tabla 5.8** Esfuerzo a Tracción de cabo Nylon.

TIPO	ESFUERZO (Kg)
CABO NYLON $\varnothing$ 3/4"	3045.00
CABO NYLON $\varnothing$ 1/2"	2190.00
CABO NYLON $\varnothing$ 5/8"	3030.00
CABO NYLON $\varnothing$ 5/16"	1072.00
CABO NYLON $\varnothing$ 3/8"	1177.50
CABO NYLON $\varnothing$ 1/4"	667.50

### 5.3.1.5 Análisis de Resultados

- Para las probetas de Cabo de Nylon ensayadas en diferentes diámetros a tracción, cuyo Esfuerzo Admisible Promedio se muestran en la tabla 5.8, podemos observar que a medida que el diámetro es mayor los valores de esfuerzos aumenta.
- En los ensayos realizados a tracción, se observó que la elongación del cabo es muy grande, razón por lo cual no es recomendable la utilización de cabos en estructuras tensadas.
- En principio la probeta tenía 40cm de longitud antes de ser ensayada, al momento de la ruptura del cabo tenía un longitud aproximada de 80cm a 90cm.
- Este material se degrada en contacto con agentes ambientales como el agua, sol, variaciones de temperatura, etc.
- La ruptura de cabo de nylon no es brusco, lo que nos indica que puede soportar carga inferior a la del colapso.

## 5.4 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CABO FORTEX

### 5.4.1 Tracción

La determinación del esfuerzo último de tensión en la probeta de cabo fortex nos da el indicador del esfuerzo admisible que soporta este, además de la forma de rotura.

#### 5.4.1.1 Aparatos Utilizados

Las mordazas de la máquina de tensión, debe asegurar que la carga sea aplicada a lo largo del eje longitudinal de la pieza de prueba y prevenir el giro longitudinal. La presión debe ser perpendicular a las fibras y en dirección radial. Máquina universal de tracción con una capacidad de 50 Toneladas; figura 5.27.



**Fig. 5.27** Máquina universal para ensayo de tracción, Escuela Politécnica del Ejército, Laboratorio de Resistencia de Materiales

La carga debe ser aplicada continuamente a través de toda la prueba a una velocidad de los cabezales de 0.01 milímetros/segundo, y medida al 1%.

#### 5.4.1.2 Probetas de Prueba

Las probetas serán cortadas de la misma dimensión, entre 40 y 60 cm cada una, esta dimensión se requiere para poder colocar los grilletes en los extremos del cabo fortex y poder anclar en los dispositivos tensores para poder ensayarlos, como muestra la figura 5.28.



**Fig. 5.28** Probetas para tracción

Mediante esta forma que se le da a la probeta de cabo fortex se asegura que la falla ocurra en la porción media del cabo y minimiza la concentración de esfuerzos en el área de transición.

### 5.4.1.3 Procedimiento

De cada probeta se obtiene el esfuerzo último de rotura, el mismo que se marca en el dial de la maquina universal, ver figura 5.29.



**Fig. 5.29** Lectura de esfuerzos en maquina universal

El esfuerzo último de tensión se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

Donde:

$\sigma_{ult}$  = Esfuerzo último de tensión (Kg/cm<sup>2</sup>)

$F_{ult}$  = Carga máxima (Kg)

$A$  = Promedio del área transversal medida (cm<sup>2</sup>)

Con los valores mostrados por la máquina de la deformación unitaria se obtiene las gráficas respectivas, con lo cual se obtiene el módulo de elasticidad

que corresponde a la pendiente de la curva en el rango elástico del material, como se ve a continuación.

$$E = \frac{\sigma_{ult}}{\varepsilon}$$

Donde:

E = Módulo de Elasticidad (Kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_{ult}$  = Esfuerzo último de tensión (Kg/cm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = Deformación unitaria

#### 5.4.1.4 Resultados

Los ensayos a tracción de las probetas se realizaron en el laboratorio de resistencia de materiales, el mismo que presentaba las siguientes condiciones:

- ✓ Humedad: 66 %
- ✓ Temperatura ambiente: 17.8 °C

Los resultados de esfuerzos obtenidos a tracción para las diferentes probetas analizadas son las siguientes:

**Tabla 5.9** Esfuerzos a Tracción del cabo Fortex

TIPO	ESFUERZO (Kg)
CABO FORTEX $\phi$ 3/4"	1790.00
CABO FORTEX $\phi$ 5/8"	1330.00
CABO FORTEX $\phi$ 1/2"	1990.00
CABO FORTEX $\phi$ 5/8"	2555.00
CABO FORTEX $\phi$ 3/8"	915.00
CABO FORTEX $\phi$ 5/16"	628.00
CABO FORTEX $\phi$ 1/4"	418.00

#### **5.4.1.5 Análisis de Resultados**

- Para las probetas de Cabo Fortex ensayadas en diferentes diámetros a tracción, cuyo Esfuerzo Admisible Promedio se muestran en la tabla 5.9, podemos observar que a medida que el diámetro es mayor los valores de esfuerzos aumenta.
- En los ensayos realizados a tracción, se observó que la elongación del cabo no era muy grande, a pesar de esto no es recomendable la utilización de cabos en estructuras tensadas.
- Este material se degrada en contacto con agentes ambientales como el agua, sol, variaciones de temperatura, etc.
- Además la ruptura del cabo se hace bruscamente.

### **5.5 MEMBRANA DE PVC**

#### **5.5.1 Tracción**

La determinación del esfuerzo último de tensión en la probeta de PVC (membrana).

##### **5.5.1.1 Aparatos Utilizados**

Las mordazas de la máquina de tensión, debe asegurar que la carga sea aplicada a lo largo del eje longitudinal de la membrana de prueba y prevenir el giro longitudinal. La presión debe ser perpendicular a las fibras y en dirección radial, como muestra la figura 5.30 y 5.31.



**Fig. 5.30** Máquina de tracción horizontal, capacidad 200Kg.



**Fig. 5.31** Máquina de tracción vertical, capacidad 500 Kg.

La carga debe ser aplicada continuamente a través de toda la prueba a una velocidad de los cabezales de 0.01 milímetros/segundo, y medida al 1%; para asegurar la ruptura en la parte media de la probeta.

### 5.5.1.2 Probetas de Prueba

a.- Las probetas serán cortadas de la misma dimensión, 4cm de ancho y 20 cm de largo, tanto en sentido transversal a las fibras como longitudinal a las fibras para el ensayo de tracción horizontal como muestra la figura 5.32.



**Fig. 5.32** Probeta ensayos de tracción (fibra transversal y longitudinal).

b.- Las probetas para realizar el ensayo de desgarre tienen una dimensión de 4cm de ancho y 20cm de largo, además se realiza un corte de 6cm a 8cm en la mitad del ancho de la probeta para poder asegurar en las mordazas, como muestra la figura 5.33.



**Fig. 5.33** Probeta ensayos de desgarre (fibra transversal y longitudinal)

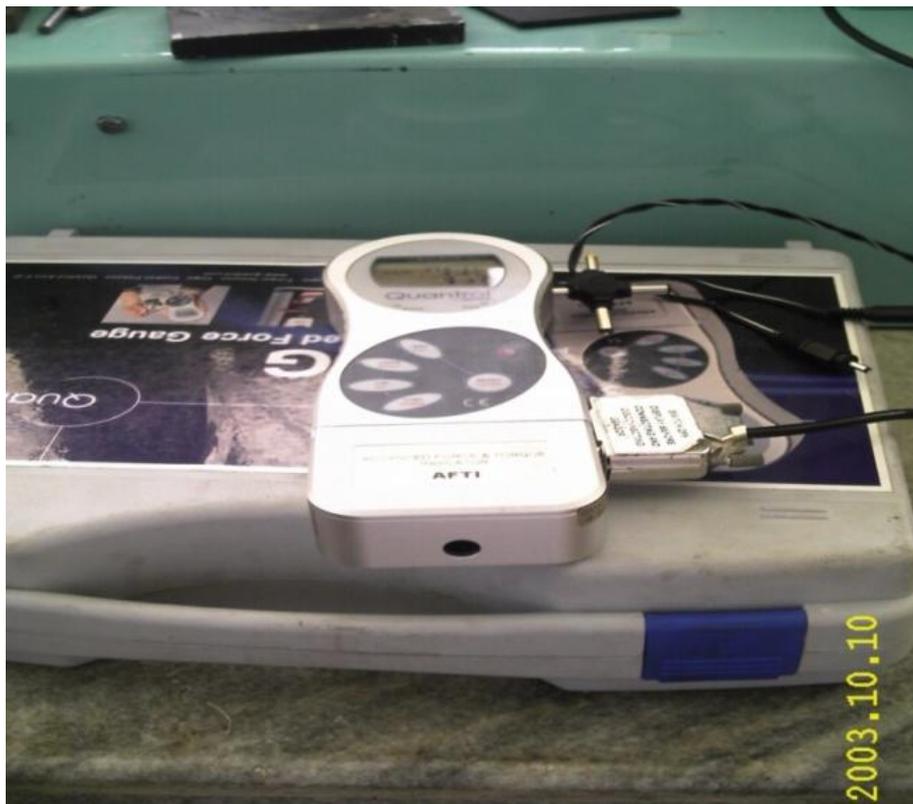
c.- Con esta forma de sujeción a la probeta de PVC, se asegura que la falla de ruptura ocurra en la parte media de la membrana y minimiza la concentración de esfuerzos en el área de transición; ver figura 5.34.



**Fig. 5.34** Colocación de membrana PVC en mordazas

### 5.5.1.3 Procedimiento

De cada probeta se obtiene el esfuerzo último de rotura, el mismo que se marca en el instrumento electrónico que se encuentra conectada a la máquina de tracción horizontal, ver figura 5.35.



**Fig. 5.35** Lectura de esfuerzos

Los ensayos de tracción realizados en las membranas con fibras transversales y longitudinales, se muestran en la figura 5.34.

Debido a la forma de agarre en las mordazas la rotura siempre se presenta en la zona central como se lo detalló anteriormente.

La membrana por ser un tejido la rotura no es uniforme, y queda desprendida de ella un sin número de filamentos que lo conforma.



**Fig. 5.36** Tracción membrana, fibras longitudinales y transversales.

Los ensayos de desgarre realizados en las membranas con fibras transversales y longitudinales, se muestran en la figura 5.37.



**Fig. 5.37** Desgarre membrana, fibras longitudinales y transversales.

El esfuerzo último de tensión se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

Donde:

$\sigma_{ult}$  = Esfuerzo último de tensión (Kg/cm<sup>2</sup>)

$F_{ult}$  = Carga máxima (Kg)

A = Promedio del área transversal medida (cm<sup>2</sup>)

#### 5.5.1.4 Resultados

Los ensayos a tracción de las probetas se realizaron en el laboratorio de resistencia de materiales, el mismo que presentaba las siguientes condiciones:

- ✓ Humedad: 61 %
- ✓ Temperatura ambiente: 17.1 °C
- Los resultados de esfuerzos a tracción son:

**Tabla 5.10** Esfuerzos a tracción de membranas

PROBETA	ESFUERZO (Kg)
SENTIDO LONGITUDINAL A LAS FIBRAS	74.36
SENTIDO TRANSVERSAL A LAS FIBRAS	75.93

- Resultados de ensayo al Desgarre:

**Tabla 5.11** Esfuerzos a desgarre de membranas

PROBETA	ESFUERZO (Kg)
SENTIDO LONGITUDINAL A LAS FIBRAS	50.70
SENTIDO TRANSVERSAL A LAS FIBRAS	47.23

#### 5.5.1.5 Análisis de Resultados:

- Para las membranas de PVC se ensayaron 6 probetas, 3 probetas en sentido transversal a la fibra y 3 probetas en sentido longitudinal a la fibra en lo que se refiere a los ensayos de tracción.
- Para el ensayo de desgarre se ensayaron 6 probetas, 3 probetas en sentido transversal a la fibra y 3 probetas en sentido longitudinal a la fibra
- Los resultados obtenidos para el ensayo de tracción se muestran en la tabla 5.10, se puede apreciar que no hay mucha variación en los resultados obtenidos en el sentido longitudinal y transversal a la fibra.
- Este resultado de tracción de las membranas nos indica que la membrana se puede colocar en la cubierta en cualquier sentido.
- La costura entre las membranas se colocará en sentido de la pendiente de la cubierta ya que esto evitará el ingreso del agua por capilaridad.
- Los resultados obtenidos para el ensayo de desgarre que se muestran en la tabla 5.11, se puede apreciar que no hay mucha variación en los resultados obtenidos en el sentido longitudinal y transversal a la fibra.

## Capítulo 6: RESULTADOS Y PLANOS

### 5.1 OBJETIVO

Definir las hipótesis y requisitos a utilizarse en el diseño de la Cubierta del Mercado Central de la Parroquia de Píntag en Base a Tenso-Estructuras con el uso de Bambú Gigante (Dendrocalamus Asper), como aplicación práctica de la presente investigación.

### 5.2 DESCRIPCIÓN

La Tenso-Estructura con Bambú Gigante posee la disposición de columnas de Bambú, la cubierta está compuesta por Membrana PVC, Cables de Acero longitudinales y transversales en la cubierta de medio arco y perimetrales en la cubierta tipo paraboloides hiperbólicas; el área a cubrir es aproximadamente de 1010 m<sup>2</sup> en una sola planta.

### 6.3 CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

#### 6.3.1 CODIGOS Y NORMAS APLICABLES

Para el diseño se seguirá la normativa ecuatoriana para el diseño de estructuras y elementos de obras civiles. De esta manera los códigos a utilizarse son:

- Acuerdo de Cartagena para diseño en madera. Pad-Refort.
- Código Ecuatoriano de la Construcción 2001
- Uniform Building Code (UBC 97).

- American Institute of Steel Construction (AISC 2005).
- American Concrete Institute (ACI 318-02).
- American Welding Society (AWS)

### **6.3.2 MÉTODOS DE DISEÑO**

Los elementos estructurales como las columnas de bambú, los cables de acero y la membrana para la cubierta, serán diseñados para cargas de servicio o *MÉTODOS DE ESFUERZO ADMISIBLE*.

### **6.3.3 REQUISITOS DE RESISTENCIA**

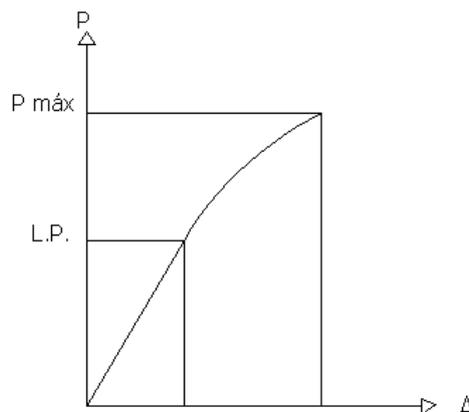
Los elementos estructurales deben diseñarse para que los esfuerzos producidos por las cargas de servicio, sean menores o iguales que los esfuerzos admisibles del material.

***ESFUERZOS DE SERVICIO < ESFUERZOS ADMISIBLES***

### **6.3.4 REQUISITOS DE RIGIDEZ**

Las deformaciones deben considerarse para las cargas de servicio tomando en cuenta las deformaciones permanentes producidas con el tiempo debido a cargas aplicadas de forma continua; estas deformaciones de los elementos estructurales y de la estructura en conjunto deben ser menores a las deformaciones admisibles de los elementos.

***DEFROMACIONES < DEFORMACIONES ADMISIBLES***



**Fig. 6.1** Diseño Elástico

## 6.4 TIPOS DE CARGA

Para la estructura propuesta se deben analizar los siguientes tipos de cargas:

- Carga Muerta (D)
- Carga Viva o Sobrecarga (L)
- Carga de Viento (W)
- Carga Sísmica (E)

### 6.4.1 CARGA MUERTA (D)

Dentro de la carga muerta se consideran las cargas permanentes e inevitables que actúan en la estructura. A continuación se describe cada una de las cargas consideradas en este tipo.

Es la suma total de los pesos de cada uno de los elementos constitutivos de la estructura (columnas de bambú, cables de acero, accesorios, membrana PVC, etc.). El valor de la carga por peso propio será calculado automáticamente en el programa SAP 2000 v14.

Las cargas permanentes, son las cargas de la cubierta, es decir: la membrana PVC, los cables de acero y las cerchas de bambú.

➤ Peso de la membrana PVC =	1.75 kg/m <sup>2</sup>
➤ Peso Instalaciones Eléctricas =	1.25 kg/m <sup>2</sup>
➤ Otras Instalaciones =	2.00 Kg/m <sup>2</sup>
Total de Carga Muerta =	<b>5.00 Kg/m<sup>2</sup></b>

#### 6.4.2 CARGA VIVA O SOBREGARGA (L)

➤ Total de Carga Viva =	<b>20 Kg/m<sup>2</sup></b>
-------------------------	----------------------------

#### 6.4.3 CARGA DE VIENTO (W)

Se considera a la acción del viento sobre los elementos de la estructura, especialmente sobre la cubierta. La carga de viento puede ser a barlovento o a sotavento. Para este diseño se aplica una velocidad del viento de 80 km/h. Los factores para determinar dichas cargas, basados según el UBC 97, se estipulan a continuación:

**C<sub>e</sub>** = altura combinada. Coeficiente de exposición y de factor de ráfaga como se indica en la tabla 16-G

**C<sub>q</sub>** = coeficiente de presión para la estructura o la parte de la misma bajo consideración como se la tabla 16-H

**F<sub>w</sub>** = factor de importancia como se establece en la tabla 16-K

**P** = presión de diseño de viento.

**q<sub>s</sub>** = presión de remanso del viento a la altura estándar de 10m (33f) como se establece en la tabla 16-F

**Tabla 6.1** Factores para el cálculo de la fuerza del viento

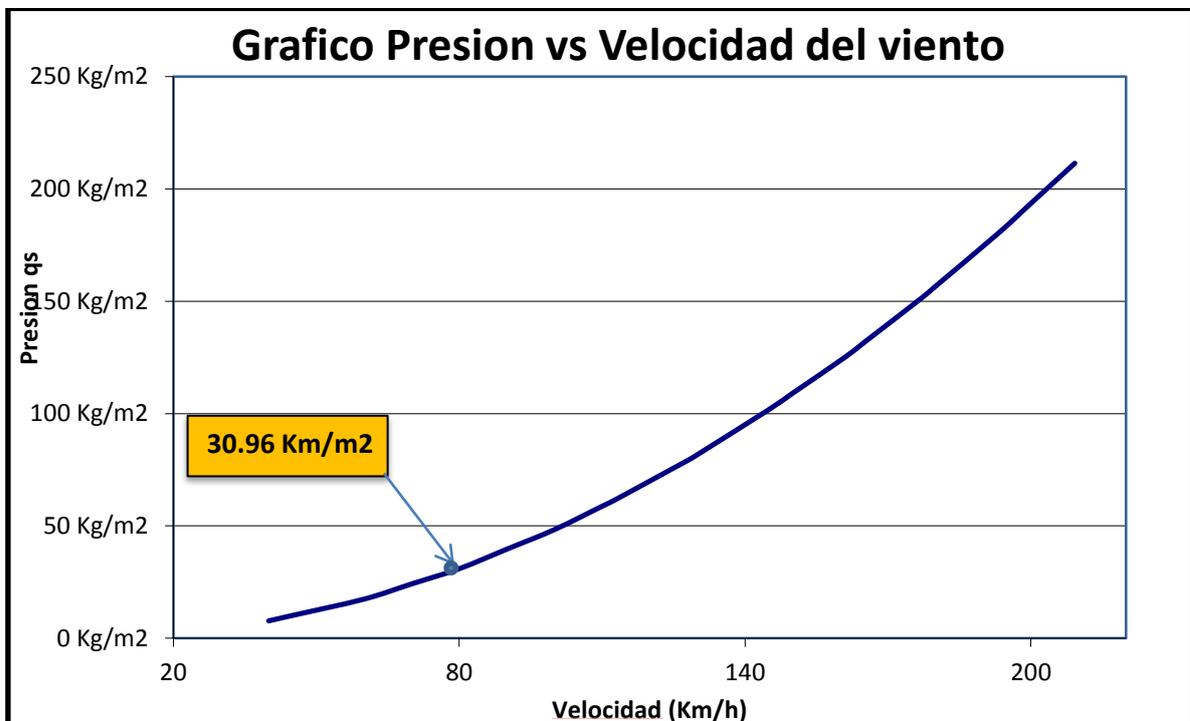
P =	<b>Ce</b>	<b>Cq</b>	<b>qs</b>	<b>lw</b>
	16-G	16-H	16-F	16-K

**Tabla 6.2** Velocidad vs Presión

Velocidad básica del viento		Presión qs		
80,00 Km/h	50 mph	6,34 Psi	0,30 KN/m <sup>2</sup>	30,96 Kg/m <sup>2</sup>

$$qs = 30.96 \text{ Kg/m}^2$$

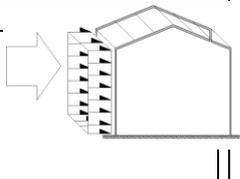
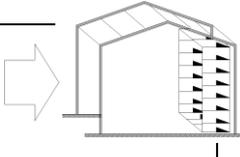
**Cuadro 6.1** Presión vs Velocidad del viento



**Tabla 6.3** Velocidad vs Presión

<b>Categoría</b>	<b>Tipo de uso, destino e importancia escojido</b>	<b>Factor I</b>
Edificaciones Esenciales y/o peligrosas	Estructuras que albergan a más de 300 personas	1,15

**Tabla 6.3** Velocidad vs Presión

	<b>Ce</b>	<b>qs</b>	<b>Iw</b>	<b>Cq</b>	<b>P</b>	<b>Grafico</b>
	16-G	16-F	16-K	16-H		
Barlovento	1.17	30.96 Kg/m <sup>2</sup>	1.15	0.8	<b>33.20 Kg/m<sup>2</sup></b>	
Sotavento	1.17	30.96 Kg/m <sup>2</sup>	1.15	0.5	<b>20.75 Kg/m<sup>2</sup></b>	

#### 6.4.4 CARGA SÍSMICA (E)

La carga sísmica se calculará mediante los modelos matemáticos y tablas del Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC), puesto que es la normativa vigente en el Ecuador.

##### 6.4.4.1 Cortante basal de diseño (V)

El cortante basal se define como la fuerza total de diseño por cargas laterales, que actúan en la base de la estructura por efecto del sismo de diseño especificado por el Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC). Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_e} * W$$

$$C = \frac{1.25 * S^S}{T}$$

Dónde:

- V: Cortante Basal de diseño.
- Z: Factor de peligrosidad sísmica de la zona.
- I: Factor de importancia de la estructura.
- R: Factor de reducción de respuesta estructural.
- $\phi_p$ : Coeficiente de configuración por irregularidad en planta.
- $\phi_e$ : Coeficiente de configuración por irregularidad en elevación.
- C: No debe exceder el valor de  $C_m$  dado por las tablas del CEC que se presentan más adelante, ni debe ser menor a 0.5
- S: Coeficiente relacionado al tipo de suelo dado por el CEC
- T: Periodo de vibración de la estructura

#### 6.4.4.2 Factor de peligrosidad sísmica (Z)

Depende exclusivamente de la zona en donde se construirá la estructura, representa la aceleración efectiva máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresado como aceleración de la gravedad. El lugar del proyecto está en la provincia de Pichicha con una zona IV por lo tanto **Z=0.4**

#### 6.4.4.3 Factor de Importancia (I)

Según el uso que se le dará a la estructura, para la presente investigación

$$I = 1.3$$

**Cuadro 6.2** Tipo de uso, destino e Importancia

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Factor I
<b>1. Instalaciones Esenciales y / o peligrosas</b>	Hospitales, Clínicas, Centros de Salud o de emergencia sanitaria. Estaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipo de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósitos de agua u otras sustancias anti-incendios. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
<b>2. Estructuras de ocupación especial</b>	Escuelas y centros de educación que albergan más de 300 personas. Todas las estructuras que albergan más de 5000 personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente.	1.3
<b>3. Otras estructuras</b>	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores.	1.0

#### 6.4.4.4 Factor de reducción de respuesta estructural (R)

El factor de reducción por respuesta estructural varía en función del tipo de estructura, el factor R a utilizarse en el cálculo del cortante basal aplicado a una estructura de edificación, en cualquiera de las direcciones de cálculo adoptadas, se escogerá del cuadro 6.2 dada por el CEC, para el caso  $R=7$

**Cuadro 6.3** Factor de reducción de respuesta estructural

Sistema Estructural	R
Sistemas Estructurales de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de estructura de acero laminado en caliente, con muros estructurales de hormigón armado (sistemas duales).	12
Sistemas Estructurales de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de estructura de acero laminado en caliente.	10
Sistemas Estructurales de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado (sistemas duales).	10
Sistemas Estructurales de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y diagonales rigidizadoras.*	10
Sistemas Estructurales de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y diagonales rigidizadoras.*	9
Sistemas Estructurales de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda	8
Estructuras de acero con elementos armados de placas o con elementos conformados en frío.	7
Estructuras de aluminio	7
Estructuras de madera.	7
Estructuras de mampostería reforzada.	5
Estructuras de tierra reforzada o confinada	3

#### 6.4.4.5 Coeficiente de configuración estructural en elevación ( $\phi_e$ )

De igual manera el código ecuatoriano obliga a magnificar el cortante basal por las irregularidades estructurales en elevación.

Para el proyecto del mercado, no tiene irregularidad en elevación; razón por la cual se considera  $\phi_e = 0,9$

#### 6.4.4.6 Coeficientes de configuración estructural en planta ( $\phi_p$ )

El código ecuatoriano obliga a magnificar el cortante basal por las irregularidades estructurales en planta. Para el proyecto del mercado, tiene una irregularidad en planta; razón por la cual se considera  $\phi_p = 0.90$ , por los ejes estructurales que no son paralelos.

#### 6.4.4.7 Perfiles de suelo, coeficientes (S y Cm)

De acuerdo a las condiciones geotécnicas del sitio, se clasifican los suelos de acuerdo a sus propiedades mecánicas. Según el CEC y estudios realizados en la zona de emplazamiento del refugio el suelo de la zona es suelo intermedio S2, para el cual los coeficientes son: **S=1.2 y Cm=3.**

**Cuadro 6.4** Coeficientes de suelo S y Cm

Perfil tipo	Descripción	S	Cm
S1	Roca o suelo firme	1.0	2.5
S2	Suelos intermedios	1.2	3.0
S3	Suelos blandos y estrato profundos	1.5	2.8
S4	Condiciones especiales de suelo	2.0*	2.5

#### 6.4.4.8 Periodo de vibración de la estructura (T)

Es el periodo fundamental de vibración de cada estructura, para el cálculo se utilizará la forma simplificada recomendada por el CEC 2001, que resulta útil para el cálculo sísmico estático.

$$C_t = 0.09 \quad T = C_t \times (H_n)^{\frac{3}{4}}$$

$$\begin{aligned} H_n &= 7 \text{ [m]} \\ T_{\text{calc}} &= 0,39 \text{ [s]} \\ T_{\text{max}} &= 0,507 \text{ [s]} \end{aligned}$$

$$T_{\text{calculado SAP}} = 0,56 \text{ [s]}$$

Si

$$T_{\text{calculado sap}} > T_{\text{máx}} ; T = T_{\text{máx}}$$

$$T_{\text{calculado SAP}} < T_{\text{calc}} ; T = T_{\text{calc}}$$

$$T_{\text{calc}} < T_{\text{calculado Sap}} < T_{\text{máx}} ; T = T_{\text{calculado Sap}}$$

$$T_{\text{cec}} = 0,51 \text{ [s]}$$

$$V = 0.275 \text{ W}$$

### 6.5 DISEÑO DE LAS COLUMNAS

#### 6.5.1 COLUMNA EQUILIBRANTE CUBIERTA PARABOIDAL

##### 1) Bases de Cálculo

- Se usará bambú gigante
- Las cargas aplicadas provenientes de otros elementos que se apoyan en la colina resultan

en una carga concentrada de:

$$P = 8482 \text{ kg} \quad \text{comb 2} \quad \text{sap}$$

- Condición de apoyo, articulado en un extremo el otro.

$$k = 1 \quad L = 5,4$$

$$\text{Longitud efectiva} = 5,4 \text{ m}$$

##### 2) Efectos Máximos

Carga axial de compresión es poco importante para ser considerado el peso propio

### 3) Esfuerzos admisibles, módulo de elasticidad y Ck

Para columnas se usa E min

fc = 1013,65 kg/cm<sup>2</sup> Factor de seguridad = 1  
 Emin = 186888,61 kg/cm<sup>2</sup>

### 4) Seleccionar Sección

D1 = 20 cm  $I_x = \pi(R^4 - r^4)/64$   
 d2 = 18,5 cm  
 A = 45,36 cm<sup>2</sup>  
 I = 2104,13 cm<sup>4</sup>

	lc	d	Ix = lc + A*d <sup>2</sup>
	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>4</sup>
1	2104,13	0,00	2104,13
2	2104,13	20,00	20246,83
3	2104,13	20,00	20246,83
4	2104,13	20,00	20246,83
5	2104,13	20,00	20246,83
6	2104,13	20,00	20246,83
7	2104,13	20,00	20246,83
<b>inercia colum</b>			<b>123585,079 cm<sup>4</sup></b>
<b>Area total =</b>			<b>317,50 cm<sup>2</sup></b>

ck = 18,42

### 5) Cálculo de la esbeltez

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i}$$

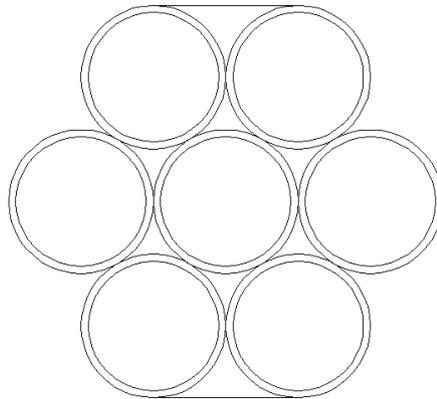
i = 19,73 cm

$\lambda = 27,3703716 > Ck$  Larga

Columna larga 26058,9704 > 8482 kg

Columna Intermedia -201131,945 % trabajo 32,549

Columna corta 321831,044



**Fig. 6.2** Columna Tipo de Conos

### 6.5.2 COLUMNA ESQUINERA CUBIERTA PARABOIDAL

#### 1) Bases de Cálculo

- a) Se usará bambú gigante
- b) Las cargas aplicadas provenientes de otros elementos que se apoyan en la colina resultan en una carga concentrada de :  
 $P = 88153 \text{ kg}$       comb 4      sap      compresión
- c) Condición de apoyo, articulado en un extremo el otro.

$$k = 1 \qquad L = 2,75 \text{ m}$$

Longitud efectiva = 2,75 m

#### 2) Efectos Máximos

Carga axial de compresión es poco importante para ser considerado el peso propio

#### 3) Esfuerzos admisibles, módulo de elasticidad y Ck

Para columnas se usa  $E_{min}$

$f_c =$	1013,65	kg/cm <sup>2</sup>	Factor de seguridad =	1
$E_{min} =$	186888,61	kg/cm <sup>2</sup>		

#### 4) Seleccionar Sección

$D_1 =$	20	cm	$I_x = \pi(R^4 - r^4)/64$
$d_2 =$	18,5	cm	
$A =$	45,36	cm <sup>2</sup>	
$I =$	2104,13	cm <sup>4</sup>	
	$I_c$	$d$	$I_x = I_c + A \cdot d^2$

	cm4	cm	cm4	
1	2104,13	14,14	11172,74	
2	2104,13	14,14	11172,74	
3	2104,13	14,14	11172,74	
4	2104,13	14,14	11172,74	
		<b>inercia colum</b>	<b>44690,9478</b>	<b>cm4</b>
		<b>Area total =</b>	<b>181,43</b>	<b>cm2</b>
	ck		18,42	

### 5) Cálculo de la esbeltez

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i}$$

$$i = 15,69 \text{ cm}$$

$$\lambda = 17,5216032 > Ck \quad \text{Larga}$$

Columna larga 36335,6479

Columna Intermedia 133714,806 > 88153 kg

Columna corta 183903,454 % trabajo 65,93

### 6) Chequeo a tracción

P = 88153 kg comb 4 sap compresion

Elemento sometido a tracción

Circular

Dex = 20 cm

Di = 18,5 cm

N = 4

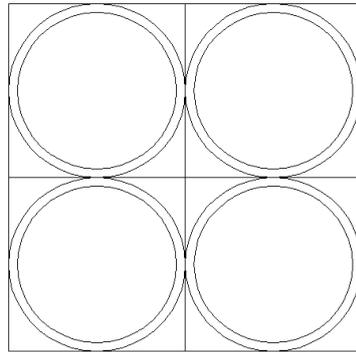
Área = 181,43 cm2

Inercia = 44690,95 cm4

ft= 1295,90 kg/cm2

$$N = f_t * A$$

$$N = 235111,218 > 168771,00 \text{ kg comb14 tracción}$$



**Fig. 6.3** Columna Tipo de Esquinas de Conos

### 6.5.3 COLUMNA TIPO PARA LA CUBIERTA CON LA CERCHA

#### 1) Bases de Cálculo

- a) Se usará bambú gigante
- b) Las cargas aplicadas provenientes de otros elementos que se apoyan en la colina resultan en una carga concentrada de :

$$P = 3854 \text{ kg comb } 4$$

- c) Condición de apoyo, articulado en un extremo el otro.

$$k = 1 \qquad L = 6.4$$

$$\text{Longitud efectiva} = 6,4 \text{ m}$$

#### 2) Efectos Máximos

Carga axial de compresión es poco importante para ser considerado el peso propio

#### 3) Esfuerzos admisibles, módulo de elasticidad y Ck

Para columnas se usa  $E_{min}$

$$f_c = 1013,65 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Factor de seguridad} = 1$$

$$E_{min} = 186888,61 \text{ kg/cm}^2$$

#### 4) Seleccionar Sección

$$D1 = 20 \text{ cm} \qquad I_x = \pi(R^4 - r^4)/64$$

$$d2 = 18,5 \text{ cm}$$

$$A = 45,36 \text{ cm}^2$$

$$I = 2104,13 \text{ cm}^4$$

	lc cm4	d cm	lx=lc+A*d^2 cm4		
1	2104,13	14,14	11172,74		
2	2104,13	14,14	11172,74		
3	2104,13	14,14	11172,74		
4	2104,13	14,14	11172,74		
			<b>Inercia colum</b>	<b>44690,9478</b>	<b>cm4</b>
			<b>Area total =</b>	<b>181,43</b>	<b>cm2</b>
		ck		18,42	

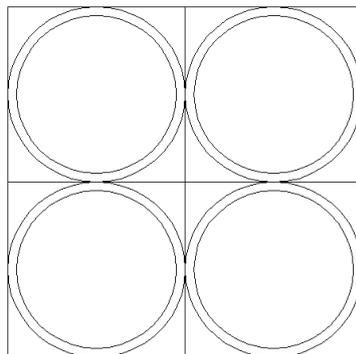
### 5) Cálculo de la esbeltez

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i}$$

$$i = 15,69 \text{ cm}$$

$$\lambda = 40,7775494 > Ck \quad \text{Larga}$$

Columna larga	6708,69965	>	3854	kg
Columna Intermedia	-1288390,8		% trabajo	57,45
Columna corta	183903,454			



**Fig. 6.4** Columna Tipo para la Cercha

## 6.6 DISEÑO DE LOS CABLES

### 6.6.1 CONOS

#### 6.6.1.1 Cable Intermedio

$f_y =$	12000	kg/cm <sup>2</sup>	
$F =$	396	kg	comb2
$D =$	0,64	cm	1/4"
$A =$	0,32	cm <sup>2</sup>	
$\sigma = F/A$	1250,43	kg/cm <sup>2</sup>	
	10,42	%	

#### 6.6.1.2 Cable de Borde

$f_y =$	12000	kg/cm <sup>2</sup>	
$F =$	5001	kg	comb5
$D =$	1,27	cm	1/2"
$A =$	1,27	cm <sup>2</sup>	
$\sigma = F/A$	3947,84	kg/cm <sup>2</sup>	
	32,90	%	

#### 6.6.1.3 Cable Perimetral

$f_y =$	12000	kg/cm <sup>2</sup>	
$F =$	16497	kg	comb5
$D =$	2,54	cm	1"
$A =$	5,07	cm <sup>2</sup>	
$\sigma = F/A$	3255,72	kg/cm <sup>2</sup>	
	27,13	%	

#### 6.6.1.4 Tensor a Tierra

$f_y =$	12000	kg/cm <sup>2</sup>	
$F =$	62266	kg	comb2
$D =$	4,45	cm	1 3/4"
$A =$	15,52	cm <sup>2</sup>	
$\sigma = F/A$	4012,52	kg/cm <sup>2</sup>	
	33,44	%	

## 6.6.2 CABLES DE LA CUBIERTA DE LA CERCHA

fy=	12000	kg/cm <sup>2</sup>	
F=	675	kg	comb2
D=	0,64	cm	1/4"
A=	0,32	cm <sup>2</sup>	
$\sigma = F/A$	2131,41	kg/cm <sup>2</sup>	
	17,76	%	

### 6.6.2.1 Tensor a Tierra

fy=	12000	kg/cm <sup>2</sup>	
F=	5016	kg	comb14
D=	1,27	cm	1 /2"
A=	1,27	cm <sup>2</sup>	
$\sigma = F/A$	3959,68	kg/cm <sup>2</sup>	
	33,00	%	

## 6.7 CONCLUSIONES

Las construcciones de cubierta ligera, han cautivado el mundo de la construcción, debido a que brinda un conjunto de ventajas respecto a las construcciones tradicionales como:

- Aprovecha eficientemente las capacidades de los materiales.
- Son fáciles de construir.
- Amplia variedad de diseños y formas.
- Optimización del tiempo de construcción.
- Capacidad de ser desmontable y reusable.
- Materiales traslúcidos.

- Ventilación natural.
- Óptimo para la variedad de climas de nuestro país.

Al igual existen desventajas, de manera general relacionadas con la logística, pues en Ecuador no se encuentra actualmente implementada la fabricación del material utilizado en membranas, aun no es implementado el diseño de las cubiertas textiles en otros entornos numéricos que faciliten la comprensión del comportamiento de las membranas a lo largo de su vida útil.

A partir de lo anterior se considera recomendar futuras acciones que podrán impulsar el empleo de las tenso-estructuras en las edificaciones ecuatorianas de manera eficiente y económicamente viable. A partir de la satisfactoria modelación se recomienda la realización de un estudio estadístico para validar los resultados obtenidos. Redactar un conjunto de recomendaciones para el diseño y construcción de cubiertas en base a Tenso-Estructuras en el Ecuador, donde se recojan todos los aspectos y peculiaridades de la realidad.

## 6.8 RECOMENDACIONES

- Se debe contar con mano de obra capacitada en la creación del diseño estructural apropiado para la construcción con bambú.
- Es de mucha importancia, elegir un material que se encuentre previamente inmunizado y en su punto óptimo de maduración.

- Si requiere almacenar el bambú previo a la utilización del mismo, es necesario que se coloque de tal forma que el material este ventilado, para evitar humedad, preferiblemente en forma vertical.
- La guadua debe estar protegida de la intemperie (sol y agua), lo mismo que de la humedad ascendente, bajo el concepto: **“buenas botas y buen sombrero”**, la guadua se debe colocar bajo techo o cubierta, construyendo aleros grandes y buenas bases o pedestales, de una altura mínima del piso de 40 cm, ya que la lluvia salpica a esta altura promedio.
- El espesor de la pared y diámetro del bambú es variable en toda su longitud, por lo que es necesario tomar estas consideraciones para la correcta utilización y ubicación del material, logrando su aprovechamiento total.
- No es recomendable que el bambú este en contacto permanente con la humedad del suelo, por lo que le recomendamos la utilización de cimientos de concreto a 1 m de altura, que sirvan de plataforma aisladora de humedad.
- El bambú no debe clavarse con puntillas o clavos que generalmente se emplean en la madera, sino debe utilizarse grapas o clavos con pistolas neumáticas para evitar ranuras en el material.
- Como acabado se le puede aplicar al bambú un producto que ayude a repeler la humedad del ambiente y que a la vez no selle los poros del material, para que el mismo pueda eliminar la humedad interna.

### 6.8.1 Optimización del Material

- **Usar buena materia prima.** Usar guaduas maduras, por su resistencia y menor contenido de agua, que hayan sido debidamente curadas y secadas. El uso de guaduas no maduras o frescas, puede ocasionar rajaduras, fisuras, y hasta colapso de la construcción.
- **Construir aleros suficientemente amplios.** Proteger las guaduas del sol y la humedad. Las guaduas expuestas a los elementos se tornan blancas y se deterioran.
- **Recubrir las guaduas expuestas.** Recubrimiento de arena-cemento.
- **Apoyar guaduas verticales sobre nudos.** Las piezas verticales no pueden descansar en medio de los nudos, ya que ello puede causar rajaduras, fisuras, y hasta colapso.
- **Mantener columnas aisladas de humedad.** Mantener las columnas alejadas de la humedad. Para fijar columnas es necesario que no se las empotre directamente en el concreto para evitar su deterioro. La guadua tiene alta capacidad de absorción de humedad del ambiente, del suelo y de la lluvia.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Proyectos andinos de desarrollo tecnológico en el área de los recursos forestales tropicales. PADT-REFORT. Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. Lima-Perú 1984.
2. Laboratory Manual on Testing Methods for Determination of physical and mechanical properties of bamboo. Reporte Técnico ISO/TC 165 N315, 2001
3. Ing. Arq. Sjored Nienhu INEN. Bambú Caña Guadúa, Recomendaciones para El Uso en la Construcción.
4. Toapanta E. Guillermo. La Caña Guadúa, Escuela Politécnica del Ejército, Quito 1994.
5. Hidalgo López Oscar. Nuevas Técnicas de Construcción con Bambú.
6. Arq. Tim Martin Obermann, Ing. Ronald Laude Bambú Recurso Sostenible para Estructuras Espaciales. Universidad Nacional de Colombia 2004.
7. Ing. Luis González, Elementos para la Caracterización Mecánica de la Guadúa Angustifolia Kunth Universidad Nacional Colombia 2000.
8. López Luis, Trujillo David, Diseño de Uniones y Elementos en Estructuras de Guadúa Pereira 2002.
9. Osorio Jairo, Ciro Héctor, Vélez Juan, Efectos de Algunos Parámetros Físicos y Geométricos en la Resistencia de Diseño a Flexión de la Guadúa Angustifolia Kunth Universidad Nacional de Colombia 2005.
10. Comoglio S., Méndez J., Comportamiento de Formas Estructurales de Eje Curvo en Bambú. Universidad Nacional de Tucumán. 2003

11. Colorado Alexandra, La Guadúa, una maravilla natural de Grandes Bondades y Promisorio Futuro. Colombia 2001.