

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**"DESARROLLO DE LOSAS CON CAÑA DE GUADUA  
ANGUSTIFOLIA Y ANÁLISIS COMPARATIVO  
ESTRUCTURAL Y ECONÓMICO CON LOS SISTEMAS  
DE LOSAS TRADICIONALES UTILIZADOS EN  
NUESTRO MEDIO"**

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

**INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR:**

**LUIS SEBASTIÁN NARVÁEZ CHAMORRO**

**SANGOLQUÍ, MAYO DEL 2013**

## **EXTRACTO / ABSTRACT**

La presente investigación nace de la carencia de nuevos métodos constructivos para la creación de viviendas en nuestro medio. La demanda de viviendas crece cada día mucho más, y la falta de una estabilidad política laboral, ha permitido que muchos de nosotros no tengamos acceso a una vivienda digna. El desarrollo de losas con caña guadua angustifolia más que una alternativa es una revolución a las técnicas constructivas tradicionales, ya que su aplicación es de muy buen comportamiento estructural siempre y cuando se lo haga con buenos materiales, mano de obra calificada y el control de un técnico especializado en obras civiles. De esta manera la aplicación de esta técnica es de vital importancia ya que la caña guadua angustifolia reemplaza al acero tradicional, dando como resultado final una vivienda de menor costo pero de igual seguridad en el contorno estructural.

This research stems from the lack of new construction methods for building homes in our area. Housing demand grows every day more, and the lack of a labor political stability has allowed many of us do not have access to decent housing. The development of slabs with bamboo cane angustifolia more than an alternative is a revolution to traditional construction techniques, as their application is very good structural behavior as long as it does with good materials, skilled labor and the control of a civil engineering technician. Thus, the application of this technique is vital since angustifolia bamboo cane replaces the traditional steel, ultimately resulting in lower cost housing but equally structural safety contour.

## **CERTIFICACION**

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el señor: **LUIS SEBASTIAN NARVAEZ CHAMORRO**, como requerimiento parcial para la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**.

Sangolquí, Mayo del 2013

---

Ing. Ernesto Pro Zambrano

**DIRECTOR**

---

Ing. Mario Arias Santillán

**CODIRECTOR**

REVISADO POR

---

Ing. Jorge Zuñiga

**RESPONSABLE ACADEMICO**

## AUTORIZACIÓN

Yo Luis Sebastián Narváez Chamorro, **autorizo la publicación en la Biblioteca Virtual** de la Escuela Politécnica del Ejército del proyecto titulado “Desarrollo de Losas con Caña Guadua Angustifolia y Análisis Comparativo Estructural y Económico con los Sistemas de Losas Tradicionales Utilizados en Nuestro Medio”.

Sangolquí, Mayo del 2013.

---

Sr. Luis Sebastián Narváez Chamorro

## **AUTORIA DE RESPONSABILIDAD**

El presente proyecto titulado “Desarrollo de Losas con Caña Guadua Angustifolia y Análisis Comparativo Estructural y Económico con los Sistemas de Losas Tradicionales Utilizados en Nuestro Medio”, ha sido redactado respetando el derecho de cada uno de los autores que se detalla en la bibliografía y que además son resultados de investigación propia.

Por tanto declaro que la presente investigación es autoría de mi responsabilidad.

Sangolquí, Mayo del 2013.

---

Sr. Luis Sebastián Narváez Chamorro

## **HOJA DE LEGALIZACION DE FIRMAS**

### **ELABORADO POR**

---

Sr. Luis Sebastián Narváez Chamorro

### **DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

---

Ing. Jorge Zuñiga

### **DIRECTORA DE LA UNIDAD DE ADMISION Y REGISTRO**

---

Ing. Amparo Navas

Sangolquí, Mayo del 2013

## **DEDICATORIA**

Alguna vez soñé con ser ingeniero civil, y hoy que el sueño se convierte en realidad dedico este merito a quienes ayudaron que esta conquista sea una realidad, a mis padres quien siempre estuvieron a mi lado incondicionalmente apoyándome en todos los sentidos. Gracias Luis y Marcelina sin ustedes no hubiese sido posible este sueño.

**Sebastián**

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias querida familia por la ayuda prestada en todos los momentos de mi vida estudiantil, a mis padres Luis y Marcelina, a mis hermanos Alexandra, Ximena, Paulina y Francisco, a mi compañera incondicional Maribel, a los grandes amigos que conocí en esta prestigiosa Escuela, a los invaluable maestros por sus conocimientos, y como último pero siempre ocupando el primer lugar en mi vida, agradezco a quien ha sido la parte primordial en el crecimiento y formación a lo largo de toda mi vida, gracias Dios.

**Sebastián**



## **INDICE DE CONTENIDOS**

### **CAPITULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. AREA DE INFLUENCIA.....	3
1.3. OBJETIVO GENERAL DEL ESTUDIO.....	3
Objetivos Específicos.....	3
1.4. METAS DEL PROYECTO.....	4
1.5. JUSTIFICACION.....	4

### **CAPITULO II**

#### **SELECCIÓN DE MATERILES**

2.1. EL HORMIGON ARMADO.....	6
2.1.1. Actualidad y Servicio del Hormigón en Nuestro Medio.....	6

2.1.2. Componentes de Hormigón.....	7
2.1.2.1. Cemento.....	7
2.1.2.2. Agregados.....	9
2.1.2.3. Relación Agua-Cemento.....	12
2.1.2.4. Aditivos.....	14
2.1.3. Comportamiento del Hormigón Armado.....	22
2.1.3.1. Propiedades del Hormigón Estructural.....	22
2.1.3.2. Resistencia del Hormigón Armado a Compresión.....	23
2.1.3.3. Ventajas.....	24
2.1.3.4. Desventajas.....	26
2.1.4. Acero Estructural.....	27
2.1.4.1. Perfiles Estructurales.....	28
2.1.4.2. Barras de Acero.....	28
2.1.4.3. Planchas de Acero.....	28

2.1.4.4. Propiedades Mecánicas del Acero Estructural .....	30
2.1.4.5. Ventajas del Acero Estructural .....	34
2.1.4.6. Desventajas del Acero Estructural.....	36
2.2. PANEL METÁLICO (PLACA COLABORANTE) .....	37
2.2.1. Losa Metálica Autoportante .....	38
2.2.2. Encofrado Metálico Permanente .....	39
2.2.3. Losa Metálica Colaborante o Losa Mixta .....	40
2.2.4. Losa Metálica Colaborante en Viga Mixta o Compuesta .....	42
2.2.5. Ámbito de Aplicación .....	43
2.2.6. Forma y Sección del Panel .....	44
2.2.7. Ventajas del Panel Metálico .....	45
2.2.8. Desventajas del Panel Metálico.....	46
2.3. MATERIAL ALTERNATIVO (CAÑA DE GUADUA ANGUSTIFOLIA) .....	47
2.3.1. Definición.....	47

2.3.2. Morfología de La Caña Guadua Angustifolia .....	47
2.3.3. Estructura de la Caña Guadua .....	48
2.3.3.1. Rizoma.....	49
2.3.3.2. Culmo .....	50
2.3.3.3. Ramas .....	51
2.3.3.4. Hojas Caulinares.....	52
2.3.3.5. Hojas ramales .....	52
2.3.3.6. Inflorescencia.....	53
2.3.3.7. Fruto.....	54
2.3.4. Estados de Madurez de la Caña Guadua .....	54
2.3.5. Silvicultura .....	56
2.3.6. Post-Cosecha y Preservación .....	59
2.3.7. Usos e Importancia de la Caña Guadua .....	64
2.3.7.1. Economía y Agroindustria.....	64

2.3.7.2. Cultura y Artesanías .....	65
2.3.7.3. La Guadua como Paisaje .....	66
2.3.7.4. Su Aplicación en la construcción .....	67
2.3.8. Ventajas y Desventajas de la Caña Guadua Angustifolia .....	70
2.3.8.1. Ventajas .....	70
2.3.8.2. Desventajas .....	72

### **CAPITULO III**

#### **INVESTIGACIÓN DE LOSAS CON CAÑA GUADUA**

##### **ANGUSTIFOLIA KUNTH**

3.1. INTRODUCCIÓN.....	73
3.2. ANTECEDENTES .....	73
3.2.1. Características Físico-Mecánicas de la Caña Guadua.....	73
3.2.1.1. Propiedades Físicas.....	74
3.2.1.1.1. Contenido de Humedad .....	74

---

3.2.1.1.2. Masa por Volumen .....	74
3.2.1.1.3. Peso Específico.....	74
3.2.1.2. Propiedades Mecánicas.....	75
3.2.1.2.1. Tracción.....	75
3.2.1.2.2. Compresión.....	75
3.2.1.2.3. Corte Paralelo a la Fibra.....	76
3.2.1.2.4. Flexión.....	76
3.3. APLICACIÓN DE LA CAÑA EN LOSAS DE HORMIGÓN.....	76
3.3.1. Comportamiento de la Caña Guadua Angustifolia Kunth y del Acero a la tracción.....	76
3.3.2. Hipótesis de Diseño para el Diseño del Hormigón Armado.....	80
3.3.3. Análisis de Esfuerzos y Deformaciones Definida por los Códigos de Diseño ..	86
3.3.4. Obtención de la Ecuación de la Sección Transversal en Vigas Rectangulares..	90
3.3.5. Adherencia del Hormigón en el Acero y la Caña Guadua Angustifolia .....	93
3.3.5.1. Adherencia en el Hormigón Armado Consideraciones Iniciales.....	93

3.3.5.1.1. Mecanismos de adherencia entre el hormigón y el acero .....	95
3.3.5.1.2. Influencia de la Adherencia en el Comportamiento Estructural.....	99
3.3.5.1.3. Adherencia del Hormigón-Caña Guadua Angustifolia Kunth .....	100

## **CAPITULO IV**

### **ENSAYOS DE LABORATORIO**

4.1. INTRODUCCIÓN.....	110
4.2. DISEÑO DEL HORMIGÓN (Practica Recomendada para la Dosificar Hormigón Normal por el A.C.I. 211.1) .....	110
4.2.1. Gravedad Especifica-Densidad Relativa y Absorción de Agregado Grueso ASTM C127 .....	112
4.2.1.1. Alcance .....	112
4.2.1.2. Objetivo .....	112
4.2.1.3. Aparatos.....	112
4.2.1.4. Muestra .....	114
4.2.1.5. Procedimiento .....	115

4.2.1.6. Cálculos .....	116
4.2.1.7. Resultados.....	117
4.2.2. Gravedad Especifica-Densidad Relativa y Absorción de Agregado Fino	
ASTM C128 .....	117
4.2.2.1. Alcance .....	117
4.2.2.2. Objetivo .....	117
4.2.2.3. Equipo.....	118
4.2.2.4. Muestra .....	119
4.2.2.5. Procedimiento.....	120
4.2.2.6. Cálculos .....	120
4.2.2.7. Resultados.....	121
4.2.3. Método de Ensayo Normalizado para determinar la densidad aparente ("peso unitario") e Índice de Huecos en los Áridos ASTM C29.....	122
4.2.3.1. Alcance .....	122
4.2.3.2. Objetivo .....	122



4.2.3.3. Aparatos.....	122
4.2.3.4. Muestra.....	123
4.2.3.5. Procedimiento.....	124
4.2.3.6. Cálculos.....	124
4.2.3.7. Resultados.....	125
4.2.4. Porcentaje Óptimo de la Mezcla.....	126
4.2.5. Diseño de Hormigón de 210 Kg/cm <sup>2</sup> para 1.00 m <sup>3</sup> de Mezcla.....	127
4.3. ELABORACIÓN DE LA ARMADURA DE CAÑA GUADUA.....	131
4.3.1. Alcance.....	131
4.3.2. Objetivo.....	131
4.3.3. Aparatos.....	132
4.3.4. Muestra.....	133
4.3.5. Procedimiento.....	133
4.3.6. Resultados.....	136

---

4.4.	ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN.....	136
4.4.1.	Alcance.....	137
4.4.2.	Objetivo.....	137
4.4.3.	Equipo ó Aparatos.....	137
4.4.4.	Requerimientos de Prueba.....	138
4.4.5.	Muestra.....	138
4.4.6.	Procedimiento.....	139
4.4.7.	Curado.....	141
4.4.8.	Resultados.....	142
4.5.	ENSAYO A LA COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS (NORMA ITINTEC 339.034). (LABORATORIO “ASHOSUE CIA. LTDA.” SANTO DOMINGO).....	143
4.5.1.	Alcance.....	143
4.5.2.	Objetivo.....	144
4.5.3.	Materiales.....	144
4.5.4.	Muestras.....	145

---

4.5.5. Procedimiento.....	146
4.5.6. Resultados .....	146
4.6. DETERMINACION DEL ESFUERZO A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ASTM C78 Y ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAÑA CON HORMIGÓN. (LABORATORIO DE HORMIGONES, ASFALTO Y SUELOS “ASHOSUE CIA. LTDA.” SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS.).....	148
4.6.1. Alcance.....	148
4.6.2. Objetivo.....	148
4.6.3. Equipo .....	148
4.6.4. Muestra.....	149
4.6.5. Procedimiento.....	149

## **CAPITULO V**

### **DISEÑO ESTRUCTURAL**

5.1. CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE DISEÑO .....	161
5.2. DISEÑO DE LOSAS UNIDIRECCIONALES EN HORMIGÓN ARMADO.	164

5.2.1. Predimensionamiento .....	164
5.2.2. Análisis de Cargas .....	165
5.2.2.1 Determinación de Cargas.....	165
5.2.2.2 Combinación de Cargas.....	167
5.2.3. Calculo de Esfuerzos en Losas Unidireccionales.....	169
5.2.3.1. Método de los Coeficientes de Momento del Código A.C.I. ....	169
5.2.3.2. Obtención de Esfuerzos por el Método de los Coeficientes A.C.I. ....	171
5.2.3.3. Método de Cross.....	171
5.2.3.4. Calculo de Esfuerzos por el Método de Cross.....	176
5.3. LOSAS BIDIRECCIONALES DE HORMIGÓN ARMADO.....	177
5.3.1. Predimensionamiento .....	177
5.3.2. Análisis de Cargas .....	180
5.3.2.1. Determinación de Cargas.....	180
5.3.2.2 Combinación de Cargas.....	182

5.3.3. Calculo de Esfuerzos en Losas Bidireccionales y Diseño Estructural .....	183
5.3.3.1. Método 3 del Código A.C.I. ....	183
5.3.4. Planos de Detalle .....	187
5.4.    DISEÑO DE LOSAS CON PANEL METALICO (PLACA COLABORANTE).....	188
5.4.1. Introducción .....	188
5.4.2. Predimensionamiento .....	188
5.4.3. Análisis de Cargas .....	190
5.4.4. Calculo de Esfuerzos y Diseño Estructural de la Placa Colaborante (Panel Metálico) .....	191
5.4.4.1. Calculo de Deflexión .....	191
5.4.4.2. Diseño de la Sección Compuesta.....	195
5.4.4.3. Calculo del Acero de Temperatura .....	198
5.4.4.4. Diseño de Conectores a Cortante.....	199
5.4.5. Planos de Detalle .....	201

5.5. DISEÑO DE LOSAS CON CAÑA DE GUADUA ANGUSTIFOLIA .....	201
5.5.1. Antecedentes .....	201
5.5.2. Predimensionamiento .....	201
5.5.3. Análisis de Cargas .....	204
5.5.3.1. Determinación de Cargas.....	204
5.5.3.2 Combinación de Cargas.....	205
5.5.4. Determinación de Esfuerzos y Diseño de la Losa.....	206
5.5.4.1. Calculo del Nervio N1 .....	207
5.5.4.2. Resumen de Cálculo y Diseño de Nervios. ....	210
5.5.4.3. Planos de Detalle .....	213

## **CAPITULO VI**

### **ANALISIS COMPARATIVO ECONÓMICO**

6.1. INTRODUCCIÓN.....	214
6.2. CRITERIOS Y GENERALIDADES .....	214

---

6.3.	PRESUPUESTO.....	215
6.4.	ANÁLISIS DE COSTOS .....	215
6.4.1.	Costos Directos .....	215
6.4.2.	Costos Indirectos .....	217
6.5.	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.....	218
6.6.	PRESUPUESTOS .....	218
6.6.1.	Presupuesto de Losa en Hormigón Armado.....	219
6.6.2.	Presupuesto de Losa con Placa Colaborante .....	220
6.6.3.	Presupuesto de Losa con Armadura de Caña Guadua.....	220
6.6.4.	Análisis de Precios Unitarios de cada Rubro .....	221
6.7.	ANALISIS ECONÓMICO.....	232
6.7.1.	Alternativa de Diseño.....	232

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

7.1.	CONCLUSIONES .....	234
7.2.	RECOMENDACIONES .....	235
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>237</b>

## INDICE DE TABLAS

### CAPITULO II

#### SELECCIÓN DE MATERIALES

Tabla 2.1: Principales aditivos, dosis y aplicaciones (Materiales de la Construcción – Manuel Fernández Cánovas, España 2005)

Tabla 2.2: Diámetros de las varillas, sección y peso.

Tabla 2.3: Dimensiones del Culmo de la Caña Guadua (Castaño y Moreno, 2004. “Guadua para todos”)

### CAPITULO III

#### INVESTIGACIÓN DE LOSAS CON CAÑA GUADUA

##### ANGUSTIFOLIA KUNTH

Tabla 3.1: Resistencia a la Tensión de Varias Investigaciones.

Tabla 3.2: Valores de  $\beta_1$  para Diferentes Capacidades de Resistencia

Tabla 3.3: Valores de Cálculo de la Tensión de Adherencia  $f_{bd}$  Según el EUROCÓDIGO 2



## CAPITULO IV

### ENSAYOS DE LABORATORIO

Tabla 4.1: Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso

Tabla 4.2: Peso Unitario Suelto del Agregado Fino

Tabla 4.3: Porcentaje Óptimo de la Mezcla de los Agregados.

Tabla 4.4: Resistencia a la Compresión del Hormigón Basada en la Relación Agua/Cemento.

Tabla 4.5: Cantidades Aproximadas de Agua de Mezclado que se Requieren para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Granulado Grueso.

Tabla 4.6: Diseño de la Mezcla de Hormigón en Peso y Volumen

Tabla 4.7: Resistencias de Cilindros a Ensayados a Compresión (Laboratorio ASHOSUE CIA. LTDA.)

Tabla 4.8: Resultados

Tabla 4.9: Dimensiones de Paquetes de Caña Guadua Armadas

Tabla 4.10: Cantidades de Sección de Caña Guadua Calculada Probetas 1-2-3.

Tabla 4.11: Cantidades de Sección de Caña Guadua Calculada Probetas 4-5-6.

Tabla 4.12: Cantidades de Sección de Caña Guadua Calculada Probetas 7-8-9.

Tabla 4.13: Cuadro Comparativo de Sección Calculada con Sección Aplicada en Probetas

## CAPITULO V

### DISEÑO ESTRUCTURAL

Tabla 5.2. Análisis de Cargas Losa Unidireccional

Tabla 5.3: Valores de momento y de cortante utilizando coeficientes del ACI

Tabla 5.4: Cuadro de Inercias de la Losa como Viga T

Tabla 5.5: Análisis de Cargas para Losa Bidireccional

Tabla 5.6: Distribución de Cargas en las Direcciones A y B

Tabla 5.7: Calculo de la Armadura de Acero Nervio Uno (N1)

Tabla 5.8: Calculo de la Armadura de Acero Nervio Dos (N2)

Tabla 5.9: Calculo de la Armadura de Acero Nervio Dos (N3)

Tabla 5.10 (a): Propiedades de las Láminas de Panel Metálico

Tabla 5.10 (b): Propiedades de la Sección Compuesta

Tabla 5.11: Análisis de Cargas

Tabla 5.12: Inercia de Losa con Viga T de espesor igual a 15cm

Tabla 5.13: Análisis de Cargas para Losa Bidireccional  $e=20\text{cm}$

Tabla 5.14: Distribución de Cargas en las Direcciones A, B.

Tabla 5.15: Calculo de Esfuerzos y Sección Transversal de la Caña Guadua Nervio (N1)

Tabla 5.16: Calculo de Esfuerzos y Sección Transversal de la Caña Guadua Nervio (N2)

Tabla 5.17: Calculo de Esfuerzos y Sección Transversal de la Caña Guadua Nervio (N3)

## **CAPITULO VI**

### **ANALISIS COMPARATIVO ECONÓMICO**

Tabla 6.1: Costos Indirectos y Utilidad

Tabla 6.2: Resumen de Presupuesto de cada Sistema de Losa

## **INDICE DE FIGURAS**

### **CAPITULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

Figura 1.1: Indicador Tipo de Cubierta (INEC 2010)

### **CAPITULO II**

#### **SELECCIÓN DE MATERIALES**

Figura 2.1: Cemento Portland Tipo I de 50kg (Holcim Ecuador S.A.)

Figura 2.2: Silos de Almacenamiento Herméticos de Cemento a Granel ([www.mx.all.biz](http://www.mx.all.biz))

Figura 2.3: Tamaño de los Agregados ([www.materialesdeconstruccion.com](http://www.materialesdeconstruccion.com))

Figura 2.4: Curva Esfuerzo vs Deformación Unitaria Hormigón Armado (ACI American Institute Concrete)

Figura 2.5: Acero Estructural en Varillas (Adelca Ecuador C.A.)

Figura 2.6: Curva de Esfuerzo vs Deformación Unitaria del Acero  
(<http://blog.utp.edu.co/metalografia>)

Figura 2.7: Rango Elástico del Acero (Temas de Hormigón Armado, Marcel Romo, QUITO-ESPE 2008)

Figura 2.8: Zona de Fluencia del Acero (Temas de Hormigón Armado, Marcel Romo, QUITO-ESPE 2008)

Figura 2.9: Esfuerzo de Rotura del Acero (Temas de Hormigón Armado, Marcel Romo, QUITO-ESPE 2008)

Figura 2.10: Detalle Transversal Típico del Sistema de Losa con Placa colaborante  
(Manual Técnico MetalDeck)

Figura 2.11: Fijación Lateral de la Placa Colaborante en Sentido Longitudinal (Manual Técnico MetalDeck)

Figura 2.12: Losa Metálica Colaborante en Viga Mixta (Manual Técnico MetalDeck)

Figura 2.13: Detalle Transversal Típico del Sistema de Losa con Placa Colaborante  
(Manual Técnico MetalDeck)

Figura 2.14: Estructura y Componentes de la Caña Guadua K.

Figura 2.15: Rizoma de Caña Guadua Angustifolia K.

Figura 2.16: Culmo de la Caña Guadua Angustifolia K.

Figura 2.17: Hojas Caulinares de Guadua Angustifolia K.

Figura 2.18: Hojas de Follaje Guadua Angustifolia K.

Figura 2.19: Inflorescencia de la Caña Guadua

Figura 2.20: Estados de Madures de la Caña Guadua

Figura 2.21: Tipos de Curado Natural

Figura 2.22: Curado o Inmunización por Métodos Químicos

Figura 2.23: Usos y Aplicaciones de la Caña Guadua

Figura 2.24: Plantación de Guadales

Figura 2.25: Catedral de Nuestra Señora de la Pobreza (Pereira-Colombia)

Figura 2.26: Diferentes Tipos de Viviendas

Figura 2.27: Restaurante Construido por Jörg Stam

### **CAPITULO III**

## **INVESTIGACIÓN DE LOSAS CON CAÑA GUADUA**

### **ANGUSTIFOLIA KUNTH**

Figura 3.1: Esfuerzo vs Deformación del Bambú Gigante “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)

Figura 3.2: Curvas de Esfuerzo vs Deformación del Acero y Hormigón

Figura 3.3: Desarrollo de Teorías de Resistencia Última para Flexión (American Institute Concrete ACI)

Figura 3.4: Máxima deformación específica de compresión del hormigón,  $\epsilon_u$ , obtenida en ensayos de elementos de hormigón armado (ACI)

Figura 3.5: Distribución rectangular equivalente de las tensiones en el hormigón

Figura 3.6: Formación de anillo de tracción en el hormigón equilibrando las fuerzas de adherencia, (Tepfers 1973).

Figura 3.7: Relación Tensión de Adherencia Local vs Deslizamiento Esquemática: Curva a) situación bien confinada, Curva b) sin confinamiento y fallo por splitting y, Curva c) situación confinada, splitting al que sigue un fallo por pull – out.

Figura 3.8: Sistema de Losas Reforzadas con Bambú y Encofrado Perdido (Pontificia Universidad Católica PUC, Río de Janeiro, Brasil)

Figura 3.9: Ensayo de arrancamiento (pull out test)

## CAPITULO IV

### ENSAYOS DE LABORATORIO

Figura 4.1: Balanza

Figura 4.2: Tamices

Figura 4.3: Obtención de la Muestra en Planta; Preparación de la muestra a Ensayar

Figura 4.4: Balanza de Precisión

Figura 4.5: Mina “COPETO CIA. LTDA.” Santo Domingo

Figura 4.6: Curva de Máxima Densidad de la Mezcla de los Agregados

Figura 4.7: Latilla de 2.0 x 46.0 x 0.5 cm Fabricada Manualmente

Figura 4.8: Caña Guadua de la Zona de Santo Domingo

Figura 4.9: Corte de la Longitud a Utilizarse

Figura 4.10: Limpieza de las Latillas de Caña Guadua

Figura 4.11: Curado y Secado al Fuego y Humo

Figura 4.12: Armado de las Latillas en Paquetes

Figura 4.13: Diseño de Probeta de Madera Semidura Norma ASTM C78

Figura 4.14: Molde de Madera bajo la Norma ASTM C78

Figura 4.15: Proceso de Compactación por Capas

Figura 4.16: Preparación de la Mezcla y Especímenes de Prueba

Figura 4.17: Cilindros Testigos para Medir la Resistencia del Hormigón a Compresión  
(Laboratorio ASHOSUE CIA. LTDA.)

Figura 4.18: Elaboración de Vigas con Armadura de Guadua para Ensayar a Flexión  
(Laboratorio ASHOSUE CIA. LTDA.)

Figura 4.19: Cilindros Ensayados a Compresión (Laboratorio ASHOSUE CIA. LTDA.)

Figura 4.20: Sección Transversal de la Viga

Figura 4.21: Sección Longitudinal de la Viga

Figura 4.22: Modelo Matemático

Figura 4.23: Carga Aplicada en la Viga No1

Figura 4.24: Diagrama de Corte y Momento de la Viga No1

## **CAPITULO V**

### **DISEÑO ESTRUCTURAL**

Figura 5.1: Garita de Acceso Tipo

Figura 5.2: (a) Corte Tipo de Losa Unidireccional

## **INDICE DE ANEXOS**

### **DISEÑO ESTRUCTURAL**

ANEXO A. Plano de Losa Tradicional.

ANEXO B. Plano de Losa Panel Metálico (Placa Colaborante).

ANEXO C. Plano de Losa con Caña Guadua Angustifolia.



## **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1.ANTECEDENTES.**

Desde tiempos inmemoriales el hombre ha construido edificaciones de todo tipo, siendo la mayor prioridad la vivienda, ha utilizado materiales de toda clase, como piedra, madera, tierra, etc. Su función principal ha sido protegerse del medio ambiente por medio de paredes y cubiertas, las cubiertas han sido de diferentes tipos, y han ido evolucionando con el paso de los años. Entre las más conocidas y aplicadas podemos mencionar a continuación:

- Cubierta de hojas (paja)
- Cubierta de Madera
- Cubierta de Piedra
- Cubierta de Tierra
- Cubierta de Teja
- Cubierta de Hormigón Armado
- Cubierta de Asbesto Cemento
- Cubierta de Estructura Metálica
- Cubierta de Policarbonato

En la actualidad se sigue construyendo con muchas de estas cubiertas lo que ha generado desarrollo especialmente desde la aplicación del hormigón armado y las estructuras metálicas que nos han permitido obtener amplias luces y grandes alturas.

Las primeras construcciones de una vivienda en madera se registra, que fueron construidas (4000 a. C.), por los chinos una de las primeras grandes civilizaciones de la historia, los cuales contemplaban para la construcción materiales livianos y frágiles, como la greda, la madera, el bambú y la porcelana.

En nuestro medio el uso de las estructuras con madera se ha visto menospreciado por la falta de técnicas, normas y códigos que respalden el control de calidad, seguridad y confianza de dichas estructuras. Razón por la cual en la actualidad se carece de información bibliografía y documentos que sustente un diseño de estructuras con madera y específicamente la aplicación de hormigón con caña de guadua.

La presente investigación corresponde a una alternativa a los métodos tradicionales que se utilizan para realizar losas de cubierta y de entre pisos. Este método constructivo se basa principalmente en remplazar las varillas de acero por caña de guadua angustifolia siendo éste el principal sustituto del refuerzo longitudinal en las losas.

El motivo para llevar a cabo el presente proyecto tiene como uno de los objetivos conseguir el desarrollo analítico, matemático que garanticen la seguridad de la estructura frente a eventos naturales catastróficos, además de garantizar la estructura logramos minimizar costo en la construcción ya que el acero corresponde un rubro muy significativo que varia entre el 15% y hasta el 30% del presupuesto total de la construcción.

## **1.2. AREA DE INFLUENCIA.**

El área de influencia del proyecto, tendrá una aplicación y aceptación favorable en las zonas donde existe la producción, tratamiento y distribución de la caña de guadua angustifolia como materia prima. Estas zonas de producción se encuentran al nivel local, regional, nacional e internacional siendo la aplicación de este método constructivo a nivel mundial.

## **1.3. OBJETIVO GENERAL DEL ESTUDIO.**

Desarrollar una investigación acerca de "Losas con Caña de Guadua Angustifolia", y realizar un análisis estructural y económico de los diferentes tipos de losas utilizados en nuestro medio.

### **1.3.1. Objetivos Específicos**

- Copilar los diferentes métodos de losas que se aplican en el Ecuador.
- Aportar con diferentes alternativas de losas de entre piso y cubiertas en base a investigación, análisis y diseño.
- Ejemplificar la tesis para que sirva como texto guía de cálculo, diseño y análisis de losas de entre piso y cubierta en los diferentes sistemas constructivos como hormigón, estructura metálica, caña guadua y mixtos.
- Validar los resultados con metodologías adecuadas.

#### 1.4.METAS DEL PROYECTO.

- Calcular y diseñar losas de hormigón armado.
- Calcular y diseñar losas en estructura metálica, con panel metálico (Placa colaborante).
- Realizar una investigación acerca de "Losas con Caña de Guadua Angustifolia"
- Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos en laboratorio con los realizados anteriormente en investigaciones sobre la caña de guadua.
- Realizar un análisis estructural y económico de los diferentes tipos de losas utilizados en nuestro medio y comparar los resultados obtenidos en base a la investigación.

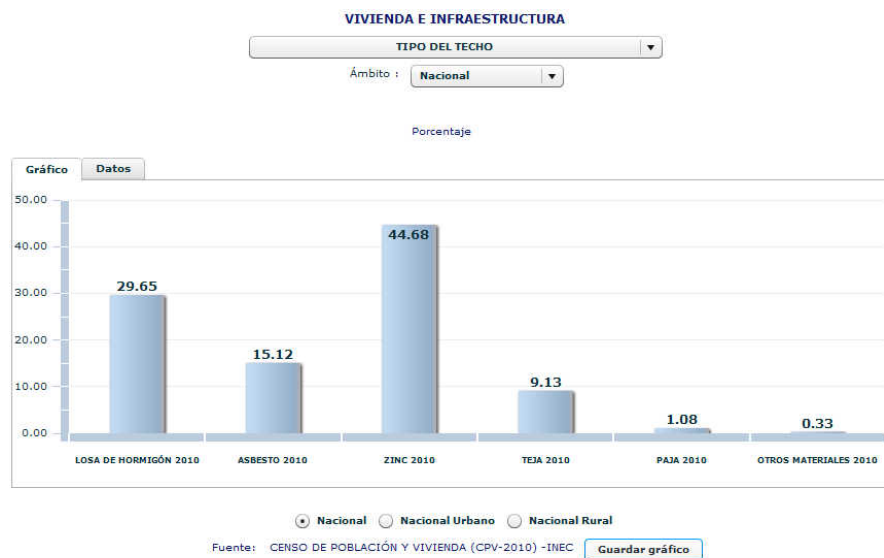
#### 1.5.JUSTIFICACION

Debido a la alta demanda y necesidad de viviendas baratas, y a la falta de nuevos sistemas de construcción, se ha tomado la iniciativa de crear nuevos modelos de estructuras sismo resistentes, ya que en la actualidad el 86% (INEC 2010) de las edificaciones se construye en la forma tradicional que es el hormigón armado, razón por la cual resulta muy costoso e inaccesible a gran parte de la clase media, media baja, y en su totalidad a la clase baja.

El implementar nuevos métodos de construcción seguros en nuestro medio es de gran importancia ya que ayudaría a disminuir un alto problema social como es la carencia de vivienda.

En nuestro país el 29.65% de las losas de entre piso y losas de cubierta son de hormigón armado según el INEC 2010, es decir que el 70.35% utiliza sistemas de construcción diferentes al tradicional, entre estos tipos cubiertas tenemos: Cubiertas de asbesto cemento, zinc, teja, paja y otros materiales como indica la Figura 1.1. Podemos ver claramente que el mayor porcentaje utiliza cubierta de zinc, siendo esta una cubierta final y no de entre piso la cual limita su desarrollo vertical de la estructura.

Es por esto que es de suma importancia poder innovar en los sistemas de construcción dando a la ciudadanía una alternativa segura y económica, especialmente a la población que no puede acceder a una vivienda tradicional.



**Figura 1.1:** Indicador Tipo de Cubierta (INEC 2010)

## **CAPITULO II: SELECCIÓN DE MATERIALES**

### **2.1.EL HORMIGON ARMADO**

#### **2.1.1. Actualidad y Servicio del Hormigón en Nuestro Medio**

El hormigón armado en nuestro medio es el sistema más constructivo y viable, tiene una aplicación de aproximadamente siete décadas tiempo en el cual ha venido desarrollando y mejorando las técnicas constructivas y de aplicación. Actualmente en nuestro medio existen métodos y procesos que ayudan a la realización de hormigones de calidad. Para lograr un buen del hormigón es importante controlar los parámetros de dosificación en los cuales difiere la resistencia y capacidad del mismo. Para conseguir una correcta aplicación del hormigón se emplea las normas y códigos que regulan la calidad como lo son la norma INEN, ASTM y los códigos ACI y NEC.

La capacidad de resistencia que normalmente se utiliza en nuestro medio ha sido de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, dicha resistencia es la mínima que se considera para estructuras significativas que van desde pequeñas viviendas hasta grandes edificios.

Para obtener las resistencias requeridas de los diseños estructurales es necesario seguir cierta metodología de fabricación del hormigón, razón por la cual resulta complejo

alcanzar los resultados deseados; de ahí nace la pregunta ¿si las construcciones practican la capacidad manejada en el diseño?

A esta inquietud se suma la mano de obra no calificada y la falta de control de las autoridades respectivas como municipios, jefaturas y entidades relacionadas al tema, ya que es responsabilidad de dichas entidades regular la calidad y usos de los materiales.

### **2.1.2. Componentes de Hormigón**

El hormigón es el segundo compuesto con mayor volumen de consumo en el planeta. Está conformado principalmente por la mezcla de agregados gruesos, agregados finos, cemento, agua y en ocasiones intervienen aditivos especiales. Dentro de los materiales, es la cantidad de cemento la que define el costo final del hormigón, aunque en ocasiones particulares existe el uso de aditivos especiales que pueden tener una influencia significativa. La resistencia requerida depende de la mezcla de estos cuatro componentes los mismos que deben pasar un control de calidad para mejores resultados.

#### **2.1.2.1. Cemento**

El cemento constituye una de las partes más importantes del hormigón ya que es un ligante de los componentes. El Cemento es el producto de la mezcla de clínker, yeso y otros componentes. El clínker es el resultado de las calizas y arcillas que son extraídas de las canteras y trituradas junto al hierro. Para hormigones estructurales el cemento debe ser Portland, entre los más importantes se describen a continuación:

- Tipo I: Este tipo se considera de fraguado normal
- Tipo II: Su característica principal se define por tener propiedades modificadas
- Tipo III: Se define a este tipo por su fraguado veloz.
- Tipo IV: Se caracteriza por su fraguado lento
- Tipo V: Propiedad de resistencia a los sulfatos



**Figura 2.1:** Cemento Portland Tipo I de 50kg (Holcim Ecuador S.A.)

En el entorno el tipo de cemento que se dispone constantemente es el cemento Portland Tipo I, ya que es el que mayor aplicación tiene en las estructuras y en los diseños, siendo ocasionalmente utilizados algunos de los tipos de cemento en proyectos específicos como presas hidráulicas, muelles, etc.

Para poder utilizar el cemento es necesario verificar que el cemento este seco y desprendido (no presentar grumos).



En el caso de las hormigoneras el cemento se proporciona en cantidades superiores, por la tanto suministrarse por sacos no es recomendable en estos casos se utiliza cemento a granel, el cual es almacenado en silos prevenidos contra la humedad denominados silos herméticos. Económicamente el cemento a granel puede ser entre el 20% y 25% más módico que el cemento por sacos.



**Figura 2.2:** Silos de Almacenamiento Herméticos de Cemento a Granel ([www.mx.all.biz](http://www.mx.all.biz))

### 2.1.2.2. Agregados

Los agregados son una combinación de distintas partes unidas en una masa o en un conjunto, en la ingeniería civil se considera los agregados del hormigón a la grava y la arena, con su particular tamaño de agregados finos y gruesos.

A los agregados se los encuentra en fuentes sean naturales o manufacturadas (procesos de trituración). Naturalmente se los encuentra en fosas de gravas, depósitos de ríos y en canteras de rocas; El agregado grueso triturado presenta mejores características de

adherencia que el agregado natural consecuencia de esto, los hormigones alcanzan mayor capacidad de resistencia que con los agregados naturales.

Los agregados se caracterizan por el tamaño de las partículas, es decir los agregados gruesos tienen el tamaño mayor a los 5 mm, a diferencia de los agregados finos que su tamaño de partículas oscila entre 0.07mm y 5mm.



**Figura 2.3:** Tamaño de los Agregados ([www.materialesdeconstruccion.com](http://www.materialesdeconstruccion.com))

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las funciones de relleno adecuado para la pasta o ligante (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en la dosificación. Además proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto; también ayuda a reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

Para cumplir satisfactoriamente con estas funciones la pasta debe cubrir totalmente la superficie de los agregados. Si se fractura una piedra, se reducirá su tamaño y aparecerán nuevas superficies sin haberse modificado el peso total de piedra.

Por la misma razón, los agregados de menor tamaño tienen una mayor superficie para lubricar y demandarán mayor cantidad de pasta. En consecuencia, para elaborar concreto es recomendable utilizar el mayor tamaño de agregado compatible con las características de la estructura.

En el caso del agregado fino triturado conocido como polvo de piedra, su empleo exclusivo como agregado fino no es el más recomendable desde el punto de vista económico, pues a pesar de presentar una gran resistencia de los granos su granulometría es demasiado homogénea lo que implica que se requiera una mayor proporción del material ligante como lo es el cemento dando como resultado un alto costo.

La textura del material, nos dice que tan lisa o rugosa es la superficie del material es una característica ligada a la absorción pues agregados muy rugosos tienen mayor absorción que los lisos además que producen concretos menos plásticos

Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% en peso), por lo que las propiedades de los mismos tienen definitiva sobre el comportamiento del hormigón.

La estructura granular está formado por los agregados que son elementos inertes, generalmente más resistentes que la pasta cementicia y además económicos. Por lo tanto conviene colocar la mayor cantidad posible de agregados para lograr un concreto resistente, que no presente grandes variaciones dimensionales y sea económico.

Pero hay un límite en el contenido de agregados gruesos dado por la trabajabilidad del hormigón. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva la mezcla se volverá difícil de trabajar y habrá una tendencia de los agregados gruesos a separarse del mortero. Llegado este caso se suele decir que el concreto es "áspero", "pedregoso" y "poco dócil".

Se debe optimizar la proporción de cada material de forma tal que se logren las propiedades deseadas al mismo costo.

El concreto reciclado, o concreto de desperdicio triturado, es una fuente factible de agregados y una realidad económica donde escaseen agregados de calidad.

Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril optimo, deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta cemento.

### **2.1.2.3. Relación Agua-Cemento**

La utilización del agua en el hormigón de ser en lo posible agua potable, o al menos en circunstancias desfavorables puede encontrarse libre de impurezas. Bajo ningún concepto debe utilizarse agua salobre o agua de mar, ya que su salinidad perjudica al acero en el caso de hormigón armado y hormigón preesforzado. Además el agua para la elaboración del hormigón debe encontrarse libre de materias orgánicas.

En el proceso de fraguado, la pasta de cemento o ligante da origen a cristales hidratados que unen químicamente las partículas de los agregados. La formación de estos cristales es una reacción química exotérmica (genera calor) que siempre requiere de agua para que tenga lugar, siendo mucho más intensa la reacción en las primeras horas y días posteriores a la fabricación del concreto, y luego va disminuyendo progresivamente en su intensidad con el tiempo.

Normalmente, dentro del hormigón, una pequeña parte del cemento no alcanza a combinarse con el agua, por lo que permanece como cemento no hidratado, que no contribuye a la resistencia del hormigón, y por el contrario actúa como una porosidad debilitante.

En general una relación agua/cemento (a/c) baja, medida al peso, que mantenga una adecuada trabajabilidad en el hormigón fresco, conduce a hormigones de mayor resistencia y mejor calidad. Lamentablemente la disminución de la cantidad de agua en el hormigón produce hormigones menos trabajables.

Se requiere aproximadamente una relación a/c mínima de 0.25 para que todo el cemento presente en la mezcla reaccione químicamente con el agua formando pequeños puentes cristalizados entre las superficies de las partículas de áridos. Estos cristales son los responsables de la cohesividad entre las partículas y de la resistencia del hormigón en general.

Cualquier exceso de agua durante el amasado, por encima de la relación a/c de 0.25, se convertirá, luego del fraguado inicial, en espacios vacíos por la evaporación del agua (o

espacios con agua que no alcanza a escapar de los poros luego del fraguado) que disminuyen considerablemente la resistencia del hormigón, y también provocará que los puentes cristalizados tengan mayor longitud y sean menos resistentes. Lamentablemente una relación a/c cercana a 0.25 (que en teoría nos proporcionaría la mayor resistencia), no puede ser conseguida en un hormigón normal, pues la disminución de agua de amasado provoca una pérdida importante de trabajabilidad e inclusive puede llegar a imposibilitar la consecución de una mezcla apropiada. Para asegurar una mezcla homogénea y una trabajabilidad razonable en un hormigón normal (sin aditivos) serán necesarias relaciones a/c mínimas del orden de 0.60

#### **2.1.2.4. Aditivos**

Los aditivos son aquellos productos que introducidos en el hormigón permiten modificar sus propiedades en una forma susceptible de ser prevista y controlada. Productos que, agregados en pequeña proporción en pastas, morteros y hormigones en el momento de su fabricación, mejoran o modifican una o varias de sus propiedades; aun cuando los aditivos son un componente eventual del hormigón, existen ciertas condiciones o tipos de obras que los hacen indispensables. De esta manera su uso estará condicionado por:

- Que se obtenga el resultado deseado sin tener que variar sustancialmente la dosificación básica.
- Que el producto no tenga efectos negativos en otras propiedades del hormigón.
- Que un análisis de costo justifique su empleo.

### **Clasificación de los aditivos según la norma ASTM 494**

- TIPO A : Reductor de agua
- TIPO B : Retardador de fraguado
- TIPO C : Acelerador de fraguado
- TIPO D : Reductor de agua y retardador
- TIPO E : Reductor de agua y acelerador
- TIPO F : Reductor de agua de alto efecto
- TIPO G : Reductor de agua de alto efecto y retardador

### **Principales Aditivos, Efectos Y Campo De Aplicación**

Los aditivos siempre deben ser comprobados previamente a su utilización en obra, por la gran variabilidad de las características del cemento que disponemos en el medio, y en especial cuando combinan aditivos.

En la tabla 2.1 se señalan los principales aditivos, sus dosis, las propiedades que confieren al hormigón, las aplicaciones recomendadas y las limitaciones en su empleo. En todo caso, siempre deberán respetar las indicaciones de los fabricantes de los aditivos.

## **Mecanismos de Acción de Algunos Aditivos**

- **Superplastificantes-Fluidificantes**

Corresponden a una nueva generación de aditivos plastificadores en base a productos melamínicos o naftalínicos, constituyendo una evolución de los aditivos reductores de agua, que en la adsorción y capacidad de dispersión del cemento es mucho más acentuada.

Los efectos principales que se derivan de la incorporación de algún componente tensoactivo son por una parte la ionización de los filamentos del aditivo que produce la separación de los granos de cemento entre sí, conduciendo a una efectiva desfloculación, y, por otra parte, las moléculas de aditivo son absorbidas y se orientan en la superficie de los granos de cemento en un espesor de varias moléculas, de lo que resulta una lubricación de las partículas.

Los efectos nocivos de la floculación pueden ser contrarrestados, al menos en parte, mediante la incorporación a la masa de hormigón de ciertos compuestos químicos tales como policondensados de naftaleno y formaldehído, también llamados superplastificantes, reductores de agua de alto rango o superfluidificantes.

- **Incorporadores de Aire**

Durante el amasado del hormigón se forman burbujas de aire de diferentes tamaños, debido a los movimientos internos de los materiales del hormigón.



Mientras más pequeña es la dimensión de las burbujas, mayor es la presión ejercida sobre ellas, por lo que éstas tienden a disolverse en el agua. Por su parte, las burbujas de mayor dimensión, debido a la menor presión que experimentan, tienden a crecer, son más deformables y pueden escapar especialmente durante la compactación del hormigón. Las que no se escapan pueden aumentar de volumen, alimentadas por las más pequeñas, formando huecos que permanecen indefinidamente en el hormigón.

De lo anterior se deduce que un hormigón convencional, sin aditivo plastificante, prácticamente no puede contener burbujas inferiores a 0.1 o 0.2 mm ya que estas se disuelven en el agua. Sin embargo, con aditivo, aún cuando la cantidad de aire sea similar, sus características serán muy distintas desde el punto de vista de su resistencia al hielo.

Si los incorporadores de aire en una pequeña proporción del producto se disuelven en fase líquida y, durante el amasado del hormigón, produce burbujas de aire que quedan distribuidas en dicha fase sin unirse entre sí debido a que en ellas los filamentos se orientan hacia el interior de las burbujas con su fase polar sobre dicha superficie.

La cantidad y características del aire incorporado dependen de numerosos factores como: Tipo de cantidad del aditivo, Tipo de dosis del cemento, Docilidad del Hormigón.

El efecto principal buscado con el uso de los incorporadores de aire es el aumento de la resistencia del hormigón frente a los ciclos alternados de hielo-deshielo, que pueden producirse en los períodos en que las temperaturas ambiente descienden bajo 0 °C, caso en el cual su empleo debe considerarse imprescindible.

- **Retardadores**

Son sustancias que retardan la disolución de los constituyentes anhidros del cemento o su difusión. Los retardadores pueden actuar de dos formas distintas según su naturaleza; una es favoreciendo la solubilidad del sulfato cálcico, que de por sí es retardador de fraguado y, la otra, formando sales cálcicas que son adsorbidas, por las partículas de cemento, retrasando de esta forma su hidratación.

El empleo de retardadores es delicado debido a que, si se emplean en dosis incorrectas, pueden inhibir el fraguado y endurecimiento del hormigón; por esta razón se utilizan con más frecuencia fluidificantes o reductores de agua de amasado, que al mismo tiempo actúan como retardadores. Por otra parte los retardadores reducen las resistencias mecánicas del hormigón a sus primeras edades.

La acción principal de los retardadores es aumentar el tiempo durante el cual el hormigón es trabajable permitiendo el transporte del mismo sin que se produzca un endurecimiento prematuro o la segregación, lo cual es importante en el transporte a largas distancias, en hormigones bombeados, en inyectados, etc.

Los retardadores de fraguado aumentan la retracción de los hormigones, siendo el aumento dependiente de la dosificación del hormigón, y de las condiciones de curado del mismo.

- **Acelerantes**

Son productos que, al contrario de los retardadores, favorecen la disolución de los constituyentes anhidros del cemento, su disolución o su velocidad de hidratación; su acción no está muy bien definida, aunque parece ser que provocan una cristalización rápida de silicatos y aluminatos cálcicos en la pasta del cemento hidratada. En una gran parte de ellos se encuentra el cloruro de calcio que es el acelerante por excelencia, sin embargo también actúan como acelerantes el cloruro sódico, amónico y férrico entre otros.

Con el cloruro de calcio el tiempo de iniciación del fraguado puede reducirse a menos de la mitad del normal. Al ser mayor la velocidad de desprendimiento de calor en las primeras horas del hormigón, este acelerante permite el hormigonado en tiempo frío, debido a que el calor desprendido contrarresta en parte el frío exterior. La velocidad de endurecimiento aumenta de tal forma que el uno por ciento de cloruro de calcio sobre el peso de cemento, es equivalente, desde este punto de vista, a una elevación de temperatura de 6°C, dependiendo del tipo y dosificación de cemento.

Generalmente los acelerantes clásicos producen altas resistencias a edades cortas, pero las resistencias pueden disminuir a edades mayores. Actualmente se han desarrollado aditivos acelerantes ecológicos, libres de álcalis, a base de sales orgánicas en los que no se dan estas disminuciones de resistencias a largo plazo. Los acelerantes pueden ir asociados con otros aditivos formando combinaciones binarias con hidrófugos, plastificantes, aireantes, etc. Los acelerantes encuentran su principal aplicación en el hormigonado en tiempo frío en prefabricación al permitir los desencofrados rápidos, cuando se requiere

reducir el tiempo de curado, para disminuir las presiones sobre los encofrados, obturación de escapes de agua a través de fisuras, trabajos en túneles y galerías con paredes húmedas, en trabajos marítimos entre dos mareas, en hormigones y morteros proyectados, etc.

- **Impermeabilizantes**

En determinadas construcciones como pueden ser tuberías, depósitos, canales, etc., además de precisar hormigones de buenas resistencias mecánicas, es necesario que estos sean impermeables a fin de impedir que el agua pase a través de ellos. Por otra parte, en obras o estructuras que han de estar en contacto con agua o con terrenos húmedos es conveniente que el hormigón se oponga a que el agua ascienda por él valiéndose de sus conductos capilares.

Se pueden considerar dos tipos de aditivos para este fin: los reductores de penetración de agua y los hidrófugos. Los primeros, aumentan la resistencia al paso del agua a presión sobre un hormigón endurecido; los segundos, disminuyen la absorción capilar o el paso de agua a través de un hormigón saturado. Los aditivos impermeabilizantes y los hidrófugos, pueden modificar el tiempo de fraguado del hormigón, disminuir las resistencias mecánicas si llevan incorporado un aireante, y aumentar la retracción, siendo, por consiguiente aconsejable, a falta de datos precisos sobre estos puntos, realizar ensayos previos con ellos. Como se ha indicado estos productos son eficaces en hormigones compactos. Nunca debe pretenderse que el impermeabilizante tapone los huecos de un hormigón malo; en este caso, lo mejor sería taparlos con cemento y con finos en un hormigón bien estudiado, en definitiva, haciendo un buen hormigón.

**Tabla 2.1:** Principales aditivos, dosis y aplicaciones (Materiales de la Construcción – Manuel Fernández Cánovas, España 2005)

ADITIVO Y DOSIS USUAL	PROPIEDAD QUE CONFIERE AL HORMIGON	APLICACIONES RECOMENDADAS	LIMITACIONES
<b>Incorporador de Aire</b> 0.03% a 0.05% del peso del cemento	Incorpora microporos al hormigón produciendo: – Resistencia al hielo-deshielo. – Mayor docilidad – Menor permeabilidad	– Protección al hielo-deshielo. – Pavimentos. – Protección contra agentes químicos.	Menor resistencia mecánica
<b><u>Plastificantes o reductores de agua</u></b> 0.1% a 0.4% del peso del cemento	Mejorar la lubricación entre partículas, obteniéndose: – Mayor docilidad con agua constante. – Menor cantidad de agua para docilidad constante. – Mayor facilidad de colocación y compactación.	– Hormigones bombeados y premezclado. – Hormigonado de elementos estrechos o prefabricados. – Hormigones de alta resistencia.	
<b>Fluidificantes</b>  Para aumentar docilidad 0.5% a 1.0% del peso del cemento.  Para reducir agua a 1.0% A 3.0% del peso del cemento.	Aumentan fuertemente la docilidad, permitiendo:  – Reducir el agua de amasado para docilidad constante, con alto incremento de resistencia.	– Hormigonado de piezas estrechas y difícilmente accesibles. – Hormigonado en tiempo caluroso. – Hormigones bombeados. – Hormigones de alta resistencia. – Hormigones para prefabricados. – Reparaciones.	Su efecto dura un plazo breve.
<b>Superplastificantes</b>  Las dosis dependiendo del fabricante fluctúan desde 0.5% a 2% del peso del cemento.  Aumentan las resistencias como reductores de agua, y como fluidificantes, aumentan la docilidad.	En general, actúan como reductores de agua o fluidificantes otorgando: – Consistencia fluida sin disminución de resistencias. – Calidad homogénea, mínima segregación y exudación. – Disminución de retracciones y fisuración. – Facilidad de colocación y mayor rendimiento de la faena de hormigonado.	– Hormigón bombeado. – Hormigón pretensado. – Hormigón alta resistencia. – Hormigón de buena terminación. – Hormigón bajo agua. – Morteros y lechadas de inyección. – Hormigón para elementos esbeltos, con alta densidad de armaduras.	En sobredosis puede provocar segregación.

### **2.1.3. Comportamiento del Hormigón Armado**

El hormigón armado es un material estructural en el que se integran las propiedades del hormigón simple y del acero de refuerzo. Para que se produzca ese trabajo integrado es necesario que ambos materiales básicos estén íntimamente unidos e interaccionen a través de las fuerzas de adherencia que se desarrollan en sus superficies de contacto. Con el objeto de favorecer esa adherencia, la superficie del acero debe ser rugosa por lo que estructuralmente se utilizan varillas de acero corrugado, y el hormigón debe ser vibrado luego de ser colocado en los moldes.

Por aspectos de costo, el acero de refuerzo representa un pequeño porcentaje del volumen total del hormigón armado de la estructura (generalmente alrededor del 2%, aunque en casos especiales puede superar el 5%). Para lograr un comportamiento unificado en el hormigón armado (como si fuera un único material), el hormigón simple debe recubrir totalmente a las varillas de acero.

#### **2.1.3.1. Propiedades del Hormigón Estructural**

El hormigón armado tiene que poseer propiedades físico-mecánicas de las cuales podemos mencionar; solidez indispensable, buena adherencia a la armadura y densidad (impermeabilidad) suficiente para proteger la armadura contra la corrosión. De acuerdo con el destino de la estructura de hormigón armado y condiciones de servicio, el hormigón debe satisfacer además requisitos especiales: debe ser resistente al frío, al fue, en caso de efecto prolongado de altas temperaturas; a la corrosión, en caso de acción agresiva del medio ambiente. Entre sus propiedades más importantes se tienen:

- **Resistencia**

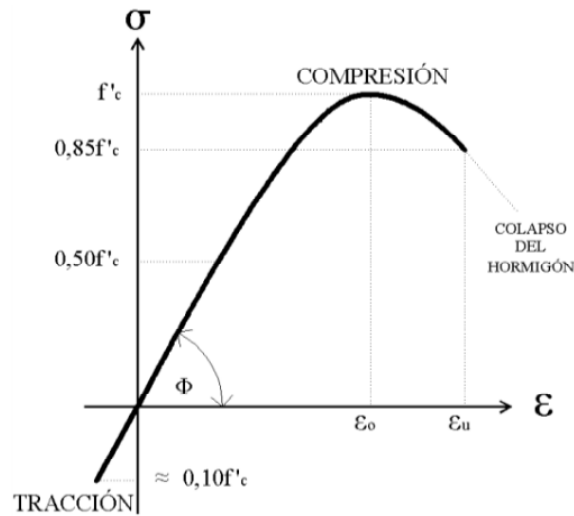
Se refiere a la magnitud de las cargas de una distribución dada que puede producir la rotura de la estructura. Dado que el hormigón es un material heterogéneo, su carga exterior le crea un estado de tensión complejo.

- **Deformabilidad**

Tales como deformaciones elásticas y la magnitud del agrietamiento que la estructura sufrirá cuando se le aplique sollicitaciones de carga. En el hormigón se distinguen deformaciones de dos tipos fundamentales: Volumétricas, que se desarrollan en todas las direcciones debido a la contracción y variación de temperatura; y de fuerza, que se desarrollan principalmente a la largo de la línea de acción de fuerzas. EL hormigón representa un material elástico plástico comenzando por tensiones pequeñas, en él, además de las deformaciones reconstructivas elásticas, se desarrollan las no elásticas residuales plásticas.

### **2.1.3.2. Resistencia del Hormigón Armado a Compresión**

Al realizar el resultado del comportamiento o conducta vemos que la curva de esfuerzo deformación depende de la relación entre los esfuerzos sobre el material de las estructuras y las deformaciones de dicho material.



**Figura 2.4:** Curva Esfuerzo vs Deformación Unitaria Hormigón Armado (ACI American Institute Concrete)

$f'c$  = Capacidad resultante del hormigón = Capacidad de rotura a los 28 días.

$\epsilon_{\sigma}$  = Deformación del hormigón cuando alcanza su máxima capacidad = 0,002

$\epsilon_u$  = Deformación máxima útil, asociada a una capacidad de  $0.85f'c=0.003$

$\phi_{tan} = E_c = \text{modulo de elasticidad del hormigón} = \frac{\sigma}{\epsilon}; E_c = 15000\sqrt{f'c} \left( \frac{kg}{cm^2} \right)$

La conducta es lineal hasta un esfuerzo igual a  $f'c$  0.70. En la realidad y observando el grafico, el comportamiento es lineal hasta un esfuerzo igual a  $f'c$  0.50.

### 2.1.3.3. Ventajas

- **Durabilidad**

La durabilidad del hormigón es la capacidad de comportarse frente a las acciones físicas o químicas agresivas y proteger adecuadamente las armaduras y demás elementos constructivos embebidos en el hormigón durante la vida de servicio de la estructura.



- **Versatilidad de Forma**

El material es adaptable a cualquier forma y diseño debido a que su colocación en la estructura se lo hace en estado líquido y se acomoda perfectamente a los más complejos requerimientos arquitectónicos.

- **Costo de Mantenimiento**

Debido a las propiedades en sí del hormigón requieren mínimo o ningún tipo de mantenimiento, esta ventaja es esencial en comparación con los demás materiales de construcción en especial con la madera y el acero que necesitan un adecuado mantenimiento para alargar la vida útil de la estructura, ya que necesitan control periódico en los recubrimientos, para proteger de los daños como corrosión y humedad entre otros.

- **Disponibilidad de Personal y Materiales**

Siempre es posible la utilización de mano de obra local ya que el tipo de personal requerido no necesita de mucha capacitación, la experiencia juega un factor fundamental a la hora de escoger el personal. En relación al material en nuestro medio es muy abundante los materiales pétreos de los cuales nos proporcionan los agregados gruesos y finos. El material ligante como lo es el cemento es cuantioso hasta en las partes más alejadas e inaccesibles.

- **Resistencia al Fuego**

Al estar constituido por un material refractario, posee una alta resistencia a altas temperaturas, de igual manera es resistente a los elementos atmosféricos.

#### **2.1.3.4. Desventajas**

- **Relación Peso-Estabilidad**

Esta relación Peso-Estabilidad se da cuando el peso de la estructura del edificación es muy alto, debido a que se necesita de cimentaciones especiales, elementos estructurales de gran dimensión entre otras. Por esta razón representa evidentemente un incremento considerable del peso propio.

- **Resistencia a la Tracción**

El hormigón tiene una resistencia a la tracción menor al diez por ciento de su resistencia a la compresión, por tal razón es necesario introducir materiales que tengan esta característica como lo es el acero.

- **Tiempo en Ejecución**

Como es de conocimiento general, el hormigón necesita periodos de fraguado ya que es necesario que los componentes adquieran las propiedades adecuadas para poder someterse a cargas posteriores, los mismos que representan considerables tiempos muertos dentro de la ejecución en la elevación de la edificación.

#### 2.1.4. Acero Estructural

El acero estructural está constituido por aleaciones de hierro, carbono y otros elementos químicos metálicos en pequeñas cantidades. Generalmente el carbono representa entre el 0.5% y el 1.5% de la aleación.

Este importante material es utilizado en barras, cables y planchas, lo que lo hace muy útil para las diferentes aplicaciones en especial en el campo de la ingeniería. La combinación técnica del "acero y el hormigón simple" crea el hormigón armado, siendo esta técnica constructiva una de las más aplicadas en la actualidad ya que lo hace apto para resistir solicitaciones tradicionales.



**Figura 2.5:** Acero Estructural en Varillas (Adelca Ecuador C.A.)

El acero estructural en barras y cables es el material ideal para resistir a solicitaciones de tracción y flexión, que al combinarse con el hormigón simple forma el hormigón armado y hormigón preesforzado. Además el acero en barras puede resistir solicitaciones de corte y torsión sin embargo su costo resulta mucho más elevado que el del hormigón

simple, el porcentaje de acero volumétrico que contiene el hormigón armado y hormigón preesforzado es relativamente pequeño y que normalmente se encuentra entre 1% y el 6%

También el acero trabaja a compresión confinado con el hormigón simple, el cual es capaz de resistir cargas axiales de compresión sin embargo no resulta económicamente la solución ideal.

Clasificación del acero estructural o de refuerzo según su forma, se clasifica en: Perfiles Estructurales, Barras y Planchas

#### **2.1.4.1. Perfiles Estructurales**

Los perfiles estructurales son piezas de acero laminado en frío o caliente cuya sección transversal puede ser de forma I, H, T, canal o ángulo.

#### **2.1.4.2. Barras de Acero**

Las barras de acero estructural son piezas de acero laminado en caliente, cuya sección transversal puede ser circular, hexagonal o cuadrada de diferentes longitudes y secciones.

#### **2.1.4.3. Planchas de Acero**

Las planchas de acero estructural son piezas de acero laminado en caliente y frío con anchos y espesores de diferentes medidas. Los Aceros para Hormigón se fabrican especialmente para su uso, es decir que su aplicación y uso se lo realizara en armaduras de refuerzo, las más comunes son:

- Barras corrugadas (redondas y lisas de diferentes diámetros)
- Alambre
- Alambres trefilados ( lisos y corrugados)
- Mallas electrosoldadas de acero
- Armaduras básicas en celosía.
- Alambres, torzales y cordones para hormigón pretensado.
- Armaduras pasivas de acero
- Aceros para estructuras en zonas de alto riesgo sísmico.

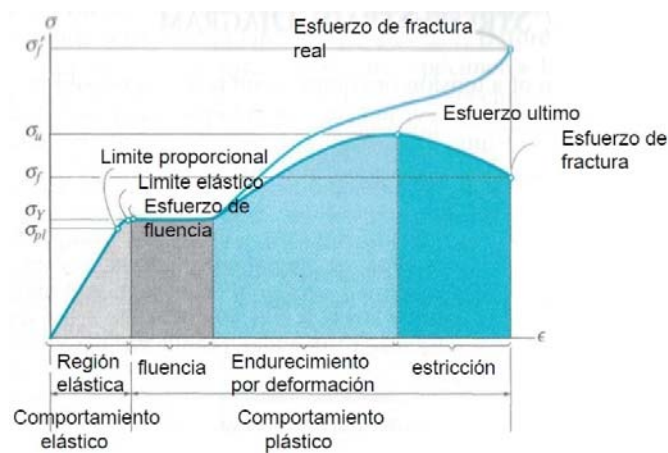
Para estructuras de hormigón se utilizan barras lisas y corrugadas, con diámetros que oscilan entre los 6mm y los 40mm, aunque lo común en una armadura de hormigón es que difícilmente superen los 32mm. Además el acero de refuerzo se utiliza en las mallas electrosoldada constituidos por alambres de diámetros entre 4mm a 12mm.

**Tabla 2.2:** Diámetros de las varillas, sección y peso.

<b>Diámetro Nominal (mm)</b>	<b>Sección Transversal (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso por Metro Lineal (Kg/m)</b>
8	0,50	0,39
10	0,79	0,61
12	1,13	0,88
14	1,54	1,20
16	2,01	1,57
18	2,54	1,98
20	3,14	2,45
22	3,80	2,97
25	4,91	3,83
28	6,16	4,80
30	7,07	5,51
35	9,62	7,50

#### 2.1.4.4. Propiedades Mecánicas del Acero Estructural

Para obtener una representación de las propiedades mecánicas del acero, la descripción más clara se la realiza por medio de las curvas de esfuerzo-deformación, la cual es ensayada bajo sollicitaciones a tracción como se representa a continuación.

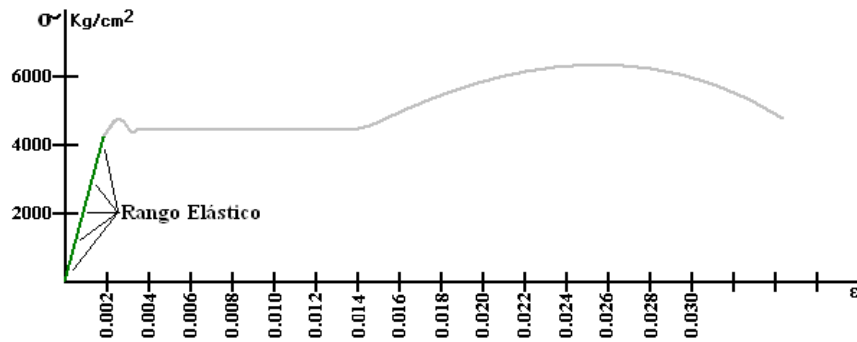


**Figura 2.6:** Curva de Esfuerzo vs Deformación Unitaria del Acero (<http://blog.utp.edu.co/metalografia>)

A continuación se presentan los diferentes diagramas en los cuales se puede apreciar como en el proceso de carga se desarrollan las etapas del comportamiento del acero.

- **Rango Elástico**

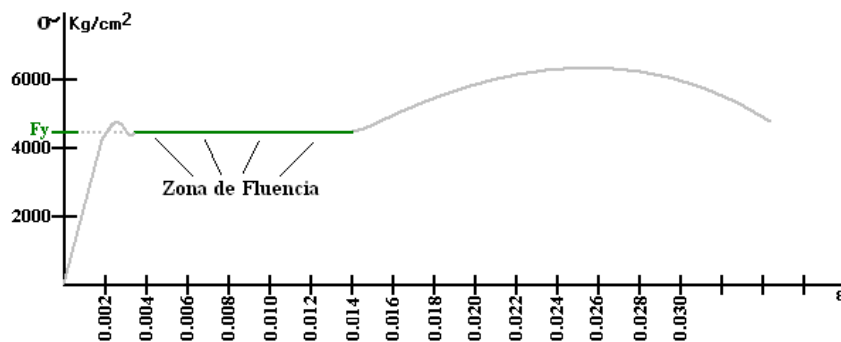
Este rango elástico conocido también como rango proporcional, se define así ya que al actuar cargas o sollicitaciones externas su deformación se produce pero vuelve a su posición original una vez que la carga haya sido retirada. Por tal razón en esta fase su comportamiento es lineal y se representa en la figura 2.7.



**Figura 2.7:** Rango Elástico del Acero (Temas de Hormigón Armado, Marcel Romo, QUITO-ESPE 2008)

- **Esfuerzo de Fluencia**

En esta etapa el acero experimenta una característica muy particular ya que al seguir actuando la carga o sollicitación externa el acero llega al límite del rango elástico y pasa a la zona de plasticidad, ya que bajo cargas muy pequeñas su deformación es muy grande denominándola a esta zona, zona de fluencia, geométricamente la pendiente cambia de dirección y se vuelve casi horizontal, este rango de fluencia es muy pequeño pero sus propiedades ya son alteradas porque ya no recupera las características iniciales del acero. Este esfuerzo se lo conoce o se lo identifica como “ $f_y$ ”.

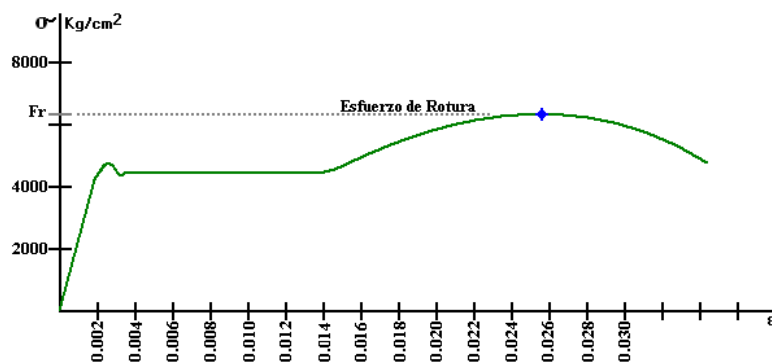


**Figura 2.8:** Zona de Fluencia del Acero (Temas de Hormigón Armado, Marcel Romo, QUITO-ESPE 2008)

- **Resistencia a la Rotura**

Es el mayor esfuerzo que puede soportar el acero, previo al proceso de colapso del material, dentro del diagrama Esfuerzo-Deformación del material el inicio del colapso queda identificado mediante el punto de mayor ordenada, que se representa “**Fr**”

El esfuerzo de rotura es siempre superior al esfuerzo de fluencia, para todo tipo de acero estructural. En hormigón armado, la reserva de capacidad entre el esfuerzo de fluencia y el de rotura no es utilizada directamente en el diseño, debido a las grandes deformaciones que se requerirían para alcanzar ese esfuerzo mayor, por lo que se utiliza como elemento de diseño exclusivamente al esfuerzo de fluencia.



**Figura 2.9:** Esfuerzo de Rotura del Acero (Temas de Hormigón Armado, Marcel Romo, QUITO-ESPE 2008)

- **Módulo de elasticidad:**

El modulo de elasticidad es un tipo de constante elástica que relaciona una medida relacionada con la tensión y una medida relacionada con la deformación. En otras palabras



es la propiedad del acero en la que es la pendiente de la recta que identifica al rango elástico de comportamiento de los materiales, y en el caso del acero se representa “Es”.

En nuestro estudio sobre el módulo elástico nos centraremos en la zona de elasticidad, en esta zona, si se retirase la carga el material volvería a su longitud inicial. Además las tensiones son proporcionales a los alargamientos unitarios y esto se expresa con una ecuación analítica que constituye la ley de Hooke:

$$\sigma = E_s * \varepsilon \quad \text{despejando Es} \quad E_s = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Numéricamente el módulo de elasticidad es el cociente entre el esfuerzo y la deformación unitaria dentro del rango elástico.

En los aceros estructurales sólidos en barra o en perfil, utilizados en el hormigón armado, prácticamente en todos los casos se tiene un único módulo de elasticidad, lo que en las curvas Esfuerzo–Deformación se refleja en la pendiente única de los aceros con características diferentes.  $E_s = 2'100000\text{Kg} / \text{cm}^2$

- **Ductilidad**

La ductilidad es la capacidad de poderse alargar en longitudinalmente. La ductilidad por deformación de los aceros estructurales utilizados en hormigón armado fácilmente supera a diez. Los aceros de alta resistencia empleados en hormigón preesforzado tienen una ductilidad limitada, del orden de tres a cinco.

$$D_d = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y}$$

Donde:

Dd: Índice de ductilidad por deformación

$\varepsilon_u$ : Deformación unitaria de rotura

$\varepsilon_y$ : Deformación unitaria de inicio de fluencia

#### 2.1.4.5. Ventajas del Acero Estructural

- **Uniformidad**

Las propiedades del acero no cambian considerablemente con el tiempo como es el caso de las estructuras de concreto reforzado.

- **Alta Resistencia**

La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será poco el peso de las estructuras, esto es de gran importancia en puentes de grandes luces, en grandes edificios en estructuras con malas condiciones del terreno a cimentar.

- **Durabilidad**

Las estructuras de acero tienen un tiempo de vida muy largo siempre y cuando exista un mantenimiento periódico, en los aceros modernos bajo ciertas condiciones no se requiere casi ningún tipo de mantenimiento a base de pintura.

- **Ductilidad**

La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente, evitando así fallas prematuras.

- **Tenacidad**

Los aceros estructurales son tenaces, es decir, que poseen resistencia y ductilidad. La propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad.

- **Elasticidad**

En comparación con la mayoría de los materiales el acero se acerca más a las hipótesis de diseño, debido a que sigue la ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos, por lo tanto los momentos de inercia de una estructura de acero, pueden determinarse en forma exacta, contrario a los valores obtenidos para una estructura de concreto en donde son relativamente imprecisos.

- **Costo de Recuperación**

Las estructuras de acero de desecho, tienen un costo de recuperación en el peor de los casos como chatarra de acero. Otras ventajas importantes del acero estructural son:

- Facilidad de unir diversos miembros por medio de varios tipos de conectores como los son la soldadura, los tornillos y los remaches.

- Posibilidad de prefabricar los miembros de una estructura.
- Rapidez de montaje
- Gran capacidad de laminarse y en gran cantidad de tamaños y formas.
- Resistencia a la fatiga.

#### **2.1.4.6. Desventajas del Acero Estructural**

- **Costo de Mantenimiento**

La mayor parte de los caros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al agua y al aire y por consiguiente deben ser revestidas (pintura) periódicamente.

- **Corrosión**

El acero expuesto al medio ambiente sufre de agentes corrosivos por lo que deben recubrirse siempre con esmaltes primarios anticorrosivos.

- **Costo de la Protección Contra el Fuego**

Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios.

- **Fatiga**

La resistencia del acero puede verse afectada si se somete a un gran número de acciones cíclicas. Aquí existen inversiones de la dirección de los esfuerzos, o bien cambios de

magnitud del esfuerzo de tensión. En la práctica se pueden reducir las resistencias estimadas de estos miembros, si se sabe que estarán sometidos a un número de ciclos mayor de esfuerzos variables que cierto número límite.

- **Susceptibilidad al Pandeo**

Entre más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, mayor es el peligro de pandeo. Como se indico previamente, el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, pero al utilizarse como columnas no resulta muy económico ya que debe usarse bastante materia, solo para hacer más rígidas las columnas contra el posible pandeo.

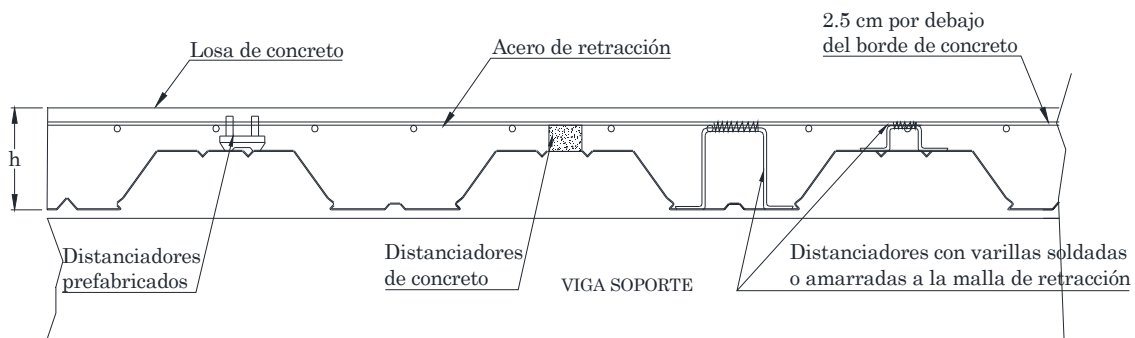
- **Fractura Frágil**

El acero puede perder su ductilidad bajo ciertas condiciones y la falla frágil puede llegar a ocurrir en lugares de concentración de esfuerzos. Las cargas producen fatiga y las bajas temperaturas contribuyen a agravar la situación.

## **2.2. PANEL METÁLICO (PLACA COLABORANTE)**

En la actualidad uno de los sistemas constructivos que se emplean en la construcción de losas es con laminas metálicas ó placa colaborante, es un nuevo concepto usado en el diseño y construcción de losas estructurales en edificaciones, que se implantan en las obras ante las grandes limitaciones técnicas y constructivas de los sistemas convencionales y debido a la necesidad de contar con sistemas constructivos más eficientes y económicos.

Este sistema con panel metálico, consiste en una lámina de acero preformada-semicorrugada, adecuadamente diseñada para soportar el peso del vaciado de una losa de concreto y cargas solicitantes debido al proceso constructivo de la misma. Una vez que el concreto alcanza su resistencia entre dos materiales permite constituir lo que se conoce como Composite Steel Floor Deck (tablero de acero para comportamiento compuesto o placa colaborante), logrando así tener un sistema de losa adecuado para todo tipo de edificaciones, en la siguiente figura se puede apreciar la geometría de la placa colaborante la cual al combinarse con hormigón forman una sección resistente a cargas gravitacionales.



**Figura 2.10:** Detalle Transversal Típico del Sistema de Losa con Placa colaborante (Manual Técnico MetalDeck)

En base a tal criterio las losas pueden agruparse en los siguientes grupos que se describen a continuación.

### 2.2.1. Losa Metálica Autoportante

Las losas Metálicas Autoportantes están constituidas por:

- Un panel conformado (Placa Colaborante) que realiza la función de soporte.
- Un posible elemento repartidor de carga (mortero, aislante, emplacado, etc.).

- Un recubrimiento final.

En este caso el panel conformado debe soportar la totalidad de cargas sobre él depositadas, así como su propio peso y la sobrecarga de uso por lo que los pesos y cargas a considerar son:

- Peso propio del panel.
- Mortero o material de relleno.
- Revestimiento.
- Sobrecargas permanentes: tabiques, cielorrasos, instalaciones.
- Sobrecargas de servicios, uso o explotación.

Las bases de cálculo para realizar un predimensionamiento son:

- Distancia entre apoyos y número de vanos.
- Los pesos y sobrecargas citados anteriormente.
- La flecha máxima admisible (por defecto  $1/500$ ).

### **2.2.2. Encofrado Metálico Permanente**

Cuando se diseña una losa de hormigón debe tenerse en cuenta que en fase de construcción, durante un cierto tiempo, el hormigón está fresco y precisa un elemento que lo retenga hasta su endurecimiento. De ahí nació la idea del encofrado metálico perdido.

En esta aplicación del Deck presenta una serie de ventajas considerables gracias a su rapidez de colocación y su capacidad autoportante en vanos de hasta 6 m. Las cargas que deben ser consideradas cuando se calcula un encofrado perdido son:

- Peso propio del panel.
- Peso propio del hormigón (espesor y tipo normal/liviano).
- Sobrecarga temporal en fase de hormigonado.

La flecha admisible varía entre  $L/150$  y  $L/240$ , debiendo considerarse el peso adicional de hormigón cuando la misma supere los 20 mm. Las bases de diseño para el predimensionamiento del panel son:

- Distancia entre apoyos y número de vanos.
- Espesor de la losa.
- Tipo de hormigón: Normal ( $2400 \text{ kg/m}^3$ ), Liviano ( $1900 \text{ kg/m}^3$ ).
- Flecha máxima (por defecto  $L/240$ ).

### **2.2.3. Losa Metálica Colaborante o Losa Mixta**

Según se define "la acción mixta es aquella que existe cuando la losa de hormigón, panel incluido, las posibles armaduras adicionales y el hormigón fraguado se combinan de forma que se obtiene un único elemento estructural".

En una losa tradicional de hormigón armado se consigue una acción mixta debido a la conexión total que se produce entre el hormigón y las armaduras, gracias a la adherencia

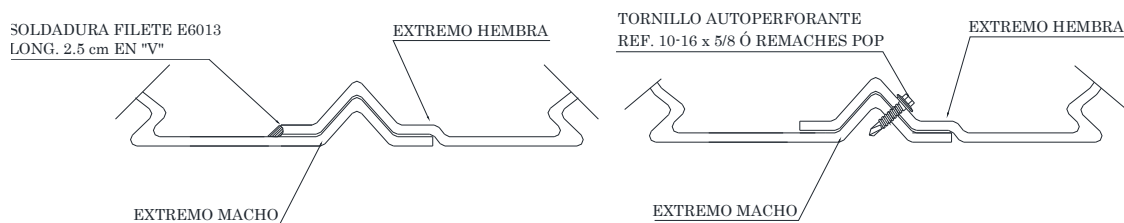


química y a la superficie rugosa de estas últimas. Como resultado obtenemos un producto de buenas prestaciones que combinan las mejores propiedades de ambos componentes:

EL HORMIGÓN	EL ACERO
Masa	Ligereza
Resistencia a la compresión	Resistencia a la Tracción
Rigidez	Elasticidad

La excelente colaboración se debe a que el coeficiente de dilatación térmica de ambos materiales es muy parecido por lo que no se producen problemas de colaboración por dilataciones divergentes. En las losas colaborantes se ha dado con el sistema que permite que el panel conformado colaborante pueda absorber los esfuerzos rasantes entre panel y hormigón, reemplazando las armaduras inferiores de flexión y permitiendo importantes reducciones de espesor de losa. La unión puede obtenerse mediante uno o varios de los sistemas siguientes:

- Deformaciones de la chapa perfilada, entrantes o salientes (improntas), ver figura 2.11.



**Figura 2.11:** Fijación Lateral de la Placa Colaborante en Sentido Longitudinal (Manual Técnico MetalDeck)

- Perforaciones incompletas en el panel o elementos de anclaje soldados al panel conformado.
- Anclajes en las extremidades.

En una losa de este tipo el panel actúa como armadura de flexión, no precisando de otras adicionales, excepto en los siguientes casos:

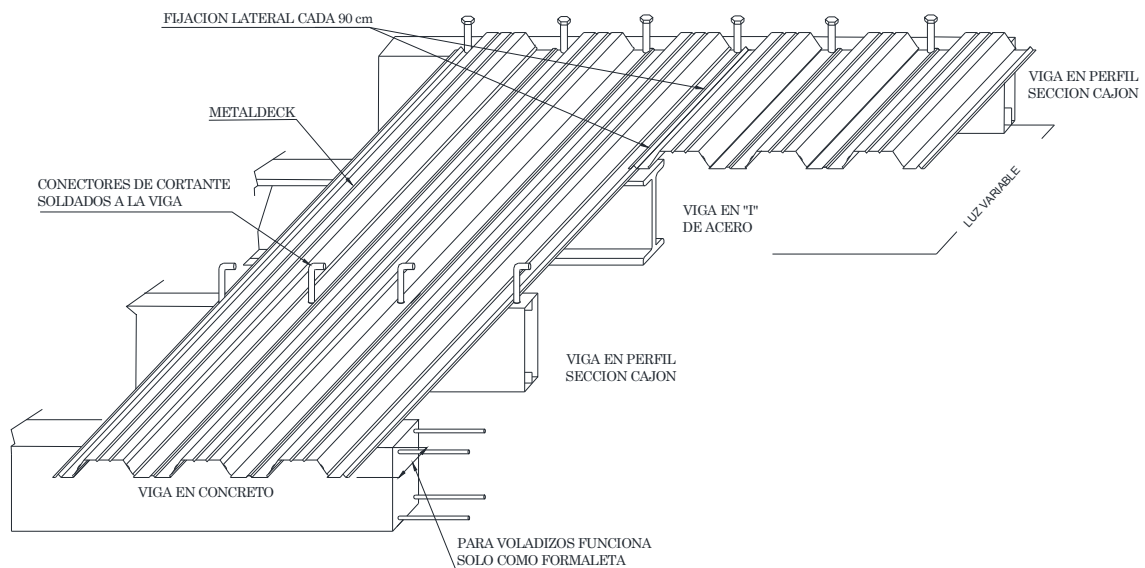
- Armaduras de reparto en caso de cargas concentradas fijas o móviles o en el contorno de huecos.
- Mejora de la resistencia al fuego de la losa.
- Como armadura de flexión complementaria, para casos excepcionales de carga y luces condicionantes.
- A lo largo de los apoyos (zonas de momentos negativos) en el caso de losa continua y en los voladizos.

A resaltar que toda losa colaborante actúa en una primera fase como encofrado por lo que es válido todo lo dicho en el apartado anterior.

#### **2.2.4. Losa Metálica Colaborante en Viga Mixta o Compuesta**

En edificios de gran altura se suele utilizar el sistema de losa colaborante combinado con el cálculo de la estructura como viga mixta, llegándose a una optimización del costo global de cimentaciones, estructura y losas por reducción del espesor total del paquete estructural y altura entre plantas, con significativa reducción del peso de las vigas metálicas.

En este sistema, se produce una conexión de la losa con las vigas de apoyo principales y secundarias a través de pernos conectores, de forma que se constituye una viga mixta en la que el hormigón trabaja a compresión en la parte superior y el acero a tracción en la parte inferior.



**Figura 2.12:** Losa Metálica Colaborante en Viga Mixta (Manual Técnico MetalDeck)

### 2.2.5. Ámbito de Aplicación

Las aplicaciones del panel metálico son muy diversas, además de aportar las siguientes ventajas, ligereza, rapidez de montaje, economía y resistencia en las aplicaciones más variadas:

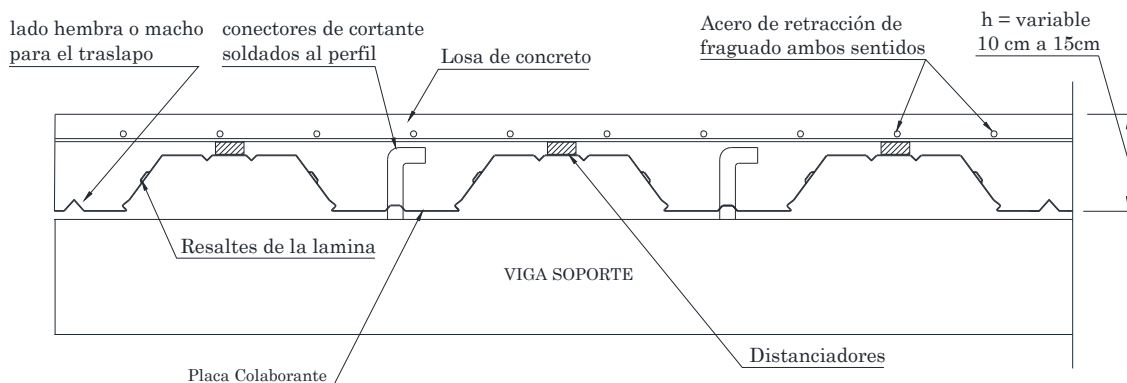
- Edificios industriales.
- Hospitales.

- Inmuebles de oficinas.
- Viviendas.
- Superficies comerciales.
- Cocheras.
- Terrazas

Existen casos especiales de aplicación del panel metálico como en espacios sanitarios donde debe ser ventilado controlado y tener un mantenimiento adecuado.

### 2.2.6. Forma y Sección del Panel

La forma o sección geométrica del panel está formado por valles y crestas el cual le proporciona una rigidez a la sección. Estas características geométricas crean una inercia que impide la deformación, además su calidad de acero estructural permite que dicho panel tenga la particularidad de ser un encofrado perdido.



**Figura 2.13:** Detalle Transversal Típico del Sistema de Losa con Placa Colaborante (Manual Técnico MetalDeck)

### **2.2.7. Ventajas del Panel Metálico**

- Durante el proceso constructivo el panel sirve como formaleta permanente para conformar una plataforma y elimina la necesidad de armar y remover las formaletas temporales comúnmente utilizadas conocidas como encofrado.
- La lámina del panel tiene la resistencia necesaria para soportar su propio peso más el peso propio del hormigón fresco y las cargas adicionales de construcción.
- Como componente estructural definitivo conforma en su totalidad el refuerzo positivo de la losa.
- Después del fraguado del hormigón, el panel y la losa de concreto pasan a formar un solo cuerpo el cual actúa en forma compuesta para resistir las cargas muertas y las cargas vivas.
- El panel metálico tiene una gran adherencia con el hormigón debido a su geometría especialmente a sus resaltes en la superficie, hendiduras o dispositivos de transferencia tales como pernos, conectores uniformemente espaciados.
- Rápido ensamblaje y colocación del material permitiendo desarrollar áreas mucho más rápido que las losas tradicionales de hormigón armado.
- El montaje del sistema puede realizarse en cualquier clima, eliminando los costosos retrasos que pueden presentarse en otros sistemas de entrepiso.

- Dentro de los diversos factores constructivos que pueden mencionarse están su bajo peso que facilita su manipulación, óptimo almacenamiento en obra, rapidez de instalación, no requiere mortero de afinado de piso, no es biodegradable, no contamina otros materiales, se adapta a cualquier geometría y puede utilizarse tanto en estructuras metálicas como de concreto o aún sobre muros de mampostería.

### **2.2.8. Desventajas del Panel Metálico**

- Para realizar losa con panel metálico se necesita de mano de obra calificada o por lo menos capacitación previa para el desarrollo de este tipo de losa.
- En zonas donde pueda ser expuesto a daños por presencia de humedad, químicos, etc; se debe recubrir y dar un mantenimiento periódico.
- Para zonas con aberturas es necesario realizar una serie de refuerzos ya que se interrumpe su continuidad.
- En todos los casos que se utilice panel metálico debe existir bajo la losa la utilización de cielo raso falso, ya que debido a su poco espesor las instalaciones eléctricas y sanitarias quedan expuestas al aire libre.
- En el proceso constructivo es necesario realizar un control exhaustivo en el aspecto de las deflexiones, ya que en luces grandes puede ser considerable la deflexión si no se examina este aspecto.

## **2.3.MATERIAL ALTERNATIVO (CAÑA DE GUADUA ANGUSTIFOLIA)**

### **2.3.1. Definición**

En el año de 1806 fue descrita por Alexander von Humboldt y Amadeo Bonpland quienes vieron esta planta en Colombia y la llamaron *Bambusa guadua*, luego en 1822 fue clasificada por Carl Sigismund Kunth como *Guadua angustifolia* considerándose como una de las plantas nativas más representativas y antiguas de los bosques andinos. Posteriormente Kunth rebautiza la especie con el nombre de *Guadua angustifolia*, que significa “hojaangosta”

La guadua constituye el género de bambú nativo más importante de América tropical, es endémica de este continente, con aproximadamente 30 especies distribuidas desde México hasta Argentina, las cuales se pueden encontrar en un rango de altitud que va desde el nivel del mar hasta los 2.200 m.s.n.m. Es considerada el tercer bambú más grande del mundo, superada únicamente por dos especies asiáticas.

La guadua es una planta leñosa arborescente que pertenece a la familia Poaceae y a la tribu Bambuseae. 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%.

### **2.3.2. Morfología de La Caña Guadua Angustifolia**

Morfológicamente, en una *Guadua Angustifolia* se pueden distinguir las siguientes partes: raíz, tallo, hojas, flores y frutos, sin embargo, es el tallo, y particularmente el

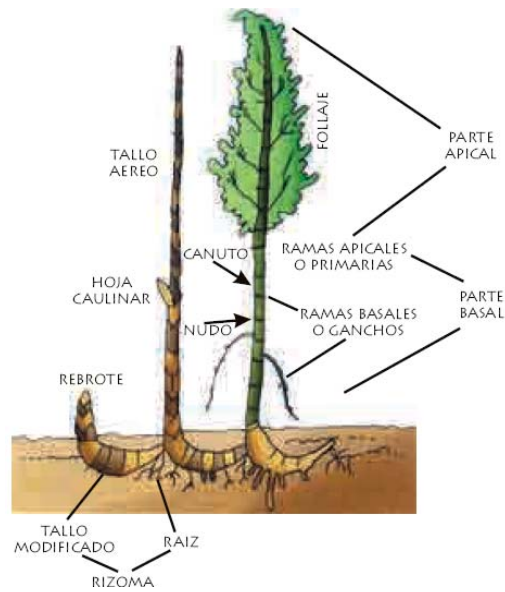
culmo, el que tradicionalmente se ha aprovechado para diferentes aplicaciones. El culmo se origina en el ápice del rizoma, y una vez que brota del suelo lo hace cubierto de hojas caulinares con el diámetro máximo que tendrá de por vida. Dependiendo de las condiciones climáticas, edáficas y de la época de brotamiento, demora entre 4 a 6 meses para desarrollar su altura definitiva. El culmo de esta especie es un cilindro hueco y adelgazado dividido en segmentos o internodos separados por diafragmas (nodos), que en conjunto con una pared maciza dan al tallo una increíble resistencia mecánica haciendo que la flora de bambúes de América sean mucho más ricas en propiedades físico-mecánicas que las de África y Asia.

En el culmo se distinguen tres tercios: basal, medio y apical, cuyos diámetros promedios varían entre los 8 y los 18 cm.

### **2.3.3. Estructura de la Caña Guadua**

La guadua en particular u bambúes en general, están conformados por rizomas, culmos y ramas, además de hojas caulinares, follaje, inflorescencia y fruto según Castaño y Moreno 2004. En la figura 2.11 se puede apreciar la composición de la estructura de la caña guadua y sus partes.





**Figura 2.14:** Estructura y Componentes de la Caña Guadua K.

### 2.3.3.1. Rizoma

El rizoma tiene una gran importancia, no solo como órgano, en el cual se almacenan los nutrientes que luego distribuye a las diversas partes de la planta, sino como un elemento básico para propagación del bambú o guadua, la cual se efectúa asexualmente por ramificación de los rizomas. El rizoma se puede decir que es un eje segmentado y subterráneo que constituye la estructura de la planta y es el soporte de la planta. Consta de dos partes: el cuello y el rizoma en sí. El cuello es la parte superior del rizoma y carece de yemas. El rizoma es si se caracteriza por presentar yemas y raíces adventicias. Las raíces adventicias se encuentran en la parte más baja del rizoma. Las yemas siempre estás solas en los nudos, y una vez que la planta alcanza su longitud total se activan y dan origen a nuevos rizomas. El rizoma de la guadua es de tipo paquimorfo, con cuello alargado. Es

corto grueso y curvo, como se puede apreciar en la figura 2.12, y tiene un diámetro mayor que el del culmo al cual da origen.



**Figura 2.15:** Rizoma de Caña Guadua Angustifolia K.

### 2.3.3.2. Culmo

Constituye el eje aéreo segmentado que emerge del rizoma. Es leñoso, recto, como se puede apreciar en la figura 2.13 y ligeramente arqueado en la punta. A lo largo del culmo se distinguen dos partes importantes: nudos y entrenudos.



**Figura 2.16:** Culmo de la Caña Guadua Angustifolia K.

Los nudos son áreas donde crecen ramas a partir de una yema nodal, en el interior del nudo se desarrolla un tabique transversal que interrumpe la cavidad denominada entrenudo, lo que lo convierte en la parte más resistente del culmo.

Los entrenudos son cilindros huecos, cuya textura es dura y consistente. En la guadua se observa un incremento gradual en la longitud del entrenudo desde la base hasta la porción media del culmo, y posteriormente una reducción hacia el ápice. En la tabla 2.3 se muestran los rangos generales de las dimensiones del culmo de Guadua angustifolia, entrenudos y grosor de pared, en condiciones ambientales apropiadas.

**Tabla 2.3:** Dimensiones del Culmo de la Caña Guadua (Castaño y Moreno, 2004.

“Guadua para todos”)

<b>FACTOR</b>	<b>RANGO GENERAL</b>
Longitud total	15 – 30 m
Diámetro del Culmo	10 – 20 cm
Longitud entrenudo	20 30 cm
Grosor de pared	2 – 5cm

El culmo alcanza su altura máxima entre los cuatro y seis meses de edad, según las condiciones climáticas de la zona. Sin embargo, para adquirir su madurez fisiológica requiere de cinco años en promedio.

### **2.3.3.3. Ramas**

Se originan de las yemas nodales del culmo y de acuerdo a su posición se clasifican en: basales y apicales. Las ramas basales (de la base), son espigas puntiagudas y duras. Las

ramas apicales son delgadas y largas, constan de una rama dominante y de una a tres ramas secundarias más delgadas.

#### **2.3.3.4. Hojas Caulinares**

Son hojas modificadas que se caracterizan por su fuerte consistencia coriácea, de forma triangular, y cuya función es proteger a las yemas, las cuales dan origen a las ramas y al follaje según Londoño 2002 como se puede ver en la figura 2.13.



**Figura 2.17:** Hojas Caulinares de Guadua Angustifolia K.

Se encuentran en el rizoma y en las ramificaciones donde existen nudos con yemas, y protegen el culmo durante sus primeros estadios de desarrollo. Su dimensión es variable según la edad y la parte de la planta donde se desarrollen. Son deciduas en el extremo superior y caducas.

#### **2.3.3.5. Hojas ramales**

También conocida como hojas de follaje, crecen en el extremo superior del culmo, son simples, alternas y lanceoladas. Se componen de una vaina que rodea la rama, un

pseudopeciolo y una lámina con pelos transparentes dispersos sobre el haz. Se disponen en dos hielas en las ramas.



**Figura 2.18:** Hojas de Follaje Guadua Angustifolia K.

#### **2.3.3.6. Inflorescencia**

Es una panícula con flores imperfectas y pequeñas, de hasta 9 cm de longitud. Se encuentra ubicada en los extremos de las ramas. Son bisexuales y poco vistosas, de color rosado claro según Hidalgo 1974. La floración de la caña guadua es de tipo esporádica y la duración de su ciclo de floración es irregular, se da en lapsos de dos meses aproximadamente.



**Figura 2.19:** Inflorescencia de la Caña Guadua

### 2.3.3.7. Fruto

El fruto es del tipo cariósido, seco e indehisciente, y se encuentra en el primer tercio de la inflorescencia o espiga. Por lo regular los frutos son pocos y solitarios. La semilla se asemeja a un grano de arroz en su forma, tamaño y cubierta, es de coloración blanca en su interior y café claro en su exterior; sus dimensiones son de 5 a 8 mm de largo y 2 a 3 mm de grosor.

### 2.3.4. Estados de Madurez de la Caña Guadua

La guadua tiene un ciclo de vida de once años, durante los cuales pasa por cuatro estados específicos de madurez: brote, juvenil (verde o viche), madura (adulta o hecha) y sobremadura o seca.

**Brote o renuevo:** Es la primera fase de desarrollo y comprende desde la aparición del rebrote hasta cuando llega a su máxima altura. Esta etapa tiene como duración de seis meses, durante los cuales el culmo está totalmente cubierto por hojas de 6 meses caulinares. Los entrenudos son de color verde intenso y presenta dos bandas blancas en cada nudo

**Juvenil:** Se inicia cuando empieza el desarrollo de las más apicales y crece gradualmente el follaje de la planta, el culmo elimina todas sus hojas caulinares de su parte superior conservando las basales, los entrenudos son de color verde intenso y se aprecian claramente las bandas nodales. Esta fase tiene una duración aproximada de uno a dos años.

**Madura:** En esta fase todo el culmo se cubre de manchas blancas en forma de plaquetas, que corresponden a hongos, desaparecen las manchas nodales y aparecen algunos musgos y líquenes en los nudos, su color se generaliza en tono grisáceo, no hay hojas caulinares en ninguna parte del culmo y adquiere su mayor grado de resistencia. Esta fase de dos a cuatro años.

**Sobremadura:** Se aprecia cuando los tallos están cubiertos por hongos y líquenes en su totalidad y presentan un aspecto gris blancuzco. No hay presencia de follaje. La guadua está próxima a secarse, pierde su resistencia mecánica y al final muere. Se estima que esta fase tiene una duración de un año y se da cuando la planta tiene más de seis años en adelante.



**Figura 2.20:** Estados de Madures de la Caña Guadua

### 2.3.5. Silvicultura

Silvicultura es la técnica empleada para sembrar y manejar los bosques con múltiples propósitos; también se describe como la habilidad de manejar bosques, argumentando que es arte porque su técnica está fundamentada en los principios de las ciencias biológicas y la ecología. En un contexto más amplio, silvicultura es el cultivo de las selvas, montes o bosques. La silvicultura aplicada al caso de la siembra de caña guadua implica el establecimiento del objetivo y futuro empleo del material a sembrar, ya sea para uso comercial, ornamental o de protección ecológica en el sitio de plantación. Se debe también planificar las técnicas de siembra y manejo, las cuales serán utilizadas para lograr una buena productividad en función del objetivo antes establecido. Para el caso de la caña guadua angustifolia se utiliza para la siembra distancias entre surcos de 6 a 10 metros para fines comerciales. Si la plantación tiene un objetivo conservacionista las distancias deberán acortarse.

Algunos aspectos a considerar son los siguientes:

- **Material para la siembra**

Las plántulas o chusquines deben ser preparados en un vivero a fin de que cuente con las características apropiadas para obtener buenos resultados en la plantación.

- **Corte**

La época ideal para cortar la caña es la temporada seca ya que durante ésta tanto la humedad como el crecimiento de nuevos brotes son reducidos lo cual facilita el transporte y reduce el problema de ataque de algún tipo de plaga. Por tradición se recomienda cortar



la guadua en cuarto menguante (dos o tres días después de luna llena) y entre las tres y cinco de la mañana ya que ha esta hora los fluidos de la planta se encuentran en niveles bastante bajos y se evita que estos líquidos degraden a la guadua una vez cortada. Para cortar la caña, es necesario contar con personal de cierta experiencia en esos trabajos debido a que es peligroso.

Quien va a cortar la caña, debe disponer de machetes cortos (o sierras) que son apropiados para el manipuleo dentro del cañal, los cuales deben estar perfectamente afilados, para que al efectuar el corte no se produzcan vibraciones que ocasionen la partición longitudinal de la caña. La edad adecuada para realizar los cortes es entre los 3 y 5 años ya que en esta etapa presenta sus mejores características mecánicas para ser utilizada como material de construcción. El corte que se realiza para derribar la caña tiene que hacerse lo más cercano a la superficie del suelo (entre 15 y 30 cm.), o sea sobre el primer nudo que aparezca, para que ésta siga reproduciéndose; en caso contrario, si se hace el corte sobre el tercero, cuarto o quinto nudo, la planta muere definitivamente en la mayoría de los casos.

- **Limpieza del guadual**

Antes del corte debe hacerse una limpieza de las malas hierbas y bejucos; luego deben eliminarse las ramas bajas a unos quince o veinte centímetros de su inserción, para que le sirvan al trabajador como escalera para subir a cortar las ramas altas que estén entrecruzadas y que impidan la caída de las cañas cortadas.

Cuando las cañas no están muy entrecruzadas y se encuentran libres de malezas, un trabajador puede explotar normalmente de veinte y cuatro a treinta y seis unidades al día, dejándolas listas para ser embarcadas y transportadas. Cuando la mancha de caña esta enmalezada y entrecruzada, debido a malos aprovechamientos, un trabajador puede llegar a cortar diariamente de dieciocho a veinte cañas.

- **Fertilización**

La guadua angustifolia al ser una gramínea responde adecuadamente a la aplicación de urea y otros productos orgánicos. La cantidad a ser aplicada dependerá de un estudio de las características químicas del terreno de siembra.

- **Aprovechamiento**

Al efectuar inventarios de las manchas de caña guadua, se ha obtenido un promedio de diez mil unidades por hectárea, o sea alrededor de 1 caña por metro cuadrado; de estas aproximadamente un treinta por ciento se encuentra listo o cerca de ser cosechado. Algunas personas explotan la mitad de ese treinta por ciento y después de cuatro o seis meses el resto. Un cuarenta por ciento del total de cañas se encuentra en proceso de maduración y puede ser aprovechado aproximadamente después de doce a dieciocho meses más. El treinta por ciento restante está formado por cañas más tiernas que se encuentran en pleno crecimiento, que no han ramificado todavía, y que están provistas de la estipula protectora o vaina. A las cañas en ese estado, el agricultor les denomina “borrachos”. La cosecha debe hacerse por lo menos una vez al año, extrayendo un número igual o menor al

treinta por ciento del total de cañas existentes en la mancha. A ciertos agricultores propietarios y explotadores de caña les parece más aconsejable efectuar dos cortes al año, pero la intensidad de la explotación no debe sobrepasar del quince por ciento por corte. Cuando no se realizan aprovechamientos periódicos o continuados, las manchas de caña se enmalezan demasiado, se entrecruzan y pierden consistencia. Estos efectos a más que ocasionan la muerte de algunas cañas, también dificultan la explotación, haciéndose inclusive peligrosa para quien tiene que efectuar el corte. Esto ocurre generalmente en agricultores propietarios de cañales que no se dedican a explotarles personalmente y que los venden a particulares, quienes con la finalidad de obtener una mayor ganancia, cortan un porcentaje elevado de cañas, lo que trae como consecuencia una degeneración continua de la especie, una invasión de malezas debido a los claros que quedan después de ser explotados en esa forma. Por lo general la proliferación de nuevos vástagos se dirige hacia los sectores de mayor iluminación, por esta razón es necesario que la luz que penetra a la caña sea uniforme, esto se consigue realizando explotaciones periódicas por lo menos una vez al año y de acuerdo a los porcentajes indicados anteriormente. Para la guadua angustifolia se ha comprobado que alcanza su grado óptimo de desarrollo para poder ser comercializada en un periodo de 5 a 7 años.

### **2.3.6. Post-Cosecha y Preservación**

La preservación de los culmos comienza desde el momento mismo en que se inicia su cosecha, cortando únicamente las guaduas en estado de desarrollo maduro.

Para preservar la guadua es necesario secarla (al igual que la madera) a contenidos de humedad por debajo del 20% y realizar un tratamiento preventivo contra el ataque de insectos xilófagos (como el didnoderus minutus) que son atraídos por el almidón de las paredes de la caña. El uso de insecticidas e inmunizantes tóxicos pueden ser nocivos para la salud humana, esto hace necesario la adopción de sistemas no tóxicos, con sello verde, para lograr tener una materia prima con posibilidades de ser una alternativa que pueda competir al lado de la madera.

Las sustancias o métodos utilizados para su inmunización deben garantizar la protección del material ante el ataque de insectos, la no alteración de las propiedades físico mecánicas de la guadua, y que en lo posible no sean costosos.

El curado natural tiene por objeto reducir o descomponer el contenido de almidón y humedad de los tallos a fin de preservar la caña guadua sin la aplicación de sustancias químicas. Existen algunas formas de realizar curado:

- **Curado por inmersión**

Consiste en sumergir los tallos en agua ya sea corriente (río) o en un tanque. El periodo de inmersión no debe superar las cuatro semanas. Luego se lo deja secar. Este método puede presentar problemas ya que las cañas pueden perder resistencia.

- **Curado al calor**

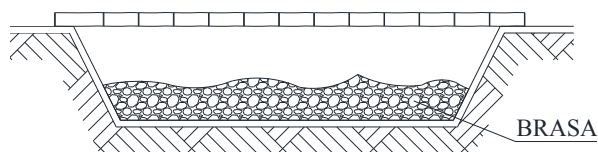
En este método se colocan las cañas de forma horizontal sobre brazas procurando que la distancia sea la más apropiada para evitar que estas se quemen. Las brazas se suelen colocar en excavaciones de 30 a 40 cm., de profundidad.

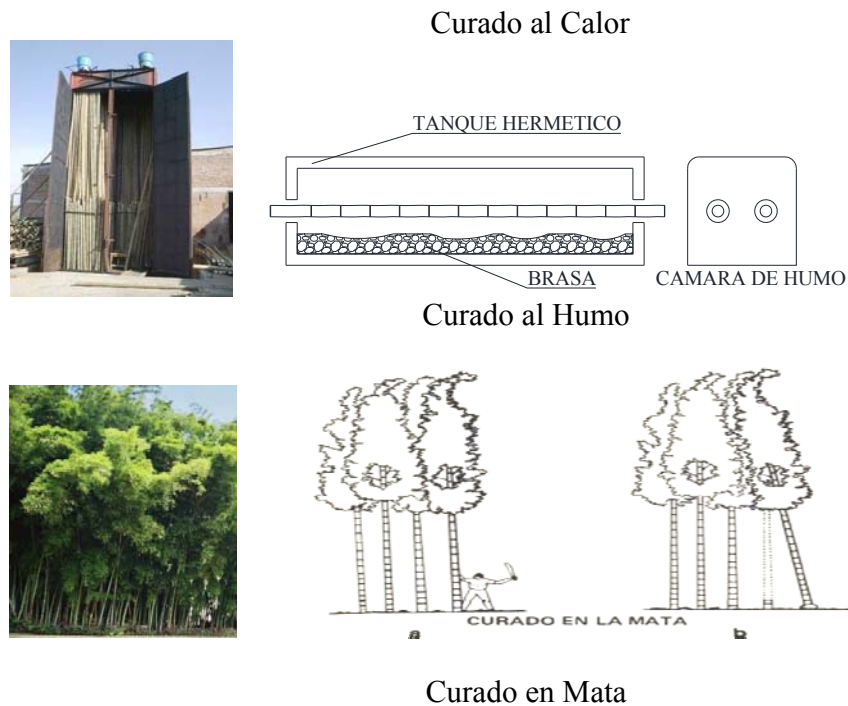
- **Curado al humo**

Consiste en colocar las cañas en hornos o algún tipo de estructura cerrada herméticamente que debe tener una chimenea pequeña. El método consiste en exponer a las cañas a la acción del humo producido por la incineración de madera; este contiene ácido piroleñoso el cual se produce por la condensación del humo saturado de alquitrán. Este ácido se impregna en las paredes de la guadua sirviendo de protección ante el ataque de insectos. El tiempo de ahumado es de alrededor de tres semanas.

- **Curado en la mata**

Es el método más utilizado por su fácil aplicación y costo. Consiste en una vez cortado el culmo apoyarlo sobre otras cañas lo mas vertical posible y aislarlo del suelo por medio de una piedra o algún otro mecanismo a fin de evitar que absorba humedad. Debe mantenerse en esta posición como mínimo un mes; luego de este tiempo se cortan las ramas y se lo deja secar en un lugar cubierto y bien ventilado.





**Figura 2.21:** Tipos de Curado Natural

Dentro de los productos químicos de baja toxicidad que pueden ser utilizados para preservar la guadua tenemos el penta borato que consiste en una mezcla de ácido bórico y bórax en proporción de 1:1 disuelto en 100 litros de agua. Se usa también preservantes óleo solubles (aceite de antraceno, nafteno de cobre, etc.), e hidrosolubles (sales disueltas en agua: como el bórax ya mencionado, dicromato de cobre, cloruro de cobre, entre otros).

Su aplicación se la realiza con diversos métodos que se describen a continuación:

- **Método de transpiración en las hojas**

Igual al curado en la mata con la diferencia que en lugar de colocar la caña sobre un apoyo se la introduce en un recipiente que contenga un preservante. Esta sustancia será absorbida hacia arriba por la transpiración de las hojas.

- **Método por inmersión**

Se colocan las cañas sumergidas en tanques que contengan el preservante por periodos de tiempo superiores a 12 horas. Se recomienda hacer perforaciones en los entrenudos de la guadua para lograr una buena absorción. Se suelen colocar pesos sobre las cañas como piedras por ejemplo a fin de que estas queden totalmente sumergidas.

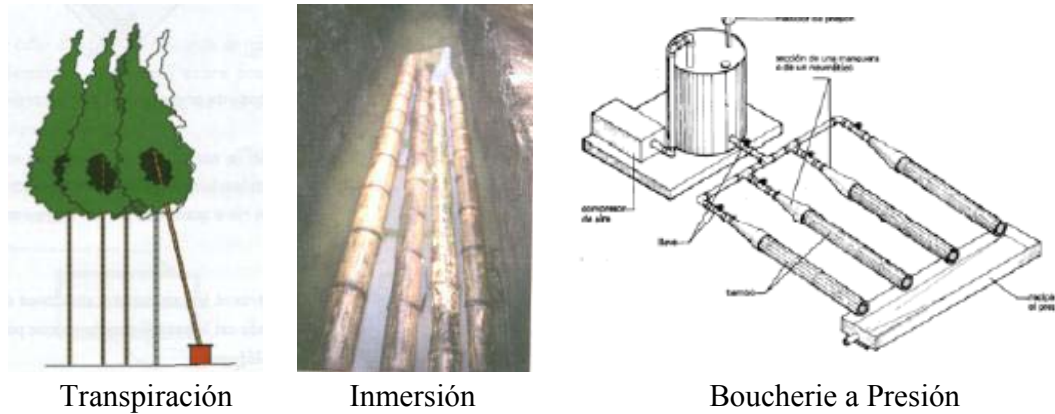
- **Método de Boucherie (por gravedad)**

Consiste en colocar la caña en posición vertical y llenar el entrenudo superior con el preservante.

Este por gravedad bajará a lo largo de la caña desplazando a la savia. El tiempo de aplicación puede tomar varios días dependiendo del tamaño de los culmos.

- **Método de Boucherie modificado (por presión)**

La diferencia con el método anterior radica en que se aplica una presión adicional a la de la gravedad para introducir el preservante al tallo utilizando un compresor de aire. El tiempo de aplicación dura pocas horas.



**Figura 2.22:** Curado o Inmunización por Métodos Químicos

### 2.3.7. Usos e Importancia de la Caña Guadua

#### 2.3.7.1. Economía y Agroindustria

En la economía y agroindustria la Caña Guadua *angustifolia* tiene fibras naturales muy fuertes que permiten desarrollar productos industrializados tales como paneles, aglomerados, pisos, laminados, esteras, pulpa, papel, muebles, cubiertos, etc., es decir productos de calidad que podrían competir con otros materiales en el mercado nacional e internacional.

Cabe señalar que con el uso de la guadua en los procesos industriales antes mencionados, se reduciría el impacto sobre los bosques nativos, porque la guadua pasaría a ser un sustituto de especies maderables. A diferencia del lento cultivo para conseguir madera, los tallos de guadua crecen rápidamente, presentando además altos rendimientos de volúmenes por hectárea. Un ejemplo de esto lo podemos observar con el pino que tarda 15 años para su aprovechamiento, mientras que la guadua solo tres. El corto tiempo que se



necesita para su explotación acompañado de sus múltiples usos y de una técnica adecuada al momento de sembrar y cosechar puede generar buenos réditos económicos.

A nivel agrícola tiene un sinnúmero de usos: como material para construir puentes sobre ríos y canales, aprovechando su tamaño y resistencia. Para construir galpones y jaulas para aves en planteles avícolas, elaboración de comederos y bebederos para ganado, recipientes para transportar agua, etc. Los programas internacionales de cooperación técnica han reconocido las cualidades excepcionales de la guadua y están realizando un amplio intercambio de variedades de esa planta y de los conocimientos relativos a su empleo.

#### **2.3.7.2. Cultura y Artesanías**

La caña guadua es un material que ha sido conocido y utilizado desde tiempos muy remotos hasta nuestros días y esta arraigada en muchos aspectos a la memoria cultural de los pueblos americanos.

Por sus características físicas los tallos de guadua e incluso los rizomas se han convertido en materia prima para la elaboración de un sinnúmero de productos artesanales como se ilustra en la figura 2.19, vemos las diferentes aplicaciones de artesanías.



**Figura 2.23:** Usos y Aplicaciones de la Caña Guadua

### 2.3.7.3. La Guadua como Paisaje

Este recurso es de gran importancia ya que la presencia de guaduales en riberas de ríos, laderas, etc., brinda a la vista un paisaje digno de contemplación, no solo por la planta en si misma sino también por la biodiversidad que encierra.



**Figura 2.24:** Plantación de Guaduales

#### **2.3.7.4. Su Aplicación en la construcción**

La guadua es un material de importantes características en su comportamiento físico mecánico en estructuras. La relación resistencia/peso la hace tan importante como las mejores maderas, con una ventaja a su favor y es la de ser un recurso natural renovable de rápido crecimiento y fácil manejo, que además aporta importantes beneficios ecológicos durante su crecimiento.

En muchos países la guadua es considerada un material relegado para los “pobres”, ya que su uso se ha limitado a la construcción de viviendas endebles, en zonas marginales, pero desde los años sesenta, arquitectos y diseñadores la reconsideran por sus calidades estructurales y estéticas. Arquitectos contemporáneos de alto reconocimiento internacional presentan una visión completamente nueva de este material.

Sus ventajas ecológicas y económicas lo hacen atractivo para diseñadores y constructores. Entre sus características destacadas se tienen:

- La capacidad para absorber energía por su gran ductilidad, su resistencia a las acciones mecánicas y su liviana estructura convierten a la guadua en un material a ser considerado para construir en zonas sísmicas.
- Es un material sólido pero gracias a su interior vacío es liviano y particularmente elástico.

- La guadua presenta muy buenas propiedades mecánicas de tensión y compresión. Su capacidad de carga en tensión se mantiene con el pasar de los años, mientras que su capacidad de compresión crece con el tiempo.
- Algunos estudios muestran que procesar bambú requiere 1/8 de la energía para procesar concreto, 1/3 de la energía utilizada en la construcción con madera y 1/50 de la energía necesaria para procesar el acero.

En muchos países se utiliza la caña guadua como material de construcción para vivienda de interés social en reemplazo de materiales más costosos como el concreto o el acero pero también se han realizado obras de mayor envergadura como son los puentes del carpintero alemán Jörg Stamm, los pabellones del arquitecto colombiano Simón Vélez, estructuras espaciales como la cúpula geodésica de Shoji Yoh en Japón entre otros.



**Figura 2.25:** Catedral de Nuestra Señora de la Pobreza (Pereira-Colombia)



**Figura 2.26:** Diferentes Tipos de Viviendas



**Figura 2.27:** Restaurante Construido por Jörg Stam

La importancia de la aplicación de la caña guadua en la construcción es de gran escala por muchos aspectos, una de las razones que podemos destacar se refiere a la reducción de costos ya que se encuentra por debajo del utilizado para construir con materiales convencionales y con mayor razón si se lograra incentivar el uso de este material reduciendo de esta forma los costos de producción, de allí que la guadua se podría convertir en una alternativa real para ayudar a solucionar de una manera eco-constructiva

los serios problemas de déficit de vivienda que afectan a un gran número de países en vías de desarrollo en particular en áreas rurales y suburbanas en donde existe falta de recursos y presupuesto y en los cuales es urgente brindar soluciones rápidas y económicas para paliar el problema. Esto no quiere decir tampoco que se deseche la posibilidad de realizar obras suntuarias o de relevancia social, como algunas de las ya señaladas.

La falta de estudios y por ende de una normativa acerca del uso de la guadua en construcción ha sido uno de los limitantes para que este material no sea explotado en forma adecuada.

En nuestro medio actualmente no existe una normativa que regule el modo de empleo de la caña guadua, por tal razón debemos resaltar este aspecto y tratar de regular para que exista una correcta aplicación de la caña guadua, en la construcción como el los demás campos de aplicación.

### **2.3.8. Ventajas y Desventajas de la Caña Guadua Angustifolia**

#### **2.3.8.1. Ventajas**

- La guadua es una planta perenne, con capacidad de regenerarse naturalmente, por lo que se presenta altos rendimientos en volúmenes por hectárea y en tiempos relativamente cortos de aprovechamiento, es decir que es un recurso natural renovable que ofrece la posibilidad de un manejo sostenible.

- Tiene un precio económico y de fácil acceso a cualquier tipo de estrato social de la población.
- Los guaduales tiene efectos sobre los suelos y las aguas de las microcuencas. Con su sistema radicular contribuye a la conservación y recuperación de los suelos, pues amarra y sostiene el suelo en las laderas y orillas de los ríos de tal forma que evite la erosión y los desbanques.
- Es una especie importante como protectora de las cuencas y riberas de los ríos y quebradas. Su acción es reguladora de la cantidad y calidad de agua, que devuelve a su caudal en épocas normales y secas.
- Cada guadual forma un ecosistema que alberga una diversidad de flora, microflora, entomofauna, mamíferos, aves, reptiles y anfibios.
- La guadua es un gran productor de oxígeno y un gran fijador de dióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>).
- Los Guaduales tienen un efecto purificador y embellecedor del entorno. Las laderas y orillas de los ríos cubiertos de guaduales son paisajes dignos de contemplación y admiración.
- Al emplear la guadua, se logran altos impactos benéficos, ecológicos y ambientales, porque además contribuye a bajar la presión sobre la deforestación de los bosques nativos.

### **2.3.8.2. Desventajas**

- Por ser un material orgánico, tiene un tiempo de vida útil. Si bien es cierto existen métodos de conservación que ayudan a alargar la vida de la caña guadua más no pueden detener el proceso degenerativo por el paso del tiempo.
- En nuestro medio la caña guadua se la relaciona con la pobreza y miseria. La caña adopta esta imagen por la mala aplicación y en especial de la clase baja que ha solucionado eventualmente problemas de vivienda dando así una perspectiva de un mal material.
- Por su tiempo de maduración mayor a seis años, es necesario esperar este tiempo para poder conseguir las mejores características mecánicas y físicas de la guadua.

Como todo material orgánico al estar expuesto a la humedad pierde sus características físicas-mecánicas llevando a la pudrición del elemento natural aun usando métodos de conservación y curado de la madera.



## **CAPITULO III: INVESTIGACIÓN DE LOSAS CON CAÑA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH**

### **3.1.INTRODUCCIÓN**

La presente investigación tiene como finalidad desarrollar un método constructivo diferente de los tradicionales ya que por sus costos elevados es difícil acceder a un tipo de infraestructura convencional. Además se busca definir los parámetros de diseño para calcular losas de entre piso y de cubierta con caña guadua angustifolia reemplazando al acero como refuerzo en la nervadura de la losa.

### **3.2.ANTECEDENTES**

#### **3.2.1. Características Físico-Mecánicas de la Caña Guadua**

De la investigación realizada en el 2007, Tesis titulada con el nombre “Propiedades Físicas-Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth y Aplicación al Diseño de Baterías Sanitarias” realizada por los Ingenieros Jorge Cobos y Xavier León, se encuentran las características Físico-Mecánicas de la Caña Guadua Angustifolia las cuales se describen a continuación.

### **3.2.1.1. Propiedades Físicas**

#### **3.2.1.1.1. Contenido de Humedad**

La humedad propiedad física indispensable en el comportamiento mecánico de la guadua, la humedad del tallo de la guadua disminuye con la altura y la edad. Cambia con la época del año si hay lluvia mayor humedad y menor durante las sequias. La contracción del tallo en su longitud es insignificante pero la contracción del diámetro puede ser del 5% hasta el 15% esta contracción es importante considerando el uso en hormigón armado. Para la utilización de la caña en hormigón armado se recomienda humedecer en parte la caña para que el momento en que exista la pérdida de líquido su contracción sea la menor posible.

La humedad de la caña promedio en la zona Santo Domingo es alrededor del 30% según la investigación desarrollada por la tesis “Propiedades Físicas-Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth y Aplicación al Diseño de Baterías Sanitarias del IASA II”

#### **3.2.1.1.2. Masa por Volumen**

Esta es la densidad a la cual se encuentra el material de acuerdo a su peso propio. La determinación de la densidad es de aproximadamente  $700 \text{ Kg/m}^3$  (Propiedades Físicas-Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth y Aplicación al Diseño de Baterías Sanitarias del IASA II, Jorge Cobos y Xavier León, ESPE 2007).

#### **3.2.1.1.3. Peso Específico**

El Peso específico es la relación entre el peso total de la muestra sobre el volumen total de la muestra, el valor promedio es de  $0,70\text{gr}/\text{cm}^3$  (Propiedades Físicas-Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth y Aplicación al Diseño de Baterías Sanitarias del IASA II, Jorge Cobos y Xavier León, ESPE 2007).

### **3.2.1.2. Propiedades Mecánicas.**

#### **3.2.1.2.1. Tracción.**

El esfuerzo obtenido a la atracción en pruebas de laboratorio realizadas en probetas tipo nos dan resultados en los cuales se obtiene un esfuerzo medio igual a 242,43 MPa sin nudo y 72,80 MPa con nudo, (Propiedades Físicas-Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth y Aplicación al Diseño de Baterías Sanitarias del IASA II, Jorge Cobos y Xavier León, ESPE 2007).

#### **3.2.1.2.2. Compresión.**

El ensayo de compresión en pruebas paralela al eje del tronco de la guadua realizado en doce especímenes de prueba en la parte Basal, Medio y Apical tenemos los siguientes esfuerzos de 50,31 MPa en la parte basal, 48,34 MPa en la parte media y 46,50 MPa en el apical. El modulo de Elasticidad que corresponde a la compresión en la caña guadua es de 11903,369 MPa (Propiedades Físicas-Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth y Aplicación al Diseño de Baterías Sanitarias del IASA II, Jorge Cobos y Xavier León, ESPE 2007).

### **3.2.1.2.3. Corte Paralelo a la Fibra.**

En pruebas realizadas en laboratorio se determino que la resistencia de corte paralelo a la Fibra tiene un esfuerzo máximo medio del 5,46 MPa (Propiedades Físicas-Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth y Aplicación al Diseño de Baterías Sanitarias del IASA II, Jorge Cobos y Xavier León, ESPE 2007)..

### **3.2.1.2.4. Flexión.**

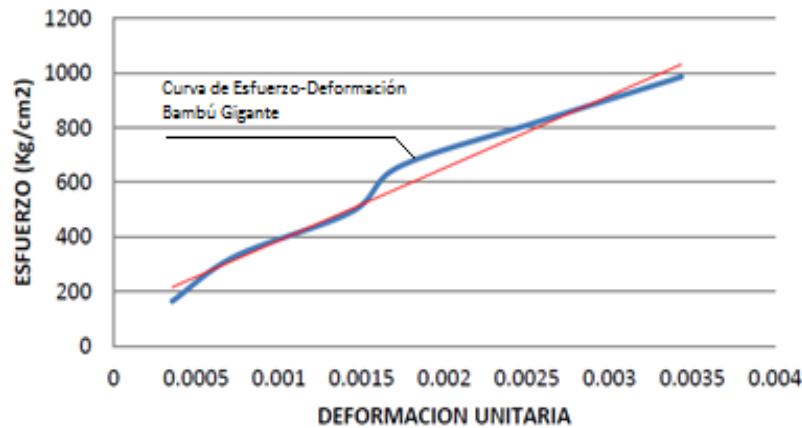
De acuerdo a los ensayos realizados en laboratorio se obtienen esfuerzos de flexión en la caña de guadua considerando a la caña de guadua como un solo cuerpo cilíndrico dando como resultado un esfuerzo a la flexión de 34,98 MPa y un modulo de elasticidad promedio igual a 10362.12 MPa (Propiedades Físicas-Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth y Aplicación al Diseño de Baterías Sanitarias del IASA II, Jorge Cobos y Xavier León, ESPE 2007).

## **3.3. APLICACIÓN DE LA CAÑA EN LOSAS DE HORMIGÓN**

### **3.3.1. Comportamiento de la Caña Guadua Angustifolia Kunth y del Acero a la tracción.**

Al analizar el comportamiento de la Caña Guadua, podemos ver que su deformación es semejante a la del acero lo cual lo hace ideal para trabajar en conjunto con el hormigón formando así el hormigón armado con caña guadua. En la siguiente figura podemos ver el comportamiento lineal que tiene en el rango elástico el Bambú Gigante (*Dendrocálamus*

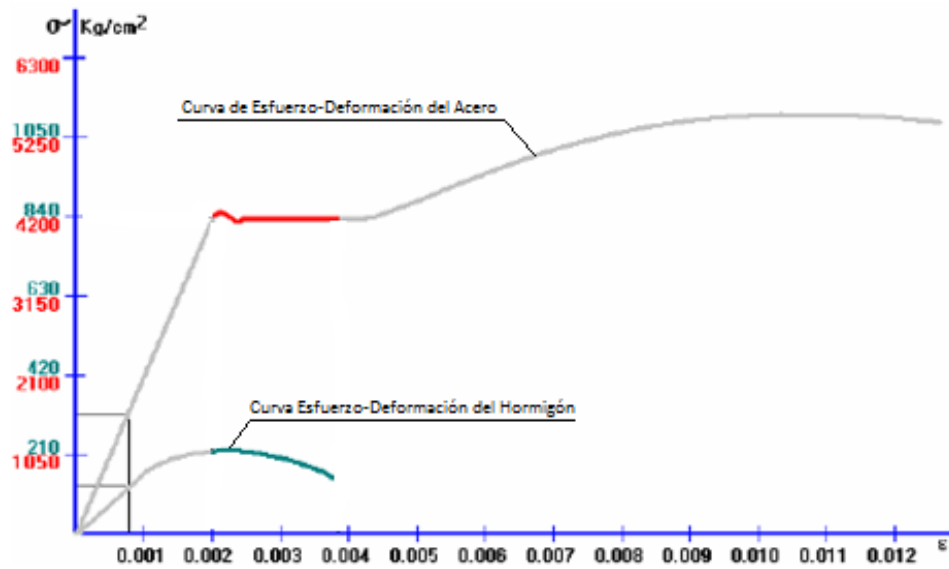
Asper) material que pertenece a la familia de los bambús al igual que la caña de guadua angustifolia material base de la presente investigación, siendo la única diferencia en la relación al acero la existencia de una mayor deformación en el rango elástico.



**Figura 3.1:** Esfuerzo vs Deformación del Bambú Gigante

“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)

En la figura 3.1 y 3.2 vemos las curvas que son semejantes en el comportamiento lineal o elástico tanto la del acero como la del bambú, razón por la cual la caña de guadua es un material con buenas características para trabajar con el hormigón siempre y cuando se compense la adherencia de la caña con dicho material.



**Figura 3.2:** Curvas de Esfuerzo vs Deformación del Acero y Hormigón

Existen algunos estudios e investigaciones realizadas sobre las características Físico-Mecánicas de la caña guadua, de los cuales los que más resaltan para nuestra aplicación en losas con caña guadua es la capacidad de resistencia a la tensión. En el siguiente cuadro se describe la resistencia a la tracción de algunas investigaciones realizadas dentro y fuera del país.

**Tabla 3.1:** Resistencia a la Tensión de Varias Investigaciones.

MATERIAL	TESION A LA ROTURA Kg/cm2	FUENTE
Caña de Guadua Angustifolia Kunth	1400.00 mínimo	<a href="http://www.ingresoll-rand.com/compair/ap-ay97/bamb-4.htm">www.ingresoll-rand.com/compair/ap-ay97/bamb-4.htm</a>
	<b>2472.78 sin Nudo</b> <b>742.56 con Nudo</b>	Jorge Cobos y Xavier León, Propiedades Físicas-Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth y Aplicación al Diseño de Baterías Sanitarias del IASA II, Carrera de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejercito ESPE 2007.
	3500.00 sin Nudo 1800.00 con Nudo	F. Londoño y M. Montes (1970) Laboratorios del Centro Interamericano de Vivienda (CINVA), Colombia.
	2070.00 sin Nudo 1627.00 con Nudo	Córdova Fabián y Valenzuela Patricio, Columnas de Hormigón Reforzado con caña de guadua solicitadas a Flexocompresión, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Central del Ecuador 1992.
Bambú Gigante	1398.31 sin Nudo 1193.50 con Nudo	Fredd Carranza y Jorge Taco, Cálculo 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 ( <i>Dendrocálamus Asper</i> ).

Según los datos presentados podemos ver que existe una mínima diferencia en la resistencia a la tensión, la cual para nuestro análisis consideraremos los esfuerzos 742.56 Kg/cm<sup>2</sup> (Jorge Cobos y Xavier León, ESPE 2007) el cual es el menor valor que se obtiene en ensayos a tracción con nudo. Para nuestro análisis en losas de hormigón armado con caña de guadua las latillas a emplear son de una longitud que superan la distancia de nudo a nudo, razón por la cual se utiliza dicho esfuerzo.

### **3.3.2. Hipótesis de Diseño para el Diseño del Hormigón Armado.**

De acuerdo al código American Concrete Institute (ACI), las hipótesis de diseño se basan básicamente en el equilibrio de fuerzas y coincidencia de deformaciones, las cuales buscan satisfacer dos condiciones básicas que son el equilibrio estático y la compatibilidad de las deformaciones. La primera condición requiere que las fuerzas de tracción y compresión que ejercen en la sección transversal para la resistencia última estén en equilibrio; la segunda condición demanda que igualmente se satisfaga la compatibilidad entre las deformaciones del hormigón y de la armadura bajo condiciones últimas.

De acuerdo al análisis del numeral 3.3.1. del presente proyecto en el cual el comportamiento del acero y la caña guadua son muy semejantes asumimos que su comportamiento en unión con el hormigón provee una conducta semejante al del hormigón armado con acero.

En la figura 3.3. se puede ver el perfeccionamiento del análisis de la distribución de tensiones en el hormigón según varias teorías.

El desarrollo de los actuales procedimientos de diseño por resistencia tiene su base en estos primeros estudios experimentales y analíticos. La resistencia última del hormigón armado que se utiliza en las especificaciones de diseño del código ACI se basa fundamentalmente en las teorías de 1912 y 1932 las cuales han ido definiendo para llegar a obtener las condiciones finales de esfuerzos y deformaciones.





En base a este estudio se definen varias hipótesis de diseño las cuales han ayudado a encontrar y definir diferentes incógnitas de cada análisis que se han presentado según el caso. En cada una de las hipótesis de diseño se han ido aclarando varios aspectos que se presentan a continuación.

- **Hipótesis de Diseño #1**

Las deformaciones específicas en la armadura y en el hormigón se deben suponer directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro.

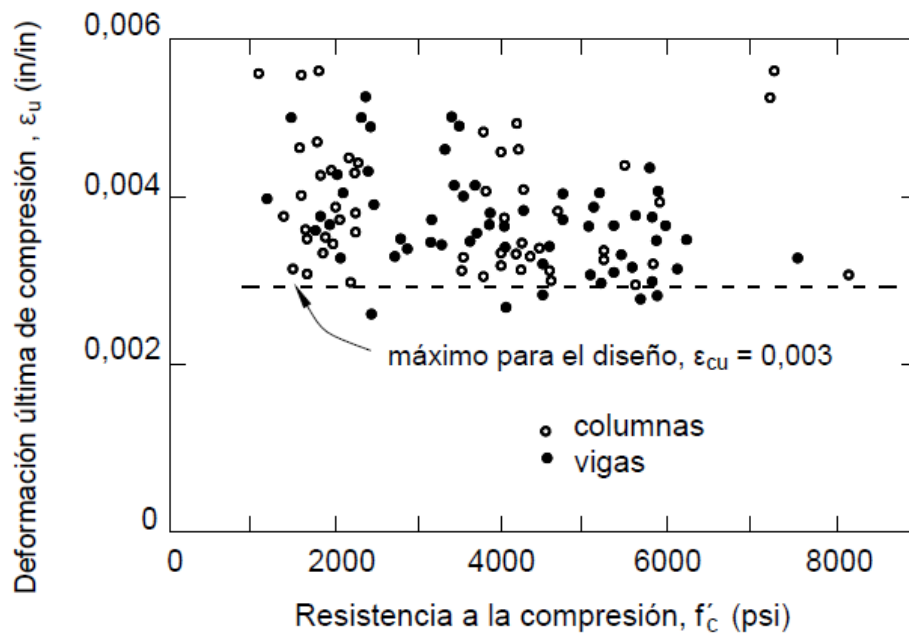
Esta definición nos quiere decir que se asumen las secciones planas normales al eje de flexión permanecen planas luego de la flexión. En numerosos ensayos han confirmado que las deformaciones específicas de una sección transversal de hormigón armado responden a una distribución esencialmente lineal en altura aun cerca de su resistencia última.

- **Hipótesis de Diseño #2**

La máxima deformación utilizable en la fibra comprimida extrema del hormigón se asumirá igual a  $\epsilon_u = 0,003$ .

La máxima deformación específica de compresión del hormigón para el aplastamiento del hormigón se ha medido en numerosos ensayos tanto en elementos de hormigón simple como de hormigón armado. Los resultados de ensayos realizados en una serie de modelos de vigas y columnas de hormigón armado, ilustrados en la figura 3.4, indican que la máxima de formación específica del hormigón varía entre 0,003 y valores de hasta 0,008.

Sin embargo, para los casos prácticos la máxima deformación específica es de 0,003 a 0,004. Aunque la máxima deformación disminuye a medida que aumenta la resistencia a la compresión del hormigón, el valor 0,003 permitido para el diseño es razonablemente conservador.



**Figura 3.4:** Máxima deformación específica de compresión del hormigón,  $\epsilon_u$ , obtenida en ensayos de elementos de hormigón armado (ACI)

- **Hipótesis de Diseño #3**

La tensión en la armadura  $f_s$  por debajo de la tensión de fluencia  $f_y$  se tomará como  $E_s$  por la deformación específica del acero  $\epsilon_s$ . Para deformaciones específicas mayores que  $f_y/E_s$ , la tensión en la armadura se considerará independiente de la deformación e igual a  $f_y$ .

En las armaduras conformadas es razonable suponer que, para tensiones por debajo de la tensión de fluencia, la tensión es proporcional a la deformación específica. Para el

diseño práctico, en los cálculos de resistencia se desprecia el aumento de la resistencia debido al efecto de endurecimiento por deformación de la armadura.

La fuerza desarrollada en la armadura de tracción o de compresión es función de la deformación específica en la armadura  $\epsilon_s$ , y se puede calcular de la siguiente manera:

cuando  $\epsilon_s \leq \epsilon_y$  (deformación de fluencia):  
 $f_s = E_s \epsilon_s$   
 $A_s f_y = A_s E_s \epsilon_s$

cuando  $\epsilon_s \geq \epsilon_y$  :  
 $f_s = E_s \epsilon_y = f_y$   
 $A_s f_y = A_s f_y$

- **Hipótesis de Diseño #4**

En el diseño de los elementos de hormigón armado solicitados a flexión se deberá despreciar la resistencia a la tracción del hormigón.

La resistencia a la tracción del hormigón solicitado a flexión, conocida como módulo de rotura, es una propiedad más variable que la resistencia a la compresión, y su valor es de aproximadamente 8% a 12% de la resistencia a la compresión. El valor de diseño generalmente aceptado para el hormigón de peso normal es  $7,5 (f'c)^{1/2}$ . Esta resistencia a la tracción del hormigón solicitado a flexión se desprecia en el diseño por resistencia. Para los elementos con los porcentajes de armadura habituales, las resistencias calculadas concuerdan con los resultados de ensayo. Para porcentajes de armadura muy pequeños, despreciar la resistencia a la tracción del hormigón resulta una práctica conservadora. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la resistencia del hormigón solicitado a tracción es

importante desde el punto de vista de la fisuración y las flechas (comportamiento en servicio).

- **Hipótesis de Diseño #5**

La relación entre la tensión de compresión en el hormigón y la deformación específica del hormigón se deberá suponer rectangular, trapezoidal, parabólica o de cualquier otra forma que de origen a una predicción de la resistencia que concuerde en forma sustancial con los resultados de ensayos.

Esta hipótesis reconoce la distribución inelástica de las tensiones en el hormigón cuando está sujeto a tensiones elevadas. A medida que se va acercando a la tensión máxima, la relación tensión-deformación del hormigón deja de ser lineal (la tensión ya no es proporcional a la deformación).

En la práctica, la distribución real de las tensiones de compresión en el hormigón es compleja y por lo general desconocida. Sin embargo, investigaciones han demostrado que las propiedades más importantes del hormigón relacionadas con la distribución de las tensiones se pueden aproximar adecuadamente usando una de las diferentes distribuciones de tensiones propuestas como se aprecia en la figura 3.3. Las tres distribuciones de tensiones más comunes son la parabólica, la trapezoidal y la rectangular, y con cualquiera de ellas se obtienen resultados razonables. Para la resistencia última teórica de un elemento solicitado a flexión, la distribución de las tensiones de compresión se debería ajustar en buena medida a la variación real de las tensiones, como se ilustra en la figura 3.5. En esta

figura la tensión máxima se indica como  $k_3f_c$ , la tensión media como  $k_1k_3f_c$ , y la profundidad desde el baricentro de la distribución parabólica aproximada hasta la fibra comprimida extrema como  $k_2c$ , siendo  $c$  la profundidad del eje neutro.

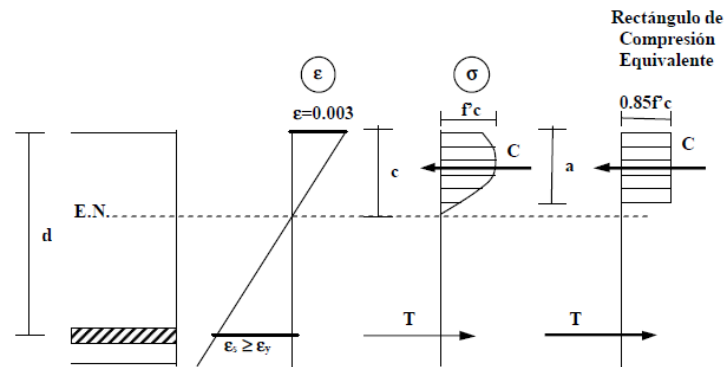
- **Hipótesis de Diseño #6**

Se asumirá una tensión en el hormigón de  $0,85f_c$  uniformemente distribuida en una zona de compresión equivalente limitada por los bordes de la sección transversal y una recta paralela al eje neutro ubicada a una distancia  $a = \beta_1c$  a partir de la fibra con máxima deformación específica de compresión.

La distancia  $c$  entre la fibra con máxima deformación específica de compresión y el eje neutro se deberá medir en dirección perpendicular a dicho eje. El factor  $\beta_1$  se deberá tomar igual a 0,85 para resistencias  $f_c$  de hasta  $210 \text{ kg/cm}^2$  y se deberá disminuir de forma progresiva en 0,05 por cada  $70 \text{ kg/cm}^2$  de resistencia en exceso de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , pero  $\beta_1$  no se deberá tomar menor que 0,65.

### **3.3.3. Análisis de Esfuerzos y Deformaciones Definida por los Códigos de Diseño**

Según la Sexta Hipótesis de Diseño los esfuerzos y deformaciones se define de acuerdo al bloque de compresión de Whitney, en el cual se define un bloque de compresión rectangular cuya área sea equivalente con el centro de gravedad de la curva real y cuyo centro de gravedad coincida aproximadamente con el centro de gravedad de curva real.



**Figura 3.5:** Distribución rectangular equivalente de las tensiones en el hormigón

En donde:

$$a = \beta_1 \cdot c$$

Los valores de  $\beta_1$  se estiman a partir de la siguiente tabla que propone el código del ACI en la sección 10.2.7.1.

**Tabla 3.2:** Valores de  $\beta_1$  para Diferentes Capacidades de Resistencia

$f_c$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\beta_1$
210	0.85
280	0.85
350	0.80
420	0.75
490	0.70
$\geq 560$	0.65

Los diferentes ensayos han demostrado que el modelo de Whitney es conservador en cuanto al cálculo de los valores de los esfuerzos de compresión lo que induce a que la posición del eje neutro este desplazado en una pequeña diferencia a los que nos da el cálculo, siendo este punto muy beneficioso desde el punto de vista de la seguridad ya que al ser conservador el método nos brinda una mayor ductilidad a la estructura.

De acuerdo a esto se deduce las ecuaciones que nos ayudan a encontrar la distancia del eje neutro y sus respectivas incógnitas.

Donde:

Momento que se obtiene a partir del diagrama de figura 3.5.

$$M_n = T \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

Afectando por el factor de reducción para flexión, el momento último se calcula con:

$$M_u = \phi \cdot M_n$$

De donde:

$$M_u = \phi \cdot T \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

Si el acero se encuentra en fluencia, la fuerza de tracción T sería:

$$T = A_s \cdot F_y$$

Reemplazando en la ecuación anterior tenemos:

$$M_u = \phi \cdot A_s \cdot F_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

En el caso de conocer la altura del bloque de compresión “a”, se puede determinar la magnitud de la sección de acero de tracción “As”.

$$A_s = \frac{M_u}{\phi \cdot F_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right)}; \quad \text{Ecu.3.1.}$$



Por equilibrio de fuerzas horizontales la fuerza de compresión  $C_c$  debe ser igual a la fuerza de tracción  $T$ .

$$C_c = T$$

En donde la fuerza de compresión es igual a:

$$C_c = 0.85 f'_c \cdot a \cdot b$$

De donde:

$$0.85 f'_c \cdot a \cdot b = A_s \cdot F_y$$

Despejamos “a” tenemos:

$$a = \frac{A_s \cdot F_y}{0.85 f'_c \cdot b}; \quad \text{Ecu.3.2.}$$

Donde:

$M_n$  = Momento Nominal

$M_u$  = Momento Ultimo

$\phi$  = Factor de Reducción de Flexión 0.90

$T$  = Fuerza de Tensión

$C_c$  = Fuerza de Compresión

$a$  = Altura de bloque de Compresión

$d$  = Distancia al Eje Neutro de la Armadura

$A_s$  = Sección del Acero

$F_y$  = Limite de Fluencia del Material

$f'_c$  = Resistencia del Hormigón a la Compresión

Podemos observar la ecuación 3.1 y la ecuación 3.2 tienen interdependencia entre la sección de acero requerida para absorber un momento flector último y la altura del bloque de compresión.

De acuerdo a este análisis podemos deducir que el modelo que propone la investigación del Dr. Whitney es aplicable a nuestra aplicación con caña de guadua debiendo

considerarse como única observación la adherencia, ya que la deformación de la caña sometida a tracción es semejante a la del acero.

### 3.3.4. Obtención de la Ecuación de la Sección Transversal en Vigas Rectangulares

Para obtener la ecuación de la sección transversal nos basamos en la deducción de la teoría del Dr. Whitney y su diagrama. Se parte de las dos ecuaciones que tiene correlación como son la ecuación del “As” y la ecuación de “a”.

$$As = \frac{Mu}{\phi \cdot Fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)}; \quad \text{Ecu. 3. 1.}$$

$$a = \frac{As \cdot Fy}{0.85f'c \cdot b}; \quad \text{Ecu. 3. 2.}$$

Reemplazando a en As tenemos:

$$As = \frac{Mu}{\phi \cdot Fy \cdot \left(d - \frac{\frac{As \cdot Fy}{0.85f'c \cdot b}}{2}\right)}$$

Multiplicando medios con medios y extremos con extremos la cantidad dentro del paréntesis tenemos:

$$As = \frac{Mu}{\phi \cdot Fy \cdot \left(d - \frac{As \cdot Fy}{1.7f'c \cdot b}\right)}$$

Obteniendo denominador común y simplificando:

$$As = \frac{Mu}{\phi \cdot Fy \cdot \left(\frac{1.7f'c \cdot b \cdot d - As \cdot Fy}{1.7f'c \cdot b}\right)}$$

$$As = \frac{1.70f'c \cdot b \cdot Mu}{\phi \cdot Fy \cdot (1.7f'c \cdot b \cdot d - As \cdot Fy)}$$

$$\text{As. Fy. } (1.70f'c. b. d - \text{As. Fy}) = \frac{1.70f'c. b. \text{Mu}}{\emptyset}$$

Destruyendo paréntesis:

$$1.70f'c. b. d. (\text{As. Fy}) - (\text{As. Fy})^2 = \frac{1.70f'c. b. \text{Mu}}{\emptyset}$$

$$(\text{As. Fy})^2 + 1.70f'c. b. d. (\text{As. Fy}) + \frac{1.70f'c. b. \text{Mu}}{\emptyset} = 0$$

Como podemos observar se llega a una ecuación de segundo grado en la que (As.Fy) es la incógnita y que se la puede resolver de la forma  $x^2 + bx + c = 0$

También se puede resolver con la formula general:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Siendo “a” igual a uno en la formula general y simplificando tenemos:

$$x = -\frac{b}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - c}$$

$$\text{As. Fy} = (0.85f'c. b. d) \pm \sqrt{(0.85f'c. b. d)^2 - \frac{1.70f'c. b. \text{Mu}}{\emptyset}}$$

Se puede reorganizar la fracción dentro del radical con la finalidad de factorar la expresión interna.

$$\text{As. Fy} = (0.85f'c. b. d) \pm \sqrt{(0.85f'c. b. d)^2 - (0.85f'c. b. d)^2 \frac{2\text{Mu}}{0.85\emptyset f'c. b. d^2}}$$

$$\text{As. Fy} = (0.85f'c. b. d) \pm \sqrt{(0.85f'c. b. d)^2 - (0.85f'c. b. d)^2 \frac{2\text{Mu}}{0.85\emptyset f'c. b. d^2}}$$

$$As \cdot Fy = (0.85f'c \cdot b \cdot d) \pm \sqrt{(0.85f'c \cdot b \cdot d)^2 \left(1 - \frac{2Mu}{0.85\phi f'c \cdot b \cdot d^2}\right)}$$

$$As \cdot Fy = (0.85f'c \cdot b \cdot d) \pm (0.85f'c \cdot b \cdot d) \sqrt{1 - \frac{2Mu}{0.85\phi f'c \cdot b \cdot d^2}}$$

Factorando:

$$As \cdot Fy = (0.85f'c \cdot b \cdot d) \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{2Mu}{0.85\phi f'c \cdot b \cdot d^2}}\right]$$

Como se presenta la ecuación se puede reducir dando una constante de simplificación:  
 **$k = 0.85f'c \cdot b \cdot d$  Ecu. 3.3.**

La ecuación con el reemplazo de la constante no quedaría de la siguiente manera:

$$As \cdot Fy = k \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{2Mu}{\phi \cdot k \cdot d}}\right]$$

Dejando en un solo lado a "As" tenemos:

$$As = \frac{k}{Fy} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{2Mu}{\phi \cdot k \cdot d}}\right]$$

Matemáticamente se puede obtener dos soluciones una con el signo positivo y otra con el signo negativo, pero físicamente solo existe una solución que corresponde al signo negativo ya que la solución con el signo positivo es irreal ya que su bloque compresión es extremadamente grande y su brazo de palanca es muy pequeño.

A continuación se presenta la ecuación real que corresponde al signo negativo.

$$As = \frac{k}{Fy} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Mu}{\phi \cdot k \cdot d}}\right] \quad \text{Ecu. 3.4.}$$

De acuerdo a este análisis se puede decir que la ecuación 3.4 es adaptable a nuestras condiciones, tomando en cuenta a la hora de diseñar la sección de caña guadua la distancia del centroide del paquete de refuerzo ya que no es uniforme la sección como en el acero.

### **3.3.5. Adherencia del Hormigón en el Acero y la Caña Guadua Angustifolia**

#### **3.3.5.1. Adherencia en el Hormigón Armado Consideraciones Iniciales**

El hormigón armado ha sido durante mucho tiempo el material estructural más empleado en edificaciones en el Ecuador desde la segunda mitad del siglo XX. En los últimos años se han producido grandes avances en los principios básicos de diseño en los materiales empleados, hormigón y acero, sin embargo, las bases fundamentales sobre las que se formula la transferencia de tensiones entre estos materiales han sufrido pocas variaciones.

En el hormigón armado se admite la acción conjunta del acero y del hormigón y gracias al fenómeno de la adherencia se desarrolla la colaboración entre estos dos materiales. Si no existiese, la armadura deslizaría sin encontrar resistencia ante cualquier esfuerzo de tracción. Además representa un papel fundamental en el anclaje y solape de barras. La adherencia afecta a varios aspectos del comportamiento estructural, no sólo para estados límites últimos, sino también en situaciones de servicio, en aspectos relacionados por ejemplo con la fisuración y la deformación.

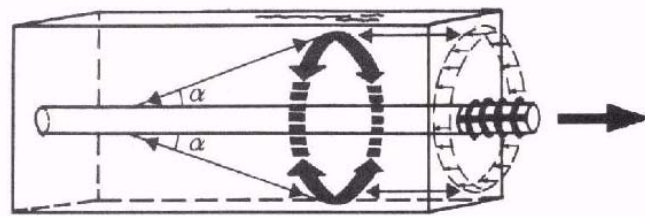
El principal síntoma de una deficiente transferencia de tensiones hormigón – acero en una estructura es la aparición de fisuras paralelas a la dirección de la armadura. Al fallo

asociado a este fenómeno se le conoce con el nombre de splitting. Es un tipo de rotura frágil muy peligroso, en el que se fisura el recubrimiento y la armadura puede deslizarse si no tiene otro tipo de anclaje dentro de la pieza de hormigón. Además el control de la fisuración es de gran importancia para garantizar la protección de las armaduras frente a agentes agresivos, ambientes marinos, humedad, etc. que pueden acelerar el proceso de deterioro. Sin embargo, a pesar de la importancia que sobre el comportamiento de estructuras de hormigón armado tiene la reducción o pérdida parcial de la adherencia entre el hormigón y el acero, no se han encontrado muchos trabajos experimentales que evalúen estructuras cuando dicho deterioro está cuantificado y localizado, independientemente de cual haya sido su origen.

La adherencia ha sido considerada de interés desde hace más de un siglo debido al papel tan importante que desempeña en estructuras de hormigón armado. En un principio se suponía que la adherencia entre el acero y el hormigón era una interacción perfecta sin que existiese deslizamiento relativo entre estos dos materiales. Es el investigador Morsch (1908) quien distingue dos tipos de fallos de adherencia, pull – out y splitting. Abramsin (1913) señala que la tensión de adherencia es función del desplazamiento relativo de la barra respecto al hormigón que la rodea.

Han sido numerosas las contribuciones de investigadores para describir el mecanismo de adherencia en el hormigón armado. Entre todas destaca la de Tepfers (1973) quien afirma que la transferencia de tensiones desde la barra embebida al hormigón se produce mediante unas fuerzas inclinadas de compresión según un ángulo  $\alpha$ . Equilibrando a la componente radial de esta fuerza aparece un anillo de tracciones que provoca fisuras

internas (Figura 3.6.). Según las condiciones de confinamiento de la barra, el fallo se puede producir por splitting, fisuración del recubrimiento, o por pull – out, deslizamiento de la barra. Según Cairns (1995) el fallo por splitting se origina cuando el recubrimiento es menor que tres veces el diámetro de la barra, ya que al aumentar la carga las fisuras se propagan radialmente y un mayor recubrimiento retrasan la aparición de fisuras en la superficie.



**Figura 3.6:** Formación de anillo de tracción en el hormigón equilibrando las fuerzas de adherencia, (Tepfers 1973).

#### 3.3.5.1.1. Mecanismos de adherencia entre el hormigón y el acero

Existen varios mecanismos resistentes en los que se basa la adherencia: a) adhesión química, b) rozamiento y, c) interacción mecánica. En barras lisas la adherencia se debe principalmente a la adhesión química y al rozamiento y, en el caso de barras corrugadas éstos son despreciables y la adherencia se logra sobre todo mediante la interacción mecánica entre el hormigón y las corrugas.

- **Adhesión Química**

En esta primera fase la tensión de adherencia se debe a la interconexión físico – química de partículas de la pasta de cemento con la rugosidad de la superficie de contacto de la armadura (tramo A de la figura 3.7.). La gráfica es lineal y los pequeños deslizamientos que se registran son debidos a la deformación del hormigón. Corresponde a tensiones de adherencia bajas, según el fib Bond Models (2000), entre  $0,2f_c$  y  $0,8f_c$ , siendo  $f_c$  la resistencia del hormigón a tracción.

- **Rozamiento**

Al ir aumentando la carga aplicada en la barra “N”, lo hace la tensión de adherencia, la adhesión química entre los dos materiales se anula y, comienza un mecanismo de adherencia por rozamiento que depende principalmente de las características e irregularidades de la barra.

En el caso de barras corrugadas las corrugas inducen tensiones en el hormigón situado en la parte superior de éstas apareciendo fisuras transversales internas en el mismo, (fisuras secundarias según Goto 1971, y permiten cierto deslizamiento de la barra. Estas primeras fisuras transversales internas justifican el cambio de pendiente del diagrama en esta fase (B) y los deslizamientos que se producen, (ver Figura 3.7). Corresponde según fib Bond Models (2000) a una tensión de adherencia comprendida entre  $0,8f_c$  y  $1,0f_c$ .

Esta tensión de adherencia, en la que aparece la fisuración transversal, depende de numerosos factores entre los que destacan: la resistencia a tracción del hormigón, la posición y la dirección de la sollicitación y el recubrimiento. A esta etapa corresponde



pequeños valores de tensión, lo que implica que ya para estados iniciales de carga se produce una fisuración interna en el hormigón armado. Si no existiera confinamiento en el elemento, el fallo se producirá cuando estas fisuras transversales internas alcancen la superficie.

- **Interacción Mecánica**

Al aumentar la carga se modifica el comportamiento del elemento de hormigón y aumenta considerablemente el deslizamiento de la barra debido a la fisuración interna por lo que en esta fase intervienen de una forma muy activa el confinamiento, el recubrimiento, la armadura transversal, etc. Esta fase corresponde a una tensión de adherencia comprendida entre  $1f_c$  y  $3f_c$ .

- **Fallo**

Esta etapa culmina con el fallo de adherencia. Si el hormigón está bien confinado la carga actuante puede aumentar hasta alcanzar la tensión máxima de adherencia. Los fallos según el tipo de barra y condiciones de confinamiento pueden ser:

- **Splitting**

Consiste en la aparición de fisuras longitudinales en el recubrimiento según la dirección de la armadura. Se produce cuando las tensiones de tracción generadas por la adherencia superan la resistencia a tracción del hormigón y no existe confinamiento adicional al

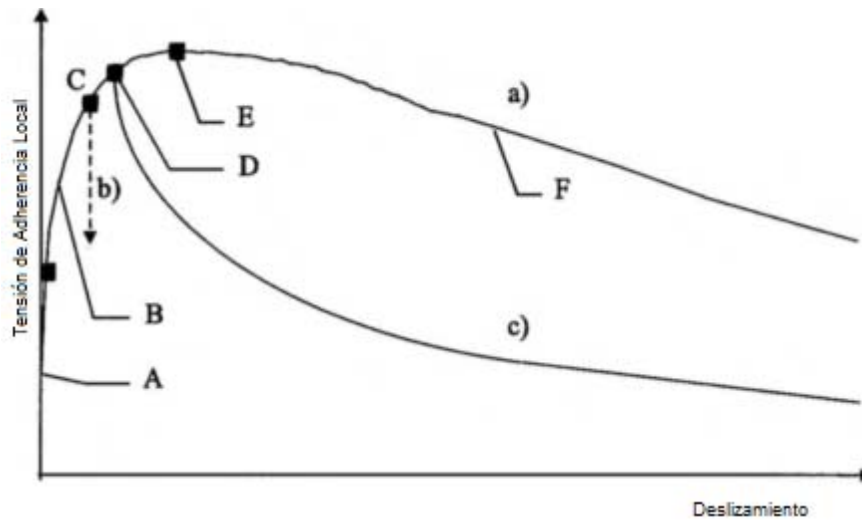
proporcionado por el recubrimiento. Debido a que la dirección de estas fisuras coincide con la del refuerzo, exponen a la armadura en toda su longitud y resultan peligrosas sobre todo desde el punto de vista de la durabilidad de la estructura.

Este tipo de fallo de adherencia es el más común en estructuras de hormigón armado con barras corrugadas, debido a los escasos recubrimientos y a las cuantías de armadura transversal normalmente utilizadas en nuestras estructuras.

#### - **Pull – Out**

Consiste en el deslizamiento de la armadura dentro del elemento de hormigón. Se pueden distinguir dos tipos: Deslizamiento de la barra, generalmente se produce en barras lisas y, arrancamiento según una superficie envolvente de las corrugas, si las condiciones de confinamiento son elevadas, o queda garantizada la adherencia entre el hormigón y el acero. En estructuras reales este tipo de fallo se produce en raras ocasiones.

Mientras que la rama ascendente del diagrama de adherencia ha sido ampliamente analizada, no ocurre lo mismo para la rama descendente debido principalmente a la gran cantidad de factores que influyen en ella.



**Figura 3.7:** Relación Tensión de Adherencia Local vs Deslizamiento Esquemática:  
Curva a) situación bien confinada, Curva b) sin confinamiento y fallo por splitting  
y, Curva c) situación confinada, splitting al que sigue un fallo por pull – out.

### 3.3.5.1.2. Influencia de la Adherencia en el Comportamiento Estructural

La acción conjunta del hormigón y de la armadura se ve comprometida al deteriorarse los mecanismos que garantizan la adherencia. En este caso las deformaciones de estos dos materiales no serían iguales y no resultaría válida la hipótesis de deformación plana de Bernoulli. Además, en elementos solicitados a flexión con cierto deterioro de la adherencia en las zonas traccionadas, incluso podría alterarse el comportamiento de la viga, pasando de trabajar como un elemento flejado, donde la parte central se encuentra solicitada a tensiones elevadas, a comportarse como un arco atirantado donde las tensiones se concentran en la zona del anclaje.

La adherencia es un factor a considerar en la capacidad última de carga de una estructura. Además juega un papel importante en la deformación bajo carga de servicio y en la fisuración, principalmente en el ancho de fisura y separación entre ellas, aunque en estructuras bien calculadas no es probable que aparezcan fisuras de adherencia significativas bajo cargas de servicio. Aunque ciertas fisuras originadas por otras causas, como las de retracción plástica, pueden alinearse en la dirección de la armadura y desencadenar un fallo local de adherencia.

#### **3.3.5.1.3. Adherencia del Hormigón-Caña Guadua Angustifolia Kunth**

Una de las principales aplicaciones de la caña guadua en combinación con otros materiales de construcción la constituye su empleo como refuerzo del hormigón. Los primeros experimentos en este campo fueron realizados en 1914 por H. Chou en el Massachusetts Institute of Technology, (USA), y posteriormente aplicados en China (1918), entre otros propósitos en la cimentación de puentes de ferrocarril.

Se han realizado investigaciones en países tales como China, India, Japón, Filipinas, México, Guatemala, EE.UU y Colombia y aún en países sin mucha cultura y conocimiento respecto a la familia de los bambús como Alemania, Holanda, Italia y Egipto. Las investigaciones y trabajos experimentales ponen de manifiesto que el refuerzo de la caña de guadua en el hormigón incrementa la carga límite de rotura del elemento de forma considerable, en comparación con lo previsible a ese mismo elemento sin reforzar. No obstante, existen varias limitaciones prácticas en el empleo de la caña como refuerzo del hormigón. La más importante es la dificultad de adherencia producida por las variaciones

en los contenidos de humedad de cada material por tanto, gran parte de las investigaciones han sido enfocadas en esa dirección.

Los datos experimentales y comentarios que comentamos a continuación se basan en el trabajo que durante el anterior siglo han desarrollado investigadores tales como H. Glenn (1944), Pama et al (1976), e Hidalgo (1980).

Los elementos de hormigón que trabajan a flexión, al estar armados con caña guadua muestran resquebrajamiento que exceden considerablemente los previstos con un elemento no reforzado de las mismas dimensiones. El refuerzo con caña guadua aumenta la capacidad de carga en 4 ó 5 veces, con un porcentaje óptimo de refuerzo del 3 al 4% de la sección transversal. Por encima de este valor óptimo de refuerzo no hay aumento en la capacidad de carga. **Al utilizar culmos enteros con un diámetro hasta de 4.0 cm., se observa que con piezas integrantes de fijación transversal no hay deslizamiento de la caña y la curva de flexión de carga conserva su forma lineal hasta la rotura.** También se reduce la flexión total. El bambú o caña guadua partido desarrolla una mayor capacidad de carga que los culmos enteros. La carga máxima que soporta un elemento de hormigón reforzado con guadua depende de las propiedades mecánicas y sobre todo de la resistencia a la tracción de la caña guadua, de la resistencia a la compresión del hormigón y, lo más importante, de la cohesión entre el hormigón y el refuerzo longitudinal de la caña guadua. Una desventaja importante de la guadua como refuerzo es su elasticidad, y además la tendencia, si está ya seco, a absorber una gran cantidad del agua contenida en el hormigón húmedo, lo que tiene como consecuencia la dilatación inicial y la contracción posterior a medida que se seca el hormigón. Este fenómeno provoca la formación de grietas

longitudinales en el hormigón, reduciendo la capacidad de carga de los elementos y la adherencia entre el hormigón y el refuerzo. El resquebrajamiento es mayor cuando es elevado el porcentaje de refuerzo del bambú. La caña guadua verde utilizada como refuerzo también se contrae al secarse el hormigón y la resistencia de adherencia es escasa.

En referencia a esto Oscar Hidalgo en su investigación realizada en cables y latillas menciona que la cantidad de agua absorbida en el diámetro de un bambú si se expone al agua por 24 horas este se incrementa en un 2.50%, el espesor de una latilla incrementa en un 8%, en cambio en latillas solo con parte exterior en un 3.5% de su espesor y es posible que sea menor en los cables de latilla ya que la presión que se hace entre las latillas de los cables es mayor que en paquetes de caña guadua.

La mayoría de las soluciones estudiadas coinciden en que el bambú o caña de guadua debe recubrirse con una sustancia impermeabilizante. Glenn, (1944) recomienda recubrir las tablillas de refuerzo con una capa delgada de emulsión asfáltica. Un efecto contrario se puede producir si se aplica demasiada emulsión debido a que el refuerzo queda lubricado y por lo tanto pierde totalmente la adherencia. Se propone también el uso de medios culmos (corte longitudinal) como refuerzo principal, secados previamente (20% humedad), e impregnados con un adhesivo (resina poliestérica o epóxica) en los extremos y en una longitud de 25cm., la parte restante con aceite de linaza y trementina (proporciones 1:1 durante 4 días). Pama (1976) recomienda tratamiento por inmersión del refuerzo en una solución al 2% de cloruro de cinc, o recubrimiento con un adhesivo de neopreno sobre lo cual se rocía la arena gruesa para lograr mayor adherencia. Fang et al (1976), propone un tratamiento de azufre-arena como recubrimiento, consistente en perforar parcialmente los

tabiques de los nudos, y remover la capa externa brillante con un chorro de arena a presión, después de lo cual se envuelve con alambre para frenar el aumento de volumen y finalmente se sumerge en azufre derretido a 50°C.



a.- Refuerzo de Bambú con media caña a modo de conector

b.- Refuerzo de Bambú con caña completa a modo de conector



c.- Losa de Hormigón Reforzado con Bambú tras ser Fraguada

**Figura 3.8:** Sistema de Losas Reforzadas con Bambú y Encofrado Perdido (Pontificia Universidad Católica PUC, Río de Janeiro, Brasil)

De todos los métodos explicados para ganar adherencia, existen muchos riesgos sobre todo en los que se utiliza epóxidos o impermeabilizantes, se debe tener mucho cuidado en los porcentajes de humedad ya que si se logra impermeabilizar totalmente pueden quedar residuos de agua lo que llevaría a la pudrición y descomposición de la caña guadua en especial en cañas verdes por su alto contenido de humedad. Además entraríamos en una

gran desventaja ya que resultaría muy costosa la aplicación de estos métodos causando un incremento de material impermeabilizante y mano de obra calificada.

En la utilización de cables de caña guadua se logra compensar la falta de adherencia, que su forma helicoidal proporciona una beneficiosa adherencia química y mecánica que ayudan al trabajo uniforme de hormigón con la caña guadua. En el caso de formar paquetes con latillas de caña guadua, no trabajan de forma igual a la de los cables, razón por la cual su adherencia debe ser trabajada de forma diferente en la cual se recomienda realizar métodos en los que no existan epóxidos ni ningún tipo de material que logre la impermeabilización de la guadua.

En los ensayos de adherencia realizados por Oscar Hidalgo se obtuvo un esfuerzo de adherencia máxima en latillas de caña guadua de  $5.10 \text{ Kg/cm}^2$  y con cables obtuvo un esfuerzo de adherencia máximo de  $18.22 \text{ Kg/cm}^2$  y un mínimo de  $6.45 \text{ Kg/cm}^2$ . En el caso de la utilización de la caña guadua en cables se alcanza una mejor adherencia con el hormigón, pero su costo de mano de obra se encarece por su mayor tiempo de inversión en la elaboración de cada cable y en ciertos casos su puede necesitar de maquinas especiales para su elaboración, a diferencia de los paquetes de caña guadua, su tiempo de elaboración es mucho menor por su proceso que simplifica y disminuye la mano de obra, además de no necesitar maquinas especiales como lo sería en el caso de los cables de caña guadua.

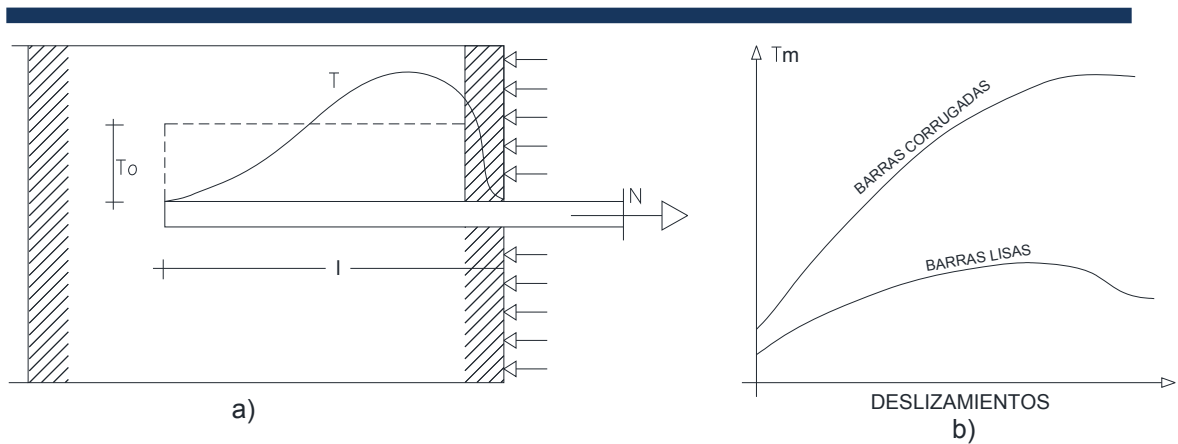
Haciendo una relación muy semejante para la obtención de la adherencia nos basamos en la adherencia de las barras lisas que por su superficie lisa se asemeja a la caña guadua en las que solo se producen dos tipos de unión la adherencia química y rozamiento lo que



hace que no llegue a trabajar en las últimas etapas de interacción mecánica y fallo. Esto ocurre debido a que la superficie de la caña no logra crear una adherencia eficaz como lo hace la varilla de acero corrugado, lo cual nos lleva seguir investigando nuevos sistemas de adherencia que garanticen la adhesión mecánica de la caña.

En décadas anteriores existía la aplicación abundante y única de las varillas lisas, las cuales tenían como límite de fluencia alrededor de  $2500 \text{ Kg/cm}^2$  lo que hacía que la sección de acero sea mucho mayor de la que hoy en día se utiliza, debido al aumento de la resistencia del acero que oscila entre los  $4200 \text{ Kg/cm}^2$ . Esta alta cantidad de acero nos garantizaba que el hormigón trabaje en conjunto teniendo una deformación uniforme.

Basado en este análisis en la caña guadua para que su resistencia pueda llegar al límite sin perder la adherencia necesita una mayor sección y un sistema de anclaje que responda a los esfuerzos producidos por las cargas propias y externas. Un sistema económico y de buenos resultados es el que se consigue con la utilización de clavos, los cuales al atravesar la caña guadua produce un anclaje mayor que lleva a la influencia mecánica y provocan la adherencia hasta su resistencia límite, siendo su única observación la perforación previa realizando un agujero y no la aplicación del clavo en forma directa debido a que en las latillas pequeñas se puede causar la rajadura de la caña en forma longitudinal. En la figura 3.9(b) se ve como las tensiones en la varilla lisa son menores que en las corrugadas siendo las deformaciones aproximadamente iguales, esto quiere decir que para llegar a su capacidad máxima necesita aumentar su sección.



**Figura 3.9:** Ensayo de arrancamiento (pull out test)

Sea una barra de acero de diámetro  $\phi$  embebida en un bloque de hormigón. Si la sometemos a un esfuerzo de tracción  $N$  creciente, para cada valor de  $N$  habrá una distribución de las tensiones  $\tau$  de adherencia como la indicada en la figura 3.9(a), cuyo valor medio  $\tau_m$  valdrá:

$$\tau_m = \frac{N}{\pi \cdot \phi \cdot L} \quad \text{Ecu. 3. 5.}$$

**Donde:**

$\tau_m$  = Tensión media de Adherencia

$N$  = Esfuerzo de Tracción

$L$  = Longitud de adherencia

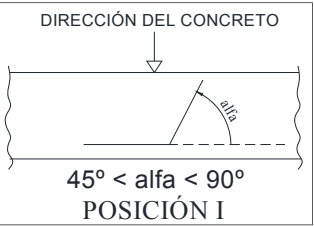
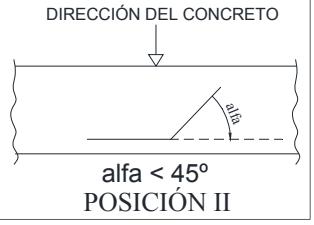
$\pi$  = Constante ( $\pi$ )

$\phi$  = Diámetro de la varilla

En lo sucesivo, denominamos por  $f_b$ , al valor límite de la tensión de adherencia, refiriéndonos con ello al valor medio  $\tau_m$  en las condiciones límites, y por  $f_{bd}$  correspondiente valor de cálculo.

El valor límite de la tensión de adherencia,  $f_b$  varía con la resistencia a compresión del hormigón, con las características adherentes de las barras y con la posición que ocupan en la pieza respecto a la dirección de hormigonado; también depende, según algunos autores, del diámetro de las barras. El Eurocódigo 2 recomienda, como valores de cálculo de la tensión límite de adherencia,  $f_{bd}$ , los indicados en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3:** Valores de Cálculo de la Tensión de Adherencia  $f_{bd}$  Según el EUROCÓDIGO 2

Posición de las Barras		Barras Lisas	Barras Corrugadas
Anclaje de barras en posición I (EUROCÓDIGO 2) 	$f_{bd}$ y $f_c$ en $N/mm^2$	$0.24\sqrt{f'c}$	$0.32\sqrt[3]{f'^2c}$
	$f_{bd}$ y $f_c$ en $kg/cm^2$	$0.77\sqrt{f'c}$	$0.69\sqrt[3]{f'^2c}$
Anclaje de barras en posición II (EUROCÓDIGO 2) 	$f_{bd}$ y $f_c$ en $N/mm^2$	$0.17\sqrt{f'c}$	$0.22\sqrt[3]{f'^2c}$
	$f_{bd}$ y $f_c$ en $kg/cm^2$	$0.54\sqrt{f'c}$	$0.48\sqrt[3]{f'^2c}$

En el cuadro anterior observamos que la tensión de adherencia para barras lisas es muy semejante al valor obtenido por Oscar Hidalgo en su investigación parámetros que nos sirven para validar nuestro método de cálculo con caña de guadua utilizando latillas.

Aplicando la ecuación 3.5 y acondicionando para nuestro los parámetros de cálculo como el diámetro, la constante  $\pi$  (pi) tenemos la siguiente ecuación:

$$\tau_c = \frac{N}{P \cdot La}; \quad \text{Ecu. 3. 6.}$$

Donde:

$\tau_c$  = Tensión media de Adherencia

N = Fuerza de Tracción; siendo

$N = F_y * A_c$

$F_y$  = Esfuerzo de Máximo de Fluencia de la Guadua

$A_c$  = Área o sección de la Latilla de Caña

$La$  = Longitud de Anclaje de la Caña

$P$  = Perímetro de la latilla; donde:

$P = b * a$

$b$  = Base de la sección transversal de la Latilla

$a$  = Altura de la sección transversal de la Latilla

De acuerdo a este análisis se puede concluir que al igual que las varillas lisas, la caña de guadua puede trabajar conjuntamente con el hormigón siempre y cuando esta adherencia sea reforzada por medio de algún método conocido, según la investigación realizada en la tesis “ADHERENCIA DEL HORMIGON A LAS MADERAS” realizada por los ingenieros José Arias, Hugo Jácome, Lincon Paredes en la Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Civil 1993, en la cual se describen los diversos métodos de adherencia probados con madera entre ellas la caña guadua, se resume que el método con mayor adherencia es el que se logra anclar con clavos, los cuales se recomienda colocar mínimo a una distancia de cada 10 cm ya que si se lo hace en intervalos más cortos puede causar la rajadura de la caña causando la pérdida de adherencia en con el hormigón.

Los valores obtenidos de los esfuerzos de tensión a la adherencia en este ensayo nos dan promedio de  $8.43 \text{ Kg/cm}^2$  valores muy semejantes a los que se obtuvieron en las pruebas de Oscar Hidalgo.

## **CAPITULO IV: ENSAYOS DE LABORATORIO**

### **4.1.INTRODUCCIÓN**

Una vez realizado el análisis que se describe en el capítulo anterior denominado “INVESTIGACIÓN DE LOSAS CON CAÑA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH”, se procede a la aplicación física de un modelo en el cual se llegue a simular el comportamiento de la caña guadua con el hormigón, en la cual se utilizan probetas de ensayo de acuerdo a la norma ASTM para diseño de cilindros y vigas de hormigón. Para la elaboración y ensayo de las pruebas de Laboratorio se utilizaran las instalaciones del **Laboratorio “ASHOSUE CIA. LTDA.”** ubicado en la ciudad de Santo Domingo y cuyo representante legal es el Ing. Civil Cesar Loor Cedeño.

### **4.2.DISEÑO DEL HORMIGÓN (Practica Recomendada para la Dosificar Hormigón Normal por el A.C.I. 211.1)**

En un diseño de hormigones las proporciones deben seleccionarse de tal manera que la utilización de los materiales sea la más correcta, económica y eficiente posible. Las relaciones básicas entre los componentes han sido previamente establecidas de numerosas experiencias, pero no son sino una guía para acercarse a la dosificación óptima, esta

mezcla solo se puede obtener de acuerdo a las condiciones de los materiales en la obra y después de haber realizado las correcciones respectivas en la mezcla de prueba.

El hormigón se compone básicamente de agua, cemento, y granulados. En ciertas ocasiones se añade un aditivo o aditivos para darle a la mezcla características especiales como plasticidad, aceleración o retardante del fraguado, impermeabilidad, etc.,

Cuando la naturaleza de los granulados, del tipo de cemento y la cantidad de aditivo si fuera el caso, permanecen iguales, la cantidad de cemento, la graduación y tamaño máximo de los granulados y la consistencia del hormigón fresco pueden variar en una amplia gama sin afectar la resistencia del hormigón endurecido a condición de que la calidad de la pasta, que depende de la relación agua/cemento, permanezca constante.

Por el contrario, si las fuentes de abastecimiento de los granulados varían o se utilizan cementos de diversas procedencias, las cualidades de la mezcla fresca y la resistencia del hormigón pueden variar considerablemente. Aun cuando la relación agua/cemento sea la misma. Por esta razón siempre es necesario fabricar mezclas de prueba en donde se pueda verificar el cumplimiento de las condiciones impuestas y realizar las correcciones.

Para determinar la dosificación de un hormigón de  $210 \text{ Kg/cm}^2$  procedemos a realizar los diferentes ensayos de laboratorio, los cuales nos permiten determinar las características de los agregados finos y gruesos, así como también las propiedades físicas de los materiales a utilizar definiendo así el diseño final del hormigón.

## **4.2.1. Gravedad Especifica-Densidad Relativa y Absorción de Agregado Grueso**

### **ASTM C127**

#### **4.2.1.1. Alcance**

Este método permite desarrollar los ensayos de densidad media o gravedad específica, este ensayo no se usa en agregados de peso ligero y la muestra debe ser sumergida en el agua por el lapso de 24 horas +/- 4 horas, para lograr la saturación de los poros del agregado grueso.

#### **4.2.1.2. Objetivo**

Determinar la densidad media de una cantidad de partículas de agregado grueso, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso. Dependiendo del procedimiento usado, la densidad  $\text{Kg/m}^3$  se expresa como seca al horno, saturada superficialmente seca o como densidad aparente, igualmente la densidad relativa o gravedad específica.

#### **4.2.1.3. Aparatos**

- **Balanza.-** Con una sensibilidad de 0.05% de la masa de la muestra en cualquier punto de su rango de uso o 0.5 gr, el que sea mayor.





**Figura 4.1:** Balanza

- **Canastilla de Suspensión.-** Formada por una malla de alambre de 3.35mm (No. 6) o una malla más fina o una cubeta de aproximadamente igual anchura y altura, con una capacidad de 4 a 7 litros para 37.5mm (1.5 pulg.) de tamaño máximo del agregado o menor, y un contenedor grande para agregados de tamaño máximo mayor.
- **Depósito de Agua.-** Hermético dentro del cual es colocada la canastilla con la muestra mientras es suspendida bajo la balanza.
- **Tamices.-** De 4.75mm (No 4) u otros que sean necesarios.



**Figura 4.2:** Tamices

- **Horno.-** Tamaño apropiado capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 +/- 5°C.

#### 4.2.1.4. Muestra

La muestra del agregado se la obtiene de acuerdo con la Norma ASTM D75. Mezclar la muestra de agregado y reducir a una cantidad necesaria aplicando la Norma ASTM C702. Rechazar todo el material pasante del tamiz 4.75mm (No 4), cribando en seco, lavando y removiendo el polvo u otros recubrimientos de la superficie. Si el agregado grueso contiene una cantidad sustancial de material más fino que el tamiz 4.75mm use el tamiz 2.36mm en lugar del tamiz 4.75mm.



**Figura 4.3:** Obtención de la Muestra en Planta; Preparación de la muestra a Ensayar

#### 4.2.1.5. Procedimiento

- Secar la muestra de prueba hasta masa constante a una temperatura de 110°C.
- Enfriar en un cuarto ventilado por un lapso de 1 a 3 horas para muestras de ensayo de tamaño máximo nominal de 37.5mm (1.5 pulg.) o más grandes a una temperatura confortable para manejar el agregado aproximadamente 50°C. En nuestro caso el tamaño máximo del agregado grueso será de 25mm (1.0 pulg.)
- Seguidamente sumerja el agregado en agua a temperatura ambiente por un lapso de 24 +/- 4 horas.
- Cuando los valores de absorción y densidad relativa serán usados para el proporcionamiento de mezclas de concreto para cualquier agregado se expresaran en función de su condición de humedad natural. El secado inicial es opcional, y si la superficie de las partículas conserva su humedad superficial hasta el momento de la prueba la inmersión en agua también es optativa.
- Retirar la muestra de ensayo del agua y remover en una tela absorbente hasta que la película visible de agua sea removida de todas las partículas.
- Determinar la masa de la muestra en el aire en su condición SSD.

- Colocar la muestra en la canastilla y determinar la masa aparente de la muestra en agua a 23°C en su estado SSD. Removiendo las partículas en el agua para que se escape todo el aire atrapado.
- Secar la muestra de ensayo hasta constante a una temperatura de 110°C, enfriar a temperatura ambiente por 1 a 3 horas.
- Determinar la masa de la muestra seca con una precisión de 0.5 gr.

#### 4.2.1.6. Cálculos

Gravedad Específica o Densidad Aparente

Agregado Grueso

$$\text{Gravedad Especifica de masa} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Gravedad Especifica de s.s.s.} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Gravedad Especifica aparente} = \frac{A}{A - C} :$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

A = Peso en el aire de la muestra secada al horno

B = Peso en el aire de la muestra saturada

C = Peso en el agua de la muestra saturada

#### 4.2.1.7. Resultados

<b>GRAVEDAD ESPECIFICA O DENSIDAD APARENTE</b>					
<b>AGREGADO GRUESO</b>					
Material que pasa el tamiz.....1".....y es retenido en el tamiz.....N°4.....					
A	Peso en el aire de la muestra secada al horno				5872.0 gr
B	Peso en el aire de la muestra saturada				5997.0 gr
C	Peso en el Agua de la muestra saturada				3758.0 gr
Gravedad Especifica de masa	$\frac{A}{B - C}$	=	$\frac{5872}{5997 - 3758}$	=	2.623
Gravedad Especifica de s.s.s.	$\frac{B}{B - C}$	=	$\frac{5997}{5997 - 3758}$	=	2.678
Gravedad Especifica aparente	$\frac{A}{A - C}$	=	$\frac{5872}{5872 - 3758}$	=	2.778
% de absorción	$\frac{B - A}{A} \times 100$	=	$\frac{5997 - 5872}{5872} \times 100$	=	2.13%

#### 4.2.2. Gravedad Especifica-Densidad Relativa y Absorción de Agregado Fino ASTM C128

##### 4.2.2.1. Alcance

Este método se relaciona con la densidad media de una cantidad de partículas de agregado fino, la densidad relativa o gravedad específica y la absorción del agregado fino.

##### 4.2.2.2. Objetivo

Determinar la gravedad específica y la absorción del agregado fino (no incluye el volumen de vacíos entre partículas).

#### 4.2.2.3. Equipo

- **Balanza.-** Con una capacidad de 1 Kg o más, una sensibilidad de 0.1 gr o menos, y con una exactitud de 0.1% de la carga de ensayo o cualquier punto dentro del rango de uso para este ensayo.



**Figura 4.4:** Balanza de Precisión

- **Horno.-** De tamaño apropiado capaz de amantener una temperatura uniforme de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- **Matraz.-** Un frasco Le Chetelier como se describe en la Norma ASTM C188 es satisfactorio para aproximadamente 55 gr de la muestra de prueba.
- **Molde y Pisón para Pruebas de Medida de Estado.-** Un molde de metal que debe ser en forma de un cono truncado con las siguientes dimensiones: de 40mm de diámetro interno en la parte superior, 90mm de diámetro en el fondo y 75mm de altura, con un espesor mínimo de 0.8mm. El pisón metálico debe tener una masa de 340 gr y con una superficie de compactación plana de 25mm de diámetro.

#### 4.2.2.4. Muestra

Se debe obtener una muestra del agregado de acuerdo con la Norma ASTM D75. Tomar cuidadosamente una muestra de la mezcla y reducirla hasta obtener un espécimen de prueba de aproximadamente 1.0 K. usando los procedimientos de la Norma ASTM C702.



**Figura 4.5:** Mina “COPETO CIA. LTDA.” Santo Domingo

- **Preparación de la Muestra.-** Secar el espécimen de prueba en un recipiente adecuado o vasija para una masa constante y secarlo a una temperatura de 110°C, luego enfriarla a una confortable temperatura, cubrir con agua puede ser por inmersión o por adición de por los menos un 6% de humedad en el agregado fino, y permitir perdurar por 24 horas. Decantar el exceso de agua con cuidado para evitar pérdidas de finos, espaciar la muestra sobre una superficie plana no absorbente y

someterla a la acción de una corriente suave de aire caliente, y mezclar frecuentemente para obtener una homogeneidad de secado.

#### 4.2.2.5. Procedimiento

- Llenar el frasco inicialmente con agua hasta la marca entre 0 y 1 ml, recuerde esta lectura inicial con el frasco a una temperatura de 23°C. Añada una cierta cantidad del agregado fino en estado superficialmente seco.
- Después todo el agregado fino debe ser introducido en el frasco y se debe colocar el frasco en una posición inclinada para de esta manera rolar el frasco en una posición horizontal. Tomar la lectura final con el frasco dentro de 1°C de la temperatura original.
- Para determinar la absorción, use y separe 500 gr. de la porción de la muestra saturada superficialmente seca del agregado fino, secar a masa constante y determinar la masa seca.

#### 4.2.2.6. Cálculos

Gravedad Específica o Densidad Aparente

Agregado Fino

$$\text{Gravedad Especifica de masa} \quad \frac{A}{V - W}$$

$$\text{Gravedad Especifica de s.s.s.} \quad \frac{500}{V - W}$$



$$\text{Gravedad Especifica aparente} = \frac{A}{(V-W) - (500-A)}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{500 - A}{A} \times 100$$

**A = Peso en el aire de la muestra secada al horno**

**B = Peso en el aire de la muestra saturada**

**W = Peso en el agua de la muestra saturada**

#### 4.2.2.7. Resultados

<b><u>GRAVEDAD ESPECIFICA-DENSIDAD RELATIVA</u></b>			
<b><u>AGREGADO FINO</u></b>			
Material que pasa al tamiz .....	Nº4 .....		
A	Peso en el aire de la muestra secada al horno		488.80 gr.
C	Peso en el aire de la muestra saturada		500.00 gr.
W	Peso en el Agua de la muestra saturada		313.70 gr.
Gravedad Especifica de masa	$\frac{A}{V - W}$	= $\frac{488.80}{500.00 - 313.70}$	= 2.624 gr/cm <sup>3</sup>
Gravedad Especifica de s.s.s.	$\frac{500}{V - W}$	= $\frac{500}{500.00 - 313.70}$	= 2.684 gr/cm <sup>3</sup>
Gravedad Especifica aparente	$\frac{A}{(V-W) - (500-A)}$	= $\frac{488.80}{186.30 - 11.20}$	= 2.792 gr/cm <sup>3</sup>
% de absorción	$\frac{500 - A}{A} \times 100$	= $\frac{500.00 - 488.80}{488.80} \times 100$	= 2.29%

### **4.2.3. Método de Ensayo Normalizado para determinar la densidad aparente ("peso unitario") e Índice de Huecos en los Áridos ASTM C29**

#### **4.2.3.1. Alcance**

Este método de ensayo permite determinar la densidad aparente ("peso unitario") de un árido tanto en su condición compactada o suelta y calcular los huecos entre las partículas en los áridos finos, gruesos o mezclas de áridos, basada en la misma determinación. Este método se aplica a los áridos que no exceden las 5 pulgadas [125 mm] de tamaño máximo nominal.

#### **4.2.3.2. Objetivo**

Determinar el peso unitario e índice de huecos en los áridos de los agregados finos y agregados gruesos.

#### **4.2.3.3. Aparatos**

- **Balanza.-** Una balanza o pesa que marque con una precisión de 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso, graduada como mínimo en 0.5gr. El rango de uso deberá ser considerado para cubrir desde la masa del recipiente vacío hasta la masa del recipiente más su contenido a 120 lb/ft<sup>3</sup> [1920 kg/m<sup>3</sup>].

- **Pisos.-** Una vara de acero, de 5/8 pulg [16 mm] de diámetro y aproximadamente 24 pulg [600 mm] de largo, con uno o ambos extremos redondeados en forma hemisférica, cuyo diámetro sea de 5/8 pulg [16 mm].
- **Recipiente de medida.-** Un recipiente cilíndrico de metal, de preferencia provisto de asas. Deberá ser hermético, con la parte superior e inferior paralela y nivelada, y lo suficientemente rígido para mantener su forma a pesar del mal trato. La medida deberá tener una altura aproximadamente igual al diámetro, pero en ningún caso la altura podrá ser inferior al 80% ni superior al 150% del diámetro. La capacidad de la medida deberá adecuarse a los límites para el tamaño de los áridos que serán ensayados.
- **Pala o poruña.-** Una pala o poruña de tamaño conveniente para llenar el recipiente con áridos.
- **Equipo de calibración.-** Una placa de vidrio, de preferencia de 1/4 pulg [6 mm] de espesor y de al menos 1 pulg (25 mm) más grande que el diámetro del recipiente que será calibrado. Una fuente de abastecimiento de agua y un bastidor engrasado que pueda colocarse en el borde del recipiente para evitar pérdidas.

#### 4.2.3.4. Muestra

El tamaño de la muestra de ensayo deberá ser de aproximadamente un 125 a 200% de la cantidad requerida para llenar el recipiente, y deberá ser manipulada de manera de evitar la

segregación. Seque la muestra de ensayo hasta masa constante, de preferencia en un horno a 110°C.

#### 4.2.3.5. Procedimiento

Existen varios procedimientos para determinar el peso unitario de los agregados los cuales son: Procedimiento de apisonado, asentado y suelto. Para el estudio se considera solo un método que se describe a continuación.

- **Procedimiento suelto.-** Llene el recipiente hasta rebalsar con una pala o poruña, descargando los áridos desde una altura que no exceda las 2 pulg [50 mm] sobre la parte superior del recipiente. Evite al máximo la segregación de las partículas de la muestra. Nivele la superficie de los áridos con los dedos o con una regla de manera que las proyecciones de las piezas grandes de los áridos gruesos rellenen equilibradamente los espacios más grandes que aparecen bajo la superficie del recipiente. Determine la masa del recipiente con su contenido y la masa del recipiente solo, e informe los valores aproximados con 0,05 kg de precisión.

#### 4.2.3.6. Cálculos

Para el cálculo de la densidad aparente o peso específico sin importar el procedimiento que se halla seguido o realizado se calcula de la manera siguiente:

$$P.U.S = (G - T) / V$$

P.U.S = Peso unitario suelto o densidad aparente de los áridos, lb/ft<sup>3</sup> [kg/ m<sup>3</sup>]

G = masa de los áridos más el recipiente, lb [kg]

T = masa del recipiente, lb [kg]

V = volumen del recipiente, ft<sup>3</sup> [m<sup>3</sup>]

#### 4.2.3.7. Resultados

Una vez realizado los diferentes procedimientos para la obtención de la densidad aparente, obtenemos los resultados finales los cuales se detallan en la tabla que describimos a continuación.

**Tabla 4.1:** Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso

<b>AGREGADO GRUESO</b>				
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ 1"		Y ES RETENIDO EN EL TAMIZ N° 4		
ENSAYO N°	1	2	3	PROMEDIO
PESO DEL MOLDE (gr)	7772.0	7772.0	7772.0	<b>7772</b>
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	12465	12465	12465	<b>12465</b>
PESO DEL AGREGADO + MOLDE (gr)	25380	25050	25166	<b>25199</b>
PESO DEL AGREGADO (gr)	17608	17278	17394	<b>17427</b>
P. U. S. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.413	1.386	1.395	<b>1.398</b>

**Tabla 4.2:** Peso Unitario Suelto del Agregado Fino

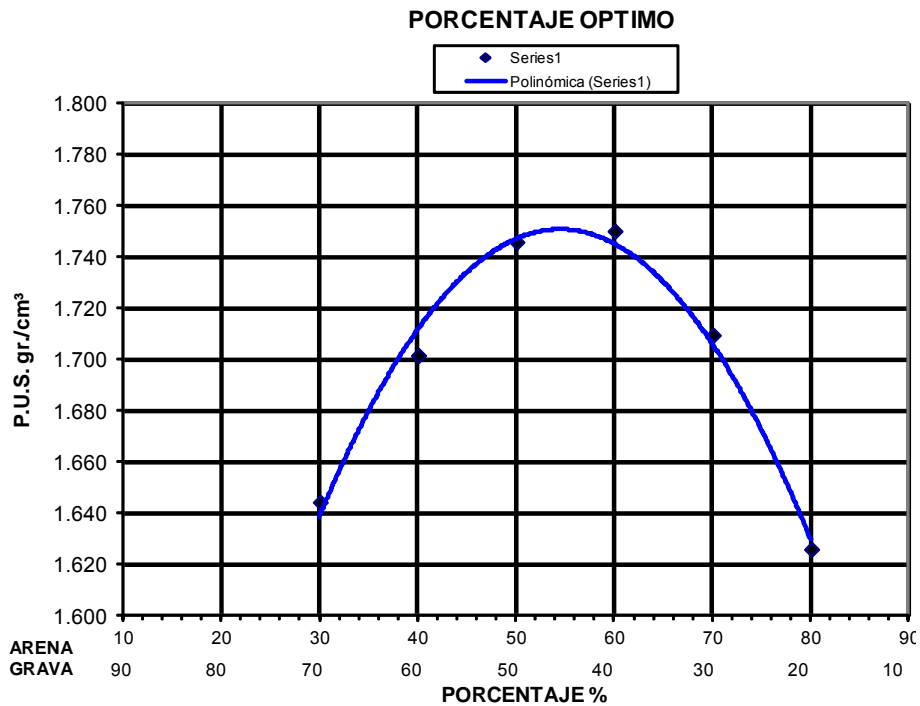
<b>AGREGADO FINO</b>				
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ 3/8"		Y ES RETENIDO EN EL TAMIZ		
ENSAYO N°	1	2	3	PROMEDIO
PESO DEL MOLDE (gr)	7772	7772	7772	<b>7772</b>
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	12465	12465	12465	<b>12465</b>
PESO DEL AGREGADO + MOLDE (gr)	29361	29332	29460	<b>29384</b>
PESO DEL AGREGADO (gr)	21589	21560	21688	<b>21612</b>
P. U. S. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.732	1.730	1.740	<b>1.734</b>

#### 4.2.4. Porcentaje Óptimo de la Mezcla

Una vez conocido las propiedades de los materiales procedemos a encontrar el porcentaje óptimo de la mezcla, básicamente comprende en encontrar la mezcla ideal obteniendo como parámetro de diseño el peso específico más alto con el tanteo de los porcentajes de la mezcla. La densidad aparente máxima la obtenemos realizando tanteos de los porcentajes como se indica en la siguiente tabla, en la cual podemos observar cómo se produce una campana de Gauss en la cual va variando la densidad de la mezcla de los agregados

**Tabla 4.3:** Porcentaje Óptimo de la Mezcla de los Agregados.

<b>PORCENTAJE OPTIMO DE LA MEZCLA: GRAVA TRITURADA PAST. 1" + ARENA PAST. 3/8"</b>							
PESO DEL MOLI		7772 gr.		VOLUMEN DEL MOLDE.		12465 cm <sup>3</sup>	
% GRAVA TRITURADA 1"	% ARENA TRIT. 3/8"	PESO MUESTRA gr.	PESO GRAVA gr.	PESO ARENA gr.	PESO MUESTRA MAS MOLDE gr.	PESO MUESTRA gr.	P.U.S. gr/cm <sup>3</sup>
20	80	28000	5600	22400	28042	20270	1.626
30	70	32000	9600	22400	29084	21312	1.710
<b>40</b>	<b>60</b>	<b>37333</b>	<b>14933</b>	<b>22400</b>	<b>29590</b>	<b>21818</b>	<b>1.750</b>
50	50	44800	22400	22400	29537	21765	1.746
60	40	56000	33600	22400	28985	21213	1.702
70	30	74667	52267	22400	28271	20499	1.645



**Figura 4.6:** Curva de Máxima Densidad de la Mezcla de los Agregados

<b>P.U.O.M. =</b>	<b>PESO UNITARIO OPTIMO DE MEZCLA</b>	<b>1.752 Kg/m3</b>
<b>% O.G. =</b>	<b>GRAVA TRITURADA 1" =</b>	<b>47%</b>
<b>% O.A. =</b>	<b>ARENA TRITURADA 3/8" =</b>	<b>53%</b>
<b>MEZCLA TOTAL</b>		<b>100%</b>

#### 4.2.5. Diseño de Hormigón de 210 Kg/cm<sup>2</sup> para 1.00 m<sup>3</sup> de Mezcla

Con el peso unitario optimo o máximo procedemos a definir el diseño del hormigón para un metro cubico, con el porcentaje optimo de los agregados y los pesos específicos de cada uno de ellos obtenemos los pesos de cada agregado. El ACI en la Tabla 4.4 recomienda usar la relación de agua/cemento según su resistencia a la compresión, y en la Tabla 4.5 la cantidad de agua de mezclado que se requieren según los asentamientos y

tamaños máximos de los agregados gruesos. Estas tablas se describen a continuación y son muy importantes a la hora de diseñar hormigones.

**Tabla 4.4:** Resistencia a la Compresión del Hormigón Basada en la Relación Agua/Cemento.

Resistencia a la Compresión a los 28 días – Mpa.	RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN MASA	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
<b>45</b>	<b>0.35</b>	...
<b>40</b>	<b>0.40</b>	...
<b>35</b>	<b>0.45</b>	<b>0.35</b>
<b>30</b>	<b>0.50</b>	<b>0.43</b>
<b>26</b>	<b>0.55</b>	<b>0.48</b>
22 (220 Kg/cm <sup>2</sup> )	0.60	0.53
<b>18</b>	<b>0.65</b>	<b>0.60</b>
<b>16</b>	<b>0.70</b>	<b>0.62</b>
<b>14</b>	<b>0.80</b>	<b>0.65</b>

**Tabla 4.5:** Cantidades Aproximadas de Agua de Mezclado que se Requieren para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Granulado Grueso.

Asentamiento – cm	AGUA: Litros por m <sup>3</sup> de hormigón para los tamaños indicados en mm							
	10	12.5	20	25	38	50**	70**	150**
Hormigón sin Aire Incluido								
<b>3 a 5</b>	<b>205</b>	<b>200</b>	<b>185</b>	<b>180</b>	<b>160</b>	<b>155</b>	<b>145</b>	<b>125</b>
<b>8 a 10</b>	<b>225</b>	<b>215</b>	<b>200</b>	<b>195</b>	<b>175</b>	<b>170</b>	<b>160</b>	<b>140</b>
<b>15 a 18</b>	<b>240</b>	<b>230</b>	<b>210</b>	<b>205</b>	<b>185</b>	<b>180</b>	<b>170</b>	
<b>Cantidad aproximada de aire atrapado</b>	<b>3.0</b>	<b>2.5</b>	<b>2.0</b>	<b>1.5</b>	<b>1.0</b>	<b>0.5</b>	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>
Hormigón con Aire Incluido								
<b>3 a 5</b>	<b>180</b>	<b>175</b>	<b>165</b>	<b>145</b>	<b>140</b>	<b>135</b>	<b>135</b>	<b>120</b>
<b>8 a 10</b>	<b>200</b>	<b>190</b>	<b>180</b>	<b>160</b>	<b>155</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>135</b>
<b>15 a 18</b>	<b>215</b>	<b>205</b>	<b>190</b>	<b>170</b>	<b>170</b>	<b>165</b>	<b>160</b>	...
<b>Contenido de aire total promedio recomendado a incluir - %</b>	<b>8.0</b>	<b>7.0</b>	<b>6.0</b>	<b>4.5</b>	<b>4.5</b>	<b>4.0</b>	<b>3.5</b>	<b>3.0</b>



De la Tabla 4.4 obtenemos la relación agua/cemento de acuerdo a la resistencia la cual es  $210 \text{ Kg/cm}^2$  aproximadamente  $22 \text{ MPa}$  y la cual es igual a  $0.60$  por lo tanto tenemos:

$$A/C = 0.60 \text{ lt/Kg} \quad \text{Ecu. 4.1}$$

Para obtener el valor del agua nos referimos a la Tabla 4.5 imponiendo la condición del asentamiento de  $8\text{-}10 \text{ cm}$  y el agregado grueso de  $25\text{mm}$  dando una cantidad de agua de  $195 \text{ lts}$  por metro cubico de mezcla.

De donde tenemos:

$$\frac{195}{C} = 0.60$$

$$C = \frac{195 \text{ lts}}{0.60 \text{ lt/Kg}}$$

$$C = 325 \text{ Kg} \quad \text{Cantidad de cemento en Kg.}$$

Una vez obtenida la cantidad de agua y cemento procedemos a definir la densidad del cemento la cual se considera para cementos puzolanicos TIPO I un valor que oscila en  $3.14 \text{ Kg/cm}^3$  y  $3.16 \text{ Kg/cm}^3$  definiendo un valor promedio de  $3.15 \text{ Kg/cm}^3$ .

Además en el diseño de hormigón hay que considerar un volumen de aire, el cual se produce en la aplicación del hormigón por tal razón existe un porcentaje de vacios minimo y que corresponde al  $1.0\%$  del volumen total de la mezcla.

Donde tenemos:

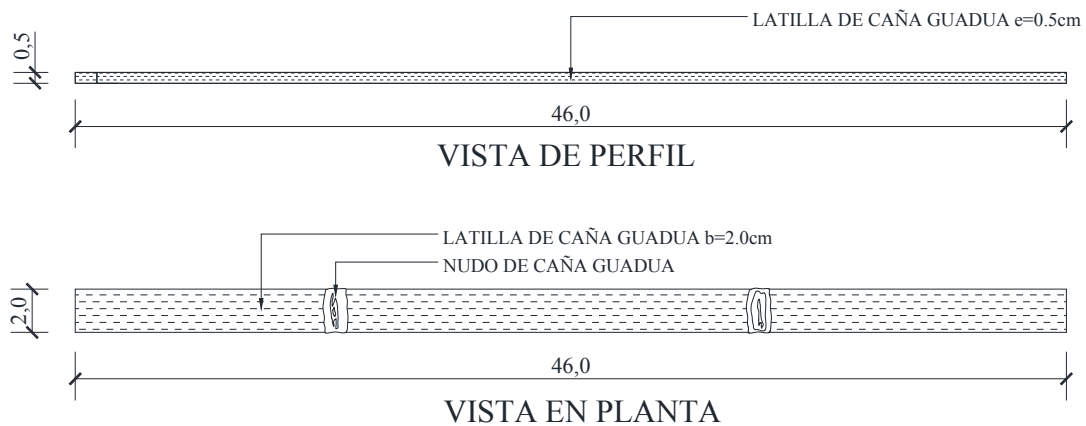
**Tabla 4.6:** Diseño de la Mezcla de Hormigón en Peso y Volumen

PASTA	CEMENTO It	AGUA It	AIRE It	TOTAL PASTA	VOL. AGREG.
Lts.	103.17	195	10	308	692
AGREGADOS TRITURADOS	PESO ESPECIFICO REAL DE LOS AGREGADOS	VOLUMEN %	PESO TOTAL Kg	ABSORCION %	AGUA Lts
GRAVA	2.778	47%	903.3	2.13%	19.23
ARENA	2.792	53%	1023.7	2.29%	23.46
<b>TOTAL</b>		100%	1927.0	4.22%	<b>42.69</b>
AGREGADOS SECOS EN PESO PARA 1 m <sup>3</sup>			CALCULO DE AGUA DOSIFICACION		
CEMENTO	325 kg/m <sup>3</sup> .		AGR. DISEÑO	195.00	lts.
GRAVA 1"	903 kg/m <sup>3</sup> .		ABSORCION	42.69	lts.
ARENA PASANTE 3/8"	1024 kg/m <sup>3</sup> .		DOSIFICACION	237.69	lts.
<b>AGUA (DOSIF.+HR+HA)</b>	<b>292.0</b>	<b>Lts.</b>	HUM. NAT. RIP.	17.79	lts. 1.97%
			HUM. NAT. AR.	36.55	lts. 3.57%
DOSIFICACIÓN EN PESO CON HUMEDAD NATURAL DE LOS AGREGADOS					
	PARA 1m3		PARA UN SACO DE CEMENTO 50Kg		
CEMENTO	325	kg/m <sup>3</sup> .	50	kg	
GRAVA 1"	921	kg/m <sup>3</sup> .	142	kg/saco	
ARENA PASANTE 3/8"	1060	kg/m <sup>3</sup> .	163	kg/saco	
AGUA.	292	Lts.	45	Lts.	
DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN CON HUMEDAD NATURAL DE LOS AGREGADOS					
CEMENTO	1.0	Saco	50 Kg		
GRAVA 1"	4	Cajonetas	30x30x30cm		
ARENA PASANTE 3/8"	3	Cajonetas	30x30x30cm		
AGUA.	45	Lts.			

En la dosificación del diseño presente se considera la humedad natural del agregado grueso y agregado fino.

### 4.3. ELABORACIÓN DE LA ARMADURA DE CAÑA GUADUA

La armadura de caña de guadua se la realiza siguiendo un proceso artesanal o mecánico de existir la máquina para elaborar las latillas. Las latillas son tiras cortadas en forma longitudinal que pueden tener longitudes de hasta doce metros dependiendo de la longitud de la caña guadua. Las dimensiones que se utilizan para elaborar las latillas son consideradas experimentalmente de acuerdo a la probeta de ensayo o viga que se utiliza.



**Figura 4.7:** Latilla de 2.0 x 46.0 x 0.5 cm Fabricada Manualmente

#### 4.3.1. Alcance

Conseguir la armadura necesaria para realizar los ensayos en donde se pueda ver el comportamiento de la caña con el hormigón armado.

#### 4.3.2. Objetivo

Elaborar las latillas teniendo en cuenta las condiciones con las cuales fue cosechada y transportada.

### 4.3.3. Aparatos

Para la elaboración de las latillas se utilizo los siguientes aparatos o herramientas manuales, lo que significa que no se utilizan equipos y herramientas sofisticadas de carpintería ya que esto incrementa costos y el objetivo es utilizar herramienta básica.

- **Sierra.-** Se utilizara una sierra la cual trabajan en conjunto con un arco de sierra o segueta.
- **Martillo.-** Se utiliza para golpear objetos que necesitar ser removidos y se encuentran muy adheridos a alguna superficie, también se utiliza para clavar y desclavar clavos.
- **Machete.-** Objeto necesario para rajar la caña y obtener las latillas.
- **Pinzas.-** Aparato que sirve para sujetar y presionar elementos como alambres y piezas en general.
- **Alambre Galvanizado No 18.-** Alambre galvanizado de alta calidad, de diámetro uniforme, ampliamente utilizado en la construcción y en la fabricación de diversos productos.
- **Clavos de Acero 1.5 pulgadas.-** Estos clavos son los que se denomina comunes, se recomienda no usar clavos con diámetros mayores ya que puede agrietarse la caña con clavos de mayor dimensión.

#### 4.3.4. Muestra

La muestra se la obtiene de los sembríos de las zonas rurales de la Provincia Tsáchilas, el corte se lo realizo como se recomienda en noche de luna, ya que este fenómeno hace que la sabia de la caña ascienda y de esta forma alcance su máxima resistencia.



**Figura 4.8:** Caña Guadua de la Zona de Santo Domingo

#### 4.3.5. Procedimiento

- Se empieza por cortar la caña del tamaño que se necesite la latilla, en nuestro caso la longitud que necesitamos es de 45cm para la probeta del ensayo.



**Figura 4.9:** Corte de la Longitud a Utilizarse

- Una vez obtenida la longitud partimos la guadua utilizando una herramienta con filo (machete) y limpiamos las cortezas del interior por ser un material que no presenta adherencia con el hormigón.



**Figura 4.10:** Limpieza de las Latillas de Caña Guadua

- El siguiente proceso que se realiza es secar y curar la caña por métodos que se describen en el Capítulo 2 y que adoptamos como el curado al fuego y humo.



**Figura 4.11:** Curado y Secado al Fuego y Humo

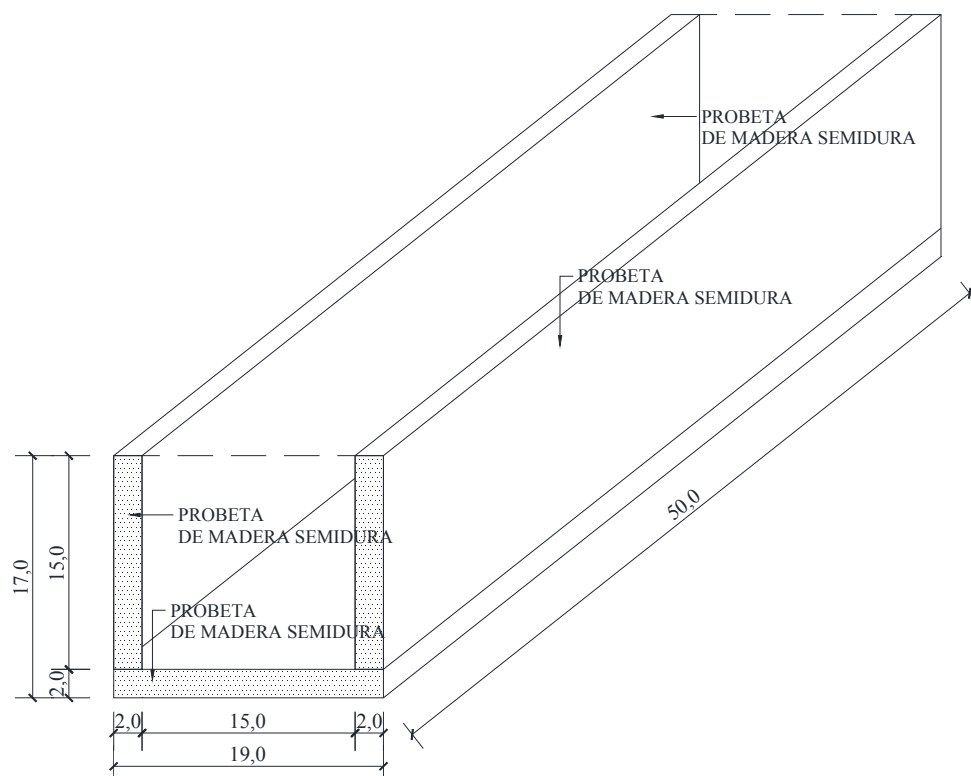
- Con las latillas listas se continúa con el armado de la caña guadua dando la particularidad de un nervio de losa para obtener el comportamiento de este

elemento estructural. Este nervio para facilidad se lo realiza formando un paquete de tres cañas con armado superior e inferior como se ilustra en la Figura 4.12.



**Figura 4.12:** Armado de las Latillas en Paquetes

- Finalmente se prepara el molde para fundir y posteriormente ensayar las vigas a flexión según la norma ASTM C78 la cual tiene las dimensiones de 15x15x50cm.



**Figura 4.13:** Diseño de Probeta de Madera Semidura Norma ASTM C78



**Figura 4.14:** Molde de Madera bajo la Norma ASTM C78

Para la ubicación de la armadura de latillas se utilizó separadores de alambre No 16, los cuales permiten garantizar la distancia que necesita la armadura para ser cubierta con hormigón, y que para elementos estructurales como nervios en losas es 2.0cm.

#### **4.3.6. Resultados**

Culminada la etapa de elaboración de la armadura para las probetas de ensayo (paquetes de caña guadua) procedemos a elaborar la mezcla del hormigón con el diseño antes realizado.

#### **4.4. ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN**

Para la elaboración de la mezcla se la realiza siguiendo la **Norma ASTM C31 que corresponde a la Elaboración y Curado en Obra de Especímenes de Hormigón para Pruebas de Compresión.**



#### 4.4.1. Alcance

Esta práctica cubre los procedimientos necesarios para hacer y curar muestras cilíndricas y vigas de hormigón en obra para proyectos de construcción, que puede ser compactado mediante varillado o vibración.

#### 4.4.2. Objetivo

Elaborar hormigón con todos los parámetros exigidos para conseguir una mezcla de buena calidad.

#### 4.4.3. Equipo ó Aparatos

- **Moldes.-** Deben ser de acero, hierro forjado u otro material no absorbente y que no reaccione con el cemento. Antes de usarse los moldes deben ser cubiertos ligeramente con aceite mineral o un agente separador con cimbras no reactivo.
- **Varilla.-** Debe ser de acero redonda con un diámetro de 5/8 de pulgada (16mm), recta y aproximadamente de 24 pulgadas (600mm) de longitud con un extremo redondeado de forma semiesférica.
- **Mazo.-** Debe usarse un mazo con cabeza de hule o cuero que pese aproximadamente (0.6+/-0.2 Kg).
- **Herramienta de Mano.-** Palas, cubetas, espátulas, niveladoras y aisladores de madera y metal para la superficie del hormigón, calibradores cucharones y reglas.

- **Recipiente para muestreo y mezclado.-** Debe ser un recipiente de metal grueso de tamaño adecuado o una carretilla limpia de superficie no absorbente y con capacidad suficiente para mezclar la muestra completa.

#### 4.4.4. Requerimientos de Prueba

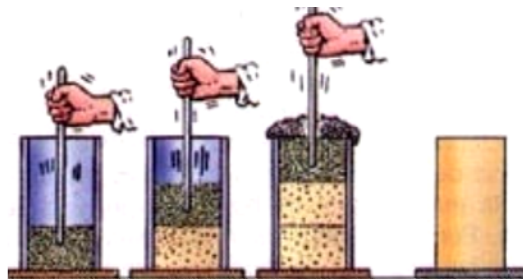
- **Especímenes Cilíndricos.-** Los especímenes deben ser cilíndricos de hormigón colado y fraguado en posición vertical, de altura igual a dos veces el diámetro. El tamaño del espécimen estándar es de 6 por 12 pulgadas (150 por 300mm) o 4 por 8 pulgadas, para agregado de tamaño máximo que no exceda de 2 pulgadas (50mm).
- **Especímenes Tipo Viga.-** Los especímenes para medir la resistencia del hormigón a flexión deben ser vigas rectangulares de hormigón colado y fraguado con los ejes largos horizontalmente. La relación ancho/peralte no debe exceder 1.5. la viga estándar debe tener una sección de 6x6 pulgadas (150x150mm) y debe ser usada para hormigón con agregado de tamaño máximo de 2 pulgadas (50mm).

#### 4.4.5. Muestra

Las muestras de hormigón utilizadas en la fabricación de los especímenes deben obtenerse de acuerdo con el método ASTM C172.

#### 4.4.6. Procedimiento

- Colocar el molde sobre una superficie horizontal, rígida, nivelada y libre de vibraciones.
- Tomar una muestra representativa de acuerdo con la Norma ASTM C172.
- Colocar el hormigón en el interior del molde, moviendo el cucharón alrededor del borde del molde para asegurar la distribución del concreto y una segregación mínima mientras se descarga el hormigón.
- Llenar el molde en tres capas de igual volumen. En la última capa, agregar la cantidad de hormigón suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación. Ajustar el sobrante o faltante de hormigón con una porción de mezcla y completar el número de golpes faltantes.



**Figura 4.15:** Proceso de Compactación por Capas

- Compactar cada capa con 25 penetraciones de la varilla usando la punta semiesférica, distribuyendo uniformemente las penetraciones.

- Compactar la capa inferior en todo su espesor. Compactar la segunda y tercera capas, penetrando 1 pulgada (25 mm) en la capa anterior.
- Después de compactar cada capa, golpear los lados del molde ligeramente de 10 a 15 veces con el mazo para liberar las burbujas de aire que pueden quedar atrapadas. Utilice la mano abierta, si se trata de moldes de un solo uso los cuales son susceptibles a daños por los golpes con el mazo.
- Mantener una vibración uniforme durante este proceso. La duración del vibrado dependerá de la trabajabilidad del concreto y la efectividad del vibrador, se debe vibrar hasta obtener una superficie lisa. Colocar cada capa de concreto en el molde antes de comenzar la vibración de la misma. Generalmente no más de 5 seg. de vibración por inmersión es necesaria para consolidar el concreto con un revenimiento mayor a 3 pulg. (75 mm.).
- Enrasar el exceso de hormigón con la varilla de compactación y si es necesario se le da un acabado con una llana o cuchara. Debe darse el menor número de pasadas para producir una superficie lisa y plana.
- Emplear el método apropiado para mantener las condiciones de humedad y temperatura especificadas.

#### 4.4.7. Curado

- **Curado inicial.-** Después del moldeado, la temperatura alrededor de los especímenes debe mantenerse en un rango de 60° a 80°F (16° a 27°C). Para mezclas de concreto con una resistencia especificada de 6 000 lb/in<sup>2</sup> (40 MPa) o más la temperatura del curado inicial debe estar entre 68 y 78 °F (20 y 26°C) Los especímenes que vayan a ser transportados antes de transcurridas 48 horas después del moldeado deben permanecer en su molde a humedad del medio ambiente hasta que sean recibidos en el laboratorio para el desmolde y curado estándar. Los especímenes que no vayan a ser transportados deben ser sacados de los moldes después de transcurridas las primeras 24 ± 8 horas y usar el curado estándar hasta que sean transportados.
- **Curado estándar de cilindros.-** Al terminar el curado inicial y antes de que transcurran 30 minutos después de haber removido los moldes, almacene los especímenes en condiciones de humedad adecuada, siempre cubiertos con agua a una temperatura de 73.4 ± 3°F (23±1.7°C). Se permiten temperaturas de entre 68° y 86°F (20° y 30°C) durante un período que no exceda de 3 horas inmediatamente antes de hacer la prueba, si siempre se mantiene húmeda la superficie del espécimen.
- **Curado estándar vigas.-** Las Vigas deben ser curadas del mismo modo que los cilindros. Deben almacenarse en agua de cal saturada a 73 ± 3 °F (23 ± 2°C) por un mínimo de 20 horas antes de hacer la prueba. Debe evitarse que las superficies de

las vigas se secan en la fase desde que se sacan del agua hasta que se termina la prueba.

#### 4.4.8. Resultados

Una vez realizado el ensayo como indica la Norma, tenemos los siguientes especímenes de prueba como observamos en las siguientes Figuras, dichos ensayos fueron realizados en el **Laboratorio ASHOSUE CIA. LTDA.** cuyo representante legal es el Ing. Cesar Loor Cedeño, Gerente-Propietario.



**Figura 4.16:** Preparación de la Mezcla y Especímenes de Prueba



**Figura 4.17:** Cilindros Testigos para Medir la Resistencia del Hormigón a Compresión  
(Laboratorio ASHOSUE CIA. LTDA.)



**Figura 4.18:** Elaboración de Vigas con Armadura de Guadua para Ensayar a Flexión  
(Laboratorio ASHOSUE CIA. LTDA.)

#### 4.5. ENSAYO A LA COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS (NORMA ITINTEC 339.034). (LABORATORIO “ASHOSUE CIA. LTDA.” SANTO DOMINGO).

##### 4.5.1. Alcance

Llegar a obtener las resistencias últimas del hormigón a compresión cumpliendo la Norma exigida, con la colaboración del Laboratorio “ASHOSUE CIA. LTDA.” ubicado en la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas.

#### **4.5.2. Objetivo**

Determinar la capacidad portante del hormigón y comprobar si ha adquirido la resistencia establecida a los 28 días.

#### **4.5.3. Materiales**

##### **Máquinas de Ensayo**

La máquina de ensayo es de cualquiera de los tipos de uso corriente, con una velocidad constante de carga comprendida entre 7 Mpa (70kg/cm<sup>2</sup>) y 21 Mpa (210kg/cm<sup>2</sup>) por minuto hasta la rotura.

La maquina está provista de dos bloques de acero de superficie endurecida, entre las cuales se comprimen las probetas sometidas a ensayo. Las superficies de contacto de dichas piezas con las probetas, tienen una dureza Rockweil no menor de 11R60. El cabezal inferior, sobre el descansa la probeta, es rígida y plana. El cabezal superior está provisto de un dispositivo o rotula o calata esférica, que le permite rotar libremente e inclinarse pequeños ángulos en cualquier dirección. La superficie de contacto de este cabezal con la probeta, también es plana.

Los puntos de la superficie de contacto de ambos cabezales con las correspondientes bases de la probeta, y se deben apartar mas de 0.025mm de la superficie de un plano, sin que dichas desigualdades puedan exceder después, una vez usada la máquina de 0.05mm.



El diámetro de la superficie plana de cada uno de los cabezales es por lo menos igual y preferentemente algo mayor que el diámetro de la probeta. El diámetro de la superficie plana del cabezal superior es por lo menos igual al diámetro de la rotula esférica. Si el diámetro de la superficie del cabezal inferior, sobre el cual descansa la probeta, excede en 20mm o más al diámetro de esta, sobre una mencionada superficie, se deben grabar dos o más circunferencias concéntricas, con el objetivo de facilitar el centrado de las probetas sobre ellas. La carga indicada en la maquina, en ningún caso debe estar afectado de un error mayor de +/- 1%, respecto a la carga realmente aplicada. La máquina de ensayo se debe verificar periódicamente. Cuando se trate de máquina de uso diario, estas se deben verificar tantas veces sea necesario para asegurar los resultados correctos y máximos cada 6 meses.

#### 4.5.4. Muestras

- **Probetas de Ensayo.-** Las probetas de ensayos deben cumplir en cuanto a dimensiones, preparación y curado con las Normas. Además las probetas se ensayan inmediatamente después de ser retiradas del agua o de la cámara de curado. En caso que deba transcurrir cierto tiempo entre el curado y el ensayo, se mantienen húmedas, cubriéndolas con telas húmedas hasta el momento del ensayo.

#### 4.5.5. Procedimiento

- **Mediciones.-** Se mide el diámetro con calibrador con precisión de 0.1mm promediando los dos diámetros medios de la parte central, se mide la altura de la probeta con aproximación de un milímetro.
- **Colocación e Probeta.-** Se limpia cuidadosamente las partes de los bloques superior e inferior y las bases de la probeta. También se centra sobre la superficie de la maquina. Además se procede acercar la superficie de contacto sin producir choques con la probeta.
- **Velocidad de Carga.-** Se continúa aplicando la carga hasta producir la rotura de la probeta registrando el valor de la carga mínima, el tipo de rotura y además toda otra observación relacionada con el aspecto del hormigón en la zona de la rotura. En los momentos finales cuando la probeta falla no se debe modificar la velocidad de aplicación de la carga.

#### 4.5.6. Resultados

Los resultados obtenidos luego de haber ensayado nueve cilindros en total los que se componen de la siguiente manera.

**Tabla 4.7:** Resistencias de Cilindros a Ensayados a Compresión (Laboratorio ASHOSUE CIA. LTDA.)

CILINDROS TESTIGO SIN ADITIVO								
RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE ( kg/cm <sup>2</sup> )								
No	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	EDAD DIAS	ACENT. Cm.	RESISTENCIA EN kN.	% de f'c	RESISTENCIA Kg/cm2	% ESPECIFICACION
1	15	30	7	6	245.34	67%	142	60%
2	15	30	14	6	322.73	89%	186	80%
3	15	30	28	6	390.23	107%	225	100%
CILINDROS TESTIGO CON ADITIVO 400cm <sup>3</sup> POR SACO								
RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE ( kg/cm <sup>2</sup> )								
No	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	EDAD DIAS	ACENT. Cm.	RESISTENCIA EN kN.	% de f'c	RESISTENCIA Kg/cm2	% ESPECIFICACION
4	15	30	7	8	345.23	95%	199	80%
5	15	30	7	8	335.45	92%	194	80%
6	15	30	14	8	440.72	121%	255	100%
CILINDROS TESTIGO CON ADITIVO 1000cm <sup>3</sup> POR SACO								
RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE ( kg/cm <sup>2</sup> )								
No	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	EDAD DIAS	ACENT. Cm.	RESISTENCIA EN kN.	% de f'c	RESISTENCIA Kg/cm2	% ESPECIFICACION
7	15	30	7	8	315.78	87%	182	80%
8	15	30	7	8	329.12	91%	190	80%
9	15	30	14	8	430.84	119%	249	100%



**Figura 4.19:** Cilindros Ensayados a Compresión (Laboratorio ASHOSUE CIA. LTDA.)

#### **4.6.DETERMINACION DEL ESFUERZO A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ASTM C78 Y ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAÑA CON HORMIGÓN. (LABORATORIO DE HORMIGONES, ASFALTO Y SUELOS “ASHOSUE CIA. LTDA.” SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS.)**

##### **4.6.1. Alcance**

Cubre la determinación del esfuerzo a la flexión del concreto mediante el uso de una viga con tres puntos de aplicación de carga. Los resultados se calcularán y reportarán como el modulo el modulo de rotura.

##### **4.6.2. Objetivo**

Determinar la capacidad de resistencia del hormigón a flexión y obtener el comportamiento a flexión de la viga con hormigón armado con latillas de caña de guadua.

##### **4.6.3. Equipo**

- **Maquina de ensayo.-** La máquina de ensayo deberá tener la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. La calibración de la máquina se debe verificar de acuerdo a la Norma ASTM E4.
- **Aparato de Carga.-** El método de tres puntos de aplicación de carga será usado en la determinación de la flexión del concreto que se empleará el comportamiento de bloques que aseguran la fuerza aplicada a la viga será perpendicular a la cara de la muestra.

#### **4.6.4. Muestra**

Para determinar la dimensión de la sección representativa del espécimen para el uso, se calcula el módulo de rotura, tomar las medidas a través de una de las caras de la fractura después de probarla. Para cada dimensión, tomar una medida en cada borde y una en el borde de la sección representativa. Utilizar allí las medidas para cada dirección, para determinar el grosor promedio y la profundidad promedio. Tome todas las medidas al 1mm mas cercado.

#### **4.6.5. Procedimiento**

- Proteger el espécimen de la pérdida de humedad, una pérdida de humedad disminuye la resistencia a la flexión.
- Centrar el sistema de carga con respecto a la fuerza aplicada.
- Colocar los bloques superiores en contacto con la superficie del espécimen (en los tres puntos) y aplicar una carga entre 3 y 6% de la carga última estimada.
- Chequear que los espacios entre el espécimen y los bloques superiores y los apoyos no excedan de 0.1mm en una longitud de 25mm.
- Aplicar la carga a una proporción que constantemente aumente la tensión de la fibra extrema, entre 0.9 y 1.2 MPa/min hasta que ocurra la rotura.
- Aplicar carga al espécimen continuamente y sin impacto.

- Tomar tres medidas por cada dimensión al plano de falla con aproximación de 0.1mm.
- Registrar el ancho promedio, profundidad promedio, y línea de ubicación de la fractura en la sección de falla con una aproximación de 1 mm.
- Determinar el modulo de rotura con una precisión de 0.05 MPa.

Si la falla ocurre en el **tercio medio de la viga** y no sobrepasa en más del 5%, aplicar la siguiente ecuación:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Si la falla sobrepasa en más del **5% del tercio medio de la viga**, aplicar la siguiente ecuación:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Donde:

R = Modulo de Rotura, MPa.

P = Máxima carga aplicada, N.

L = Luz, en mm.

b = Ancho promedio del espécimen, en mm en la fractura.

d = Profundidad promedio del espécimen, en mm en la fractura.

a = Distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano medido en la superficie de tensión de la viga, en mm.

#### 4.6.6. Resultados

**Tabla 4.8:** Flexión en vigas de Hormigón

FLEXION DE VIGAS DE HORMIGON									
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FECHA DE ELABORACIÓN	04-jul-12	04-jul-12	04-jul-12	04-jul-12	04-jul-12	04-jul-12	04-jul-12	04-jul-12	04-jul-12
FECHA DE ENSAYO	01-ago-12	01-ago-12	01-ago-12	01-ago-12	01-ago-12	01-ago-12	01-ago-12	01-ago-12	01-ago-12
EDAD DE LA MUESTRA	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
LONGITUD DE LA MUESTRA (cm) L	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00
ANCHO (cm) b	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
ALTURA (cm) d	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
VOLUMEN (cm <sup>3</sup> ) V	12375.00	12375.00	12375.00	12375.00	12375.00	12375.00	12375.00	12375.00	12375.00
PESO (Gr.) W	28055.00	28155.00	28659.00	28157.00	28367.00	28645.00	28451.00	28615.00	28425.00
PESO UNITARIO (gr/cm <sup>3</sup> )	2.27	2.28	2.32	2.28	2.29	2.31	2.30	2.31	2.30
DISTANCIA ENTRE APOYOS (cm) L	45	45	45	45	45	45	45	45	45
CARGA RUPTURA (N) Kg	2723.40	2884.00	2976.00	3126.00	3220.00	3387.00	3359.00	3090.00	3083.00
MODELO DE ROTURA (MPa) R	3.56	3.76	3.88	4.08	4.20	4.42	4.38	4.03	4.02

Donde:

R = Modulo de Rotura, MPa.

P = Máxima carga aplicada, N.

L = Luz, en mm.

b = Ancho promedio del espécimen, en mm en la fractura.

d = Profundidad promedio del espécimen, en mm en la fractura.

a = Distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano medido en la superficie de tensión de la viga, en mm.

TERCIO MEDIO DE LA VIGA

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

FUERA DE 5% DEL TERCIO MEDIO DE LA VIGA

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Continuando con el análisis de las armaduras tenemos la siguiente Tabla en la cual se encuentra las características de los paquetes (latillas de caña) de guadua.

**Tabla 4.9:** Dimensiones de Paquetes de Caña Guadua Armadas

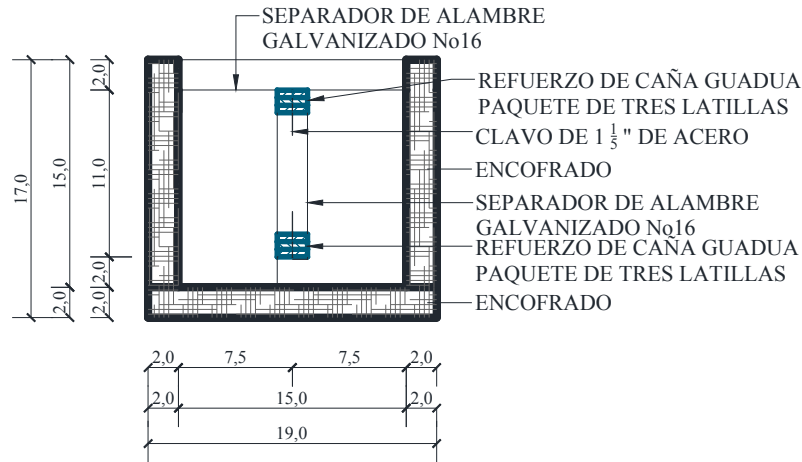
**CUADRO DE PAQUETES EN LATILLAS DE CAÑA GUADUA**

	Identificación de la Muestra	UNO			DOS			TRES			CUATRO			CINCO		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
PAQUETE SUPERIOR	Longitud (L) cm	46.50	46.50	46.50	46.50	46.50	46.50	46.40	46.40	46.40	46.50	46.50	46.50	46.70	46.70	46.70
	Base (b) cm	2.10	2.10	2.10	2.00	1.90	2.00	2.00	1.90	1.90	1.90	1.90	0.45	1.90	1.90	1.80
	Espesor (e) cm	0.45	0.60	0.50	0.45	0.55	0.60	0.50	0.50	0.60	0.50	0.45	0.50	0.50	0.60	0.40
PAQUETE INFERIOR	Longitud (L) cm	45.50	45.50	45.50	46.00	46.00	46.00	40.90	40.90	40.90	46.70	46.70	46.70	46.60	46.60	46.60
	Base (b) cm	1.90	1.80	2.00	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.70	1.60	1.70	1.80	1.80	1.80	1.80
	Espesor (e) cm	0.50	0.50	0.55	0.50	0.50	0.55	0.50	0.60	0.50	0.70	0.50	0.30	0.60	0.55	0.50
	Area P. (A) cm <sup>2</sup>	0.95	1.26	1.05	0.90	1.05	1.20	1.00	0.95	1.14	0.95	0.86	0.23	0.95	1.14	0.72
	Area T (A) cm <sup>2</sup>	3.26			3.15			3.09			2.03			2.81		

	Identificación de la Muestra	SEIS			SIETE			OCHO			NUEVE		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
PAQUETE SUPERIOR	Longitud (L) cm	46.50	46.50	46.50	46.40	46.40	46.40	46.00	46.00	46.00	45.00	45.00	45.00
	Base (b) cm	1.90	2.00	1.90	1.80	2.00	1.60	1.80	2.00	1.80	2.00	1.90	2.10
	Espesor (e) cm	0.50	0.40	0.50	0.60	0.50	0.60	0.60	0.50	0.40	0.50	0.50	0.50
PAQUETE INFERIOR	Longitud (L) cm	46.00	46.00	46.00	46.50	46.50	46.50	46.60	46.60	46.60	45.10	45.10	45.10
	Base (b) cm	2.00	2.00	1.60	2.10	2.00	1.90	1.80	1.90	1.70	2.00	2.00	2.10
	Espesor (e) cm	0.70	0.60	0.50	0.50	0.50	0.60	0.50	0.60	0.50	0.50	0.50	0.60
	Area (A) cm <sup>2</sup>	0.95	0.80	0.95	1.08	1.00	0.96	1.08	1.00	0.72	1.00	0.95	1.05
	Area T (A) cm <sup>2</sup>	2.70			3.04			2.80			3.00		

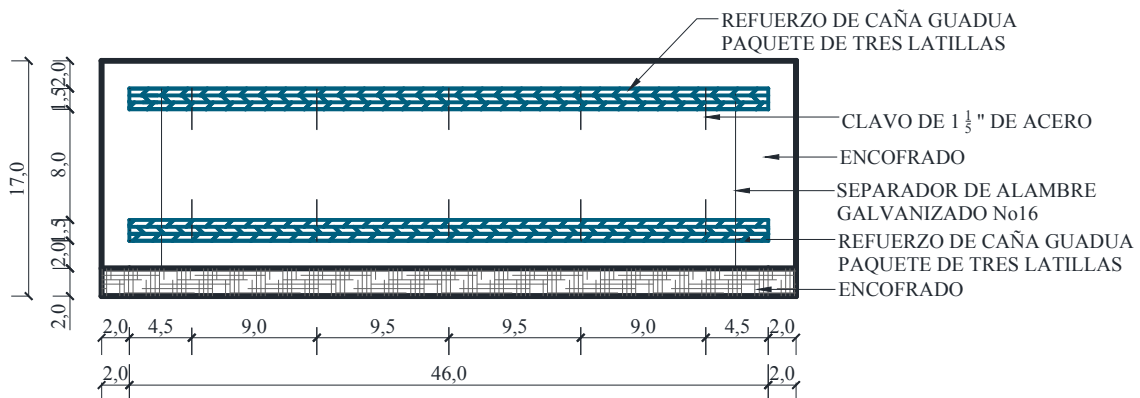
Como podemos observar en cada viga tenemos la armadura de caña guadua, la cual tiene un paquete de tres latillas superior e inferior, en el paquete inferior para garantizar la adherencia se colocó un clavo de 1 1/5 pulgada la que ayuda a mejorar la adherencia entre el hormigón y la caña.





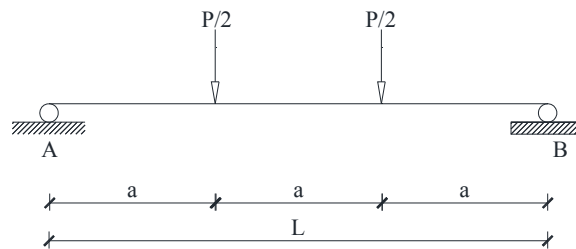
**Figura 4.20:** Sección Transversal de la Viga

En la Figura 4.20 tenemos el armado de la viga, la cual está compuesta de un paquete (tres latillas) superior y uno inferior. Para garantizar el recubrimiento en la caña se colocó un separador de alambre y que además ayuda a mantener fija la armadura de caña guadua.

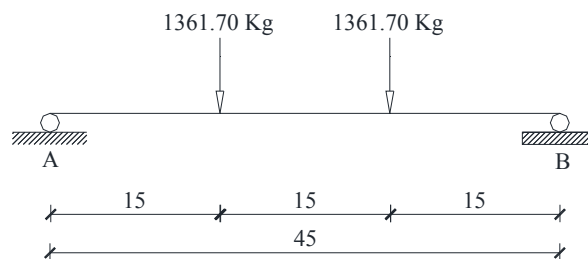


**Figura 4.21:** Sección Longitudinal de la Viga

En el siguiente análisis se define la capacidad de carga de la viga considerando el armado de la caña guadua, la cual define la resistencia a la flexión antes del fisuramiento de la viga y posteriormente su rotura. Para obtener los esfuerzos aplicados se considera la carga a la cual fue ensayada y las características de la viga las cuales se describen a continuación.



**Figura 4.22:** Modelo Matemático



**Figura 4.23:** Carga Aplicada en la Viga No1

Con el modelo matemático procedemos a calcular los esfuerzos producidos por la carga actuante.

#### Calculo del Momento

$$M = (P/2) * L$$

$$M = 1361.70\text{Kg} * 15\text{cm}$$

$$M = 20425.50 \text{ Kg.cm}$$

### Calculo de las reacciones

$$R_A = R_B = P/2 = 1361.70 \text{ Kg}$$

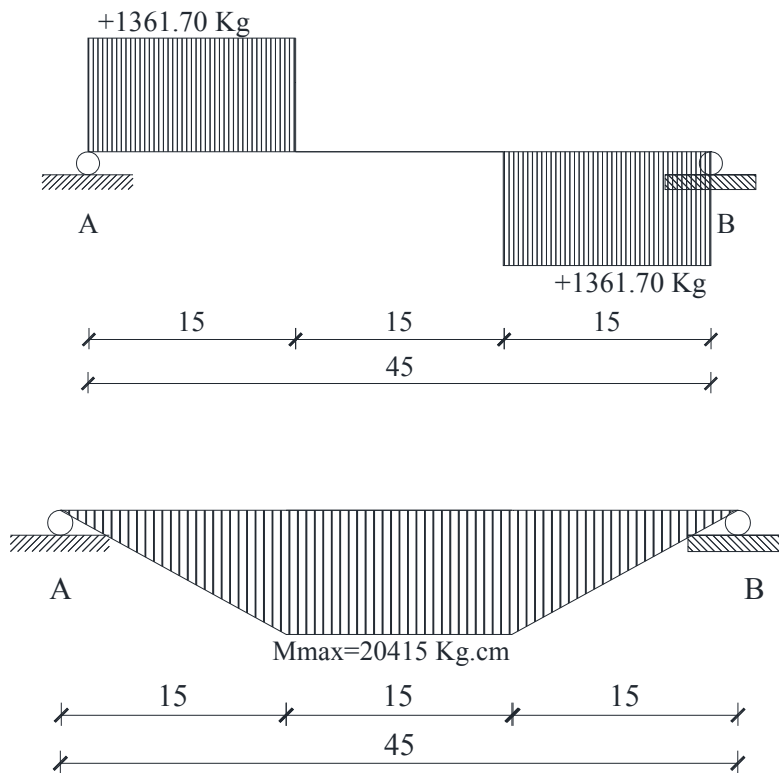
Donde:

M = Momento Máximo (Kg.cm)

P = Carga Actuante (Kg)

L = Distancia del apoyo a la carga (cm)

$R_A$  = Reacciones en los apoyos (Kg)



**Figura 4.24:** Diagrama de Corte y Momento de la Viga No1

Una vez calculado el momento con métodos convencionales se procede a calcular la armadura de la caña guadua, la cual se describe paso a paso en el capítulo tres de la presente investigación y que se describe a continuación en el cálculo de la armadura de primera viga.

### Calculo de la Armadura de Caña Guadua para la Viga ó Probeta N°1

Para la determinar la armadura necesitamos los siguientes datos:

$$b = 15\text{cm}$$

$$d = 13\text{ cm}$$

$$M = 20415.50 \text{ Kg.cm}$$

$$\phi = 0.90 \text{ Factor de Reducción para Flexión.}$$

$$k = \text{Constante}$$

$$f_{yc} = 742.00 \text{ Kg/cm}^2$$

Aplicando la fórmula 3.4. del capítulo tres, procedemos a encontrar la sección de la armadura de caña.

$$A_{sc} = \frac{k}{f_{yc}} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2Mu}{\phi \cdot k \cdot d}} \right]$$

$$k = 0.85f'c \cdot b \cdot d$$

$$k = 0.85 * 210 * 15 * 13$$

$$k = 34807.50$$

$$A_{sc} = \frac{34807.50}{742.00} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 20425.50}{0.90 * 34807.50 * 13}} \right]$$

$$A_{sc} = 46.91[0.05]$$

**$A_{sc} = 2.41 \text{ cm}^2$  Sección de Caña Calculada**

El mismo proceso se cumple para la obtención de las demás probetas de ensayo.

Al analizar el comportamiento de la viga armada con caña guadua como refuerzo longitudinal, tenemos una conducta semejante a la del hormigón armado con acero, considerando que para cumplir con la armadura necesaria y soportar esfuerzos se precisa una mayor cantidad de armadura de caña debido a que su esfuerzo a la tracción es menor que la del acero. De acuerdo a esta teoría y los ensayos realizados tenemos los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 4.10.

**Tabla 4.10:** Cantidades de Sección de Caña Guadua Calculada Probetas 1-2-3.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VIGAS ARMADAS CON CAÑA GUADUA ANGUSTIFOLIA								
<b>ESFUERZOS DE LA VIGA No1</b>			<b>ESFUERZOS DE LA VIGA No2</b>			<b>ESFUERZOS DE LA VIGA No3</b>		
<b>DATOS:</b>			<b>DATOS:</b>			<b>DATOS:</b>		
b=	15.00	cm	b=	15.00	cm	b=	15.00	cm
d=	13.00	cm	d=	13.00	cm	d=	13.00	cm
f`c=	210.00	kg/cm2	f`c=	210.00	kg/cm2	f`c=	210.00	kg/cm2
f <sub>y</sub> =	4200.00	kg/cm2	f <sub>y</sub> =	4200.00	kg/cm2	f <sub>y</sub> =	4200.00	kg/cm2
f <sub>yc</sub> =	<b>742.00</b>	<b>kg/cm2</b>	f <sub>yc</sub> =	<b>742.00</b>	<b>kg/cm2</b>	f <sub>yc</sub> =	<b>742.00</b>	<b>kg/cm2</b>
<b>CARGAS APLICADAS:</b>			<b>CARGAS APLICADAS:</b>			<b>CARGAS APLICADAS:</b>		
P=	1361.00	Kg	P=	1437.00	Kg	P=	1483.70	Kg
L=	15.00	cm	L=	15.00	cm	L=	15.00	cm
M=	<b>20415.00</b>	<b>Kg.cm</b>	M=	<b>21555.00</b>	<b>Kg.cm</b>	M=	<b>22255.50</b>	<b>Kg.cm</b>
<b>RESULTADOS:</b>			<b>RESULTADOS:</b>			<b>RESULTADOS:</b>		
<b>ACERO</b>			<b>ACERO</b>			<b>ACERO</b>		
K=	34807.50		K=	34807.50		K=	34807.50	
As=	<b>0.43</b>	<b>cm2</b>	As=	<b>0.45</b>	<b>cm2</b>	As=	<b>0.47</b>	<b>cm2</b>
<b>CAÑA</b>			<b>CAÑA</b>			<b>CAÑA</b>		
K=	34807.50		K=	34807.50		K=	34807.50	
Asc=	<b>2.41</b>	<b>cm2</b>	Asc=	<b>2.55</b>	<b>cm2</b>	Asc=	<b>2.64</b>	<b>cm2</b>

Donde:

b : Base de la Viga (cm)

d : Altura efectiva de la Viga (cm)

P : Carga Actuante (Kg)

L : Longitud del apoyo a la Carga (cm)

Asc : Cantidad de la Armadura de Caña Guadua en (cm<sup>2</sup>)

As : Cantidad de Acero en (cm<sup>2</sup>)

F<sub>y</sub> : Limite de Fluencia en el Acero a Tracción (Kg/cm<sup>2</sup>)

F<sub>yc</sub> : Resistencia de la Caña Guadua a la Tracción (Kg/cm<sup>2</sup>)

**Tabla 4.11:** Cantidades de Sección de Caña Guadua Calculada Probetas 4-5-6.

ESFUERZOS DE LA VIGA No4			ESFUERZOS DE LA VIGA No5			ESFUERZOS DE LA VIGA No6		
<b>DATOS:</b>			<b>DATOS:</b>			<b>DATOS:</b>		
b=	15.00	cm	b=	15.00	cm	b=	15.00	cm
d=	13.00	cm	d=	13.00	cm	d=	13.00	cm
f`c=	210.00	kg/cm2	f`c=	210.00	kg/cm2	f`c=	210.00	kg/cm2
fy=	4200.00	kg/cm2	fy=	4200.00	kg/cm2	fy=	4200.00	kg/cm2
<b>fyc=</b>	<b>742.00</b>	<b>kg/cm2</b>	<b>fyc=</b>	<b>742.00</b>	<b>kg/cm2</b>	<b>fyc=</b>	<b>742.00</b>	<b>kg/cm2</b>
<b>CARGAS APLICADAS:</b>			<b>CARGAS APLICADAS:</b>			<b>CARGAS APLICADAS:</b>		
P=	1558.60	Kg	P=	1605.50	Kg	P=	1688.58	Kg
L=	15.00	cm	L=	15.00	cm	L=	15.00	cm
<b>M=</b>	<b>23379.00</b>	<b>Kg.cm</b>	<b>M=</b>	<b>24082.50</b>	<b>Kg.cm</b>	<b>M=</b>	<b>25328.70</b>	<b>Kg.cm</b>
<b>RESULTADOS:</b>			<b>RESULTADOS:</b>			<b>RESULTADOS:</b>		
<b>ACERO</b>			<b>ACERO</b>			<b>ACERO</b>		
K=	34807.50		K=	34807.50		K=	34807.50	
<b>As=</b>	<b>0.49</b>	<b>cm2</b>	<b>As=</b>	<b>0.51</b>	<b>cm2</b>	<b>As=</b>	<b>0.53</b>	<b>cm2</b>
<b>CAÑA</b>			<b>CAÑA</b>			<b>CAÑA</b>		
K=	34807.50		K=	34807.50		K=	34807.50	
<b>Asc=</b>	<b>2.78</b>	<b>cm2</b>	<b>Asc=</b>	<b>2.86</b>	<b>cm2</b>	<b>Asc=</b>	<b>3.01</b>	<b>cm2</b>

Donde:

b : Base de la Viga (cm)

d : Altura efectiva de la Viga (cm)

P : Carga Actuante (Kg)

L : Longitud del apoyo a la Carga (cm)

Asc : Cantidad de la Armadura de Caña Guadua en (cm<sup>2</sup>)

As : Cantidad de Acero en (cm<sup>2</sup>)

Fy : Limite de Fluencia en el Acero a Tracción (Kg/cm<sup>2</sup>)

Fyc : Resistencia de la Caña Guadua a la Tracción (Kg/cm<sup>2</sup>)

**Tabla 4.12:** Cantidades de Sección de Caña Guadua Calculada Probetas 7-8-9.

ESFUERZOS DE LA VIGA No7			ESFUERZOS DE LA VIGA No8			ESFUERZOS DE LA VIGA No9		
<b>DATOS:</b>			<b>DATOS:</b>			<b>DATOS:</b>		
b=	15.00	cm	b=	15.00	cm	b=	15.00	cm
d=	13.00	cm	d=	13.00	cm	d=	13.00	cm
f`c=	210.00	kg/cm2	f`c=	210.00	kg/cm2	f`c=	210.00	kg/cm2
fy=	4200.00	kg/cm2	fy=	4200.00	kg/cm2	fy=	4200.00	kg/cm2
<b>fyc=</b>	<b>742.00</b>	<b>kg/cm2</b>	<b>fyc=</b>	<b>742.00</b>	<b>kg/cm2</b>	<b>fyc=</b>	<b>742.00</b>	<b>kg/cm2</b>
<b>CARGAS APLICADAS:</b>			<b>CARGAS APLICADAS:</b>			<b>CARGAS APLICADAS:</b>		
P=	1674.82	Kg	P=	1540.77	Kg	P=	1537.20	Kg
L=	15.00	cm	L=	15.00	cm	L=	15.00	cm
<b>M=</b>	<b>25122.30</b>	<b>Kg.cm</b>	<b>M=</b>	<b>23111.55</b>	<b>Kg.cm</b>	<b>M=</b>	<b>23058.00</b>	<b>Kg.cm</b>
<b>RESULTADOS:</b>			<b>RESULTADOS:</b>			<b>RESULTADOS:</b>		
<b>ACERO</b>			<b>ACERO</b>			<b>ACERO</b>		
K=	34807.50		K=	34807.50		K=	34807.50	
<b>As=</b>	<b>0.53</b>	<b>cm2</b>	<b>As=</b>	<b>0.48</b>	<b>cm2</b>	<b>As=</b>	<b>0.48</b>	<b>cm2</b>
<b>CAÑA</b>			<b>CAÑA</b>			<b>CAÑA</b>		
K=	34807.50		K=	34807.50		K=	34807.50	
<b>Asc=</b>	<b>2.99</b>	<b>cm2</b>	<b>Asc=</b>	<b>2.74</b>	<b>cm2</b>	<b>Asc=</b>	<b>2.74</b>	<b>cm2</b>

Donde:

b : Base de la Viga (cm)

d : Altura efectiva de la Viga (cm)

P : Carga Actuante (Kg)

L : Longitud del apoyo a la Carga (cm)

Asc : Cantidad de la Armadura de Caña Guadua en (cm<sup>2</sup>)

As : Cantidad de Acero en (cm<sup>2</sup>)

Fy : Limite de Fluencia en el Acero a Tracción (Kg/cm<sup>2</sup>)

Fyc : Resistencia de la Caña Guadua a la Tracción (Kg/cm<sup>2</sup>)

De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos podemos definir que el área calculada de caña guadua, es muy semejante al área utilizada en los paquetes para ensayar los especímenes de prueba. Razón por la cual el método constructivo para armado de losas con caña guadua da buenos resultados. Sin embargo se recomienda que se utilice un factor de mayoración de 1.40, el mismo que garantiza que la sección diseñada resista las cargas actuantes, dicho factor es el resultado de analizar la cantidad calculada con la cantidad aplicada.

$$F = \frac{\text{Sección Aplicada Probeta N°1}}{\text{Sección Calculada Probeta N°1}} = \frac{3.22}{2.41} = 1.33 \cong 1.40$$

**F = 1.40 Factor de Mayoración para el Diseño de Sección en Caña Guadua**

Haciendo un cuadro comparativo de la sección calculada y la aplicada en los ensayos, tenemos:

**Tabla 4.13:** Cuadro Comparativo de Sección Calculada con Sección Aplicada en Probetas

CUADRO COMPARATIVO DE LA SECCION CALCULADA Y LA SECCION APLICADA EN LOS ENSAYOS									
IDENTIFICACION	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CAÑA CALCULADA	2.41	2.55	2.64	2.78	2.86	3.01	2.99	2.74	2.74
CAÑA APLICADA	3.22	3.14	3.10	2.03	2.81	2.70	3.04	2.80	3.00

El estudio de la caña con hormigón da resultados efectivos, así lo muestra el promedio de la resta de la caña calculada con la caña aplicada dando valores excedentes al calculado en forma general.



## **CAPITULO V: DISEÑO ESTRUCTURAL**

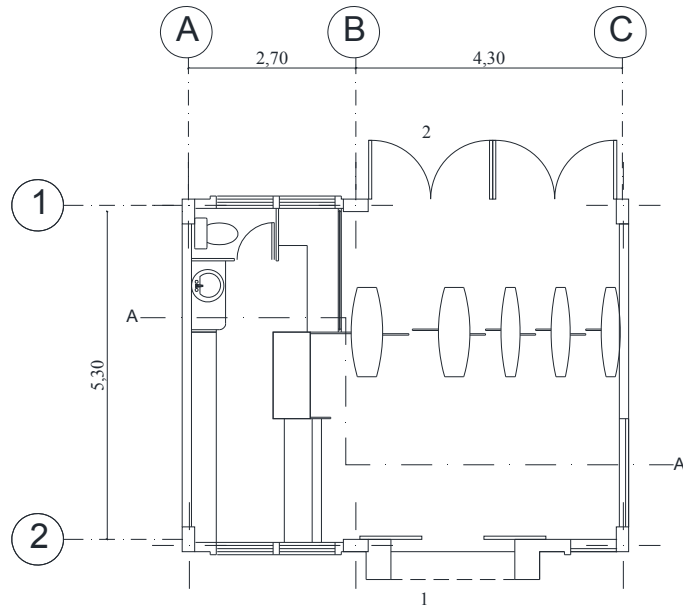
En el presente apartado se habla del análisis y diseño estructural de alternativas de losas los cuales se describen a continuación, previamente considerando los parámetros geométricos para el análisis.

### **5.1. CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE DISEÑO**

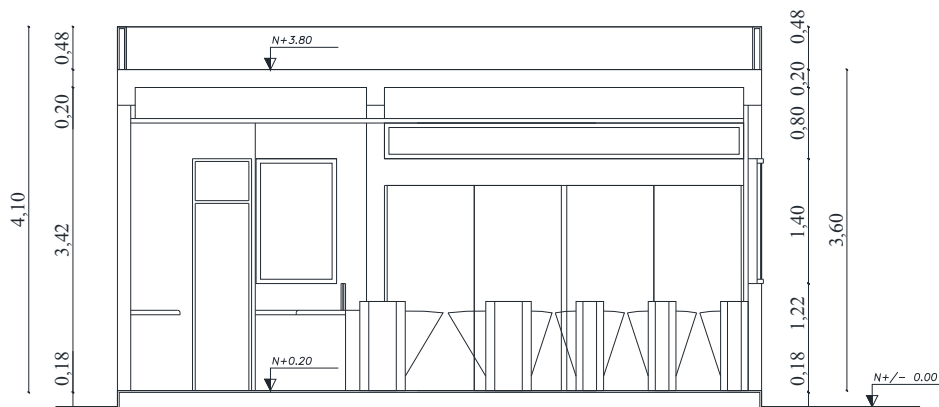
Para el diseño de losas Unidireccionales y Bidireccionales se considerará las características del proyecto arquitectónico, el cual corresponde a un “Centro de Control y Acceso Tipo” del que obtendremos la geometría de la estructura como distancia entre ejes, altura de piso, etc.

Del proyecto arquitectónico podemos destacar que está conformado por una sola planta la cual presta un servicio de oficina y acceso tipo a todo tipo de instituciones militares, además su estructura está diseñada inicialmente de hormigón armado, sin embargo en el presente documento se considerará el diseño de la losa en estructura metálica y con caña de guadua.

El proyecto por ser de una sola planta, la cubierta se la considera como Losa de Cubierta Inaccesible, la cual será diseñada considerando las cargas vivas para dicha cubierta, en la Figura 5.1 se presenta la geometría de la estructura a diseñar.



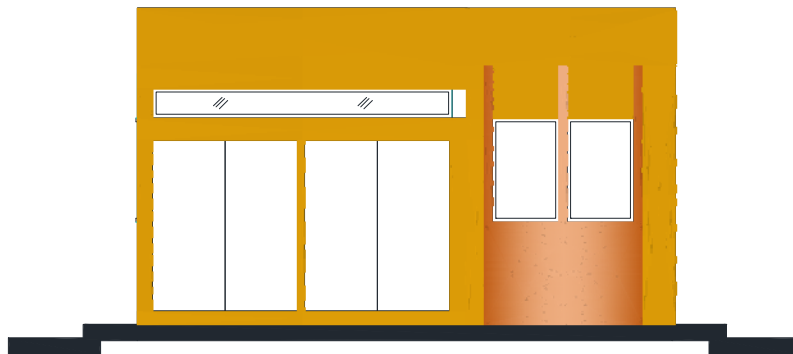
a) Planta Arquitectónica Acceso Tipo



b) Corte A-A'



c) Fachada Principal



d) Fachada Posterior

**Figura 5.1:** Garita de Acceso Tipo

Una vez conocida la geometría de la estructura, procedemos a analizar la losa de acuerdo al sentido de trabajo el cual nos determinará si los esfuerzos que se producen trabajan en una o dos direcciones. Para determinar el sentido de trabajo establecemos la relación del lado largo “L larga” y el lado corto “L corta”, la cual debe ser mayor o igual a dos para considerar como losa unidireccional, caso contrario estaría trabajando como una losa bidireccional. Para el análisis se considera la luz más larga y la luz más corta.

$$\frac{L \text{ larga}}{L \text{ corta}} \geq 2.00 ; \quad \text{Ecuación 5.1}$$

$$L \text{ larga} = 5.30\text{m}$$

$$L \text{ corta} = 2.70\text{m}$$

$$\frac{5.30}{2.70} \geq 2.00$$

$$1.96 < 2.00$$

Al analizar la respuesta podemos observar que está muy cerca de llegar a dos, razón por la cual analizaremos con las dos alternativas de diseño como una Losa Unidireccional y una Losa Bidireccional por estar muy cerca del límite que las define.

## 5.2.DISEÑO DE LOSAS UNIDIRECCIONALES EN HORMIGÓN ARMADO

Las losas unidireccionales se caracterizan por su distribución de cargas en una dirección, la cual transmite las cargas a los elementos vigas y a su vez a los elementos columnas.

### 5.2.1. Predimensionamiento

Para su correspondiente predimensionamiento de la altura mínima nos basamos en la Tabla 9.5(A) del CEC2000 obteniendo los siguientes datos:

**Tabla 5.1:** Altura Mínima de Losas o Vigas en una Dirección sin Deflexiones

	Libre Apoyadas	Con un Extremo Continuo	Ambos Continuos	En Voladizo
Losas Macizas en una Dirección	L/20	L/24	L/28	L/10
Vigas o Losa Nervadas en una Dirección	L/16	L/18.5	L/21	L/8

Según la geometría del proyecto consideramos la altura mínima de tabla con un extremo continuo la cual sería:

$$h_{\min} = L/18.5$$

$$h_{\min} = 4.30\text{m}/18.5$$

$$h_{\min} = 0.2349\text{m}$$

$$h_{\min} = 23.49\text{cm}$$

La altura mínima asumida será de  $h=25.00\text{cm}$ .

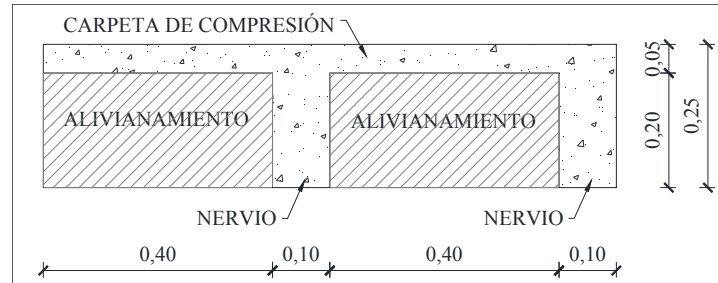
## 5.2.2. Análisis de Cargas

### 5.2.2.1 Determinación de Cargas

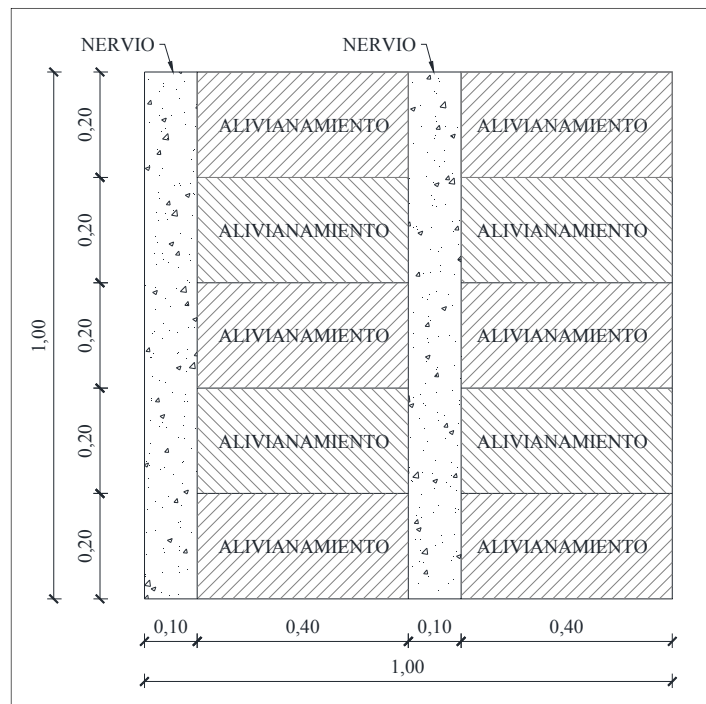
Para el análisis de cargas muertas se determinan las solicitaciones en función de los elementos estructurales a diferencia que la carga viva se define por la finalidad o uso a la que este destinada la estructura, estas están definidas por el CEC y actualmente por el NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) en el capítulo 1 de cargas y materiales, tabla 1.2 Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas.

Para determinar los pesos de los materiales existe amplia bibliografía en la que podemos hallar densidad y peso específico, para el presente documento los pesos que adoptamos son los que corresponden al NEC capítulo 1 de cargas y materiales, tabla 1.1 pesos unitarios de materiales de construcción.

En el caso de existencia de ceniza y granizo según las zona del proyecto se puede decir que la ceniza según los vulcanólogos tiene densidad que varía entre los 0.50 y 2.00 gr/cm<sup>3</sup>; ejemplificando podemos decir que en un metro cuadrado y un centímetro de espesor se produce un peso de 20 Kg por cada metro cuadro de acumulación de dicho material. En el caso del granizo un peso referencial está entre 0.9 y 1.0 T/m<sup>3</sup>.



**Figura 5.2:** (a) Corte Tipo de Losa Unidireccional



**Figura 5.2:** (b) Planta Tipo de Losa Unidireccional

**Tabla 5.2.** Análisis de Cargas Losa Unidireccional

<b>ANALISIS DE CARGAS</b>										
<b>1. CARGA MUERTA (D)</b>										
<b>1.1. Peso propio losa:</b>										
Nervios:	2 x	0.10 m	x	0.20 m	x	1.00 m	x 2.4 T/m <sup>3</sup> =	0.096	T/m <sup>2</sup>	
Carpeta		1.00 m	x	1.00 m	x	0.05 m	x 2.4 T/m <sup>3</sup> =	0.120	T/m <sup>2</sup>	
Bloques	10 x	0.40 m	x	0.20 m	x	0.20 m	x 1.0 T/m <sup>3</sup> =	0.160	T/m <sup>2</sup>	
								0.376	T/m <sup>2</sup>	
<b>1.2. Vigas</b>		20% del peso propio losa				=		0.000	T/m <sup>2</sup>	
<b>1.3. Paredes (bloques)</b>						=		0.100	T/m <sup>2</sup>	
<b>1.4. Acabados</b>						=		0.120	T/m <sup>2</sup>	
<b>1.5. Columnas</b>						=		0.000	T/m <sup>2</sup>	
								<b>TOTAL (D) =</b>	<b>0.596</b>	<b>T/m<sup>2</sup></b>
<b>2. CARGA VIVA (L)</b>										
2.1. Terraza sin acceso								0.100	T/m <sup>2</sup>	
2.2. Ceniza + Granizo (CEC 200)								0.100	<b>T/m<sup>2</sup></b>	
								<b>TOTAL (L) =</b>	<b>0.200</b>	<b>T/m<sup>2</sup></b>

### 5.2.2.2 Combinación de Cargas

Las combinaciones de cargas y los factores a los que son afectados se utilizaran siguiendo la metodología de diseño por resistencia.

En nuestro medio se utiliza como guía el Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC 2001) y actualmente reformado y actualizado la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2011), y en casos específicos el código ACI; En el CEC 2001 y el ACI 2005 nos mencionan que ninguna estructura, elemento y sección de un elemento obtendrán una capacidad resistente inferior a las solicitaciones que provienen de la siguiente combinación de carga básica:

$$U = 1.4D + 1.7L$$

Donde:

U= Carga última

D= Carga Permanente

L= Carga Viva

Carga Ultima			
D (t/m <sup>2</sup> ) =	0.596	L (t/m <sup>2</sup> ) =	0.200

U (t/m <sup>2</sup> ) =	1.4D + 1.7L
U (t/m <sup>2</sup> ) =	1.1744

Carga Ultima de diseño

Ancho Colaborante de Losa	
Acoop (m) =	0.50

U (t/m) =	U * Acoop
U (t/m) =	0.5872

Carga Ultima por cada nervio de 50cm

El ancho cooperante o colaborante que se considera es de 0.50 metros que es la distancia entre nervio y nervio como se observa en la figura 5.2(a).

La nueva Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2011) en el capítulo 1 Combinaciones de Carga, sección 1.1.5.3.2 indica las nuevas combinaciones de carga, en el que el factor por carga muerta es reducido de 1.4 a 1.2; el factor de carga viva se reduce 1.7 a 1.6 y se aumenta 0.5 de carga adicional sea lluvia, sobrecarga o granizo como se muestra en las siguientes ecuaciones.

$$U = 1.4D$$

$$U = 1.2D + 1.6L + 0.5(Lt \text{ o } S \text{ o } R)$$

$$U = 1.2D + 1.6(Lt \text{ o } S \text{ o } R) + (L \text{ o } 0.5W)$$

$$U = 1.2D + 1.0W + L + 0.5(Lt \text{ o } S \text{ o } R)$$

Donde:

D= Carga muerta

L= Carga Viva

Lt= Sobrecarga

S= Carga de granizo

R=Carga de Lluvia

W= Carga de Viento



Para nuestro caso en particular analizaremos estas combinaciones de carga existiendo un total siete tipos en el NEC en las cuales interviene el sismo y viento que para nuestro caso no será necesario. Para el presente caso escogemos la condición más desfavorable que se detalla a continuación:

Carga Ultima			
D (t/m <sup>2</sup> ) =	0.596	L (t/m <sup>2</sup> ) =	0.100

U (t/m <sup>2</sup> ) =	1.2D + 1.6L + 0.5(Lt o S o R)
U (t/m <sup>2</sup> ) =	0.9252

Carga Ultima de diseño

Ancho Colaborante de Losa	
Acoop (m) =	0.50

U (t/m) =	U * Acoop
U (t/m) =	0.4626

Carga Ultima por cada nervio de Acoop=50cm

Al comparar las condiciones de carga del CEC 2001 y NEC 2011 podemos apreciar que la condición más desfavorable se presenta con los factores de mayoración de NEC, además podemos concluir que en nuestro medio no es recomendable disminuir dichos factores, ya que la calidad del material y mano de obra calificada no siempre es la ideal para recudir dichos factores los cuales nos ayudan a mitigar esta falta de calidad y control en las construcciones de nuestro país.

### 5.2.3. Calculo de Esfuerzos en Losas Unidireccionales

Para el cálculo de los esfuerzos que se producen en la losa unidireccional procedemos a analizar por tres métodos de cálculo los cuales se desarrollan a continuación.

#### 5.2.3.1. Método de los Coeficientes de Momento del Código A.C.I.

El Código ACI incluye expresiones que pueden utilizarse para el cálculo aproximado de momentos y cortantes máximos en vigas continuas y en losas armadas en una dirección.

Las expresiones para el momento toman la forma de un coeficiente multiplicado por un valor  $w_u l_n^2$ , en donde  $w_u$  es la carga mayorada total por unidad de longitud de luz, y  $l_n$  en la luz libre entre cara y cara de los apoyos para momento positivo, o el promedio de las dos luces libres adyacentes para momento negativo.

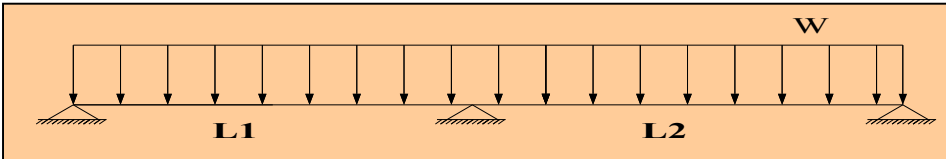
Los cortantes se toman iguales a un coeficiente multiplicado por  $w_u l_n/2$ . Los coeficientes estipulados por el ACI se presentan a continuación en la Tabla 5.3.

**Tabla 5.3:** Valores de momento y de cortante utilizando coeficientes del ACI

Momento Positivo Luces exteriores Si el extremo discontinuo no está restringido	$\frac{1}{11} w_u l_n^2$
Si el extremo discontinuo se construye en forma integral con el soporte	$\frac{1}{14} w_u l_n^2$
Luces interiores	$\frac{1}{16} w_u l_n^2$
Momento negativo en la cara exterior del primer apoyo interior Dos luces	$\frac{1}{9} w_u l_n^2$
Más de dos luces	$\frac{1}{10} w_u l_n^2$
Momento negativo en otras caras de apoyos interiores	$\frac{1}{11} w_u l_n^2$
Momento negativo en la cara de todos los apoyos para: (1) losas con luces que no exceden 10 pies o 3.04 metros, y (2) vigas secundarias y vigas principales cuando la relación de la suma de la rigideces de la columna a la de las rigideces de las vigas excede ocho veces en cada extremo de la luz	$\frac{1}{12} w_u l_n^2$
Momento negativo en las caras interiores de los apoyos exteriores para elementos constructivos construidos integralmente con sus soportes. Cuando el soporte es una viga de borde o una principal	$\frac{1}{24} w_u l_n^2$
Cuando el soporte es una columna	$\frac{1}{16} w_u l_n^2$
Cortante en los elementos finales en el primer apoyo interior	$1.15 \frac{w_u l_n}{2}$
Cortante en todos los demás apoyos	$\frac{1}{2} w_u l_n$

### 5.2.3.2. Obtención de Esfuerzos por el Método de los Coeficientes A.C.I.

A continuación se desarrolla la aplicación del método de los coeficientes del ACI aplicando específicamente para nuestro caso, los esfuerzos obtenidos se muestran en el siguiente cuadro.

CALCULO DE MOMENTOS PARA DOS VANOS APOYADOS EN VIGA					
<b>DATOS:</b>		CEC 2001			
W(T/m)=	<b>0.587</b>				
L1(m)=	<b>2.70</b>				
L2(m)=	<b>4.30</b>				
					
$M_u =$	$WL^2/24$	$WL^2/14$	$WL^2/9$	$WL^2/14$	$WL^2/24$
$M_u =$	<b>0.18</b>	<b>0.31</b>	<b>0.80</b>	<b>0.78</b>	<b>0.45</b> (t-m)

Aplicando el método de los coeficientes del ACI obtenemos los valores de momentos para dos vanos los cuales se considera la carga última de diseño del CEC2001.

### 5.2.3.3. Método de Cross

Este método desarrollado por Hardy Cross en 1932, parte de una estructura ideal cuyos nodos están perfectamente rígidos, lo que obliga que para llegar a la estructura real. Básicamente es un método de análisis numérico de aproximaciones sucesivas que evita tener que resolver ecuaciones simultáneas en un número elevado.

Para la solución de este sistema es necesario realizar dos pasos que se describen a continuación:

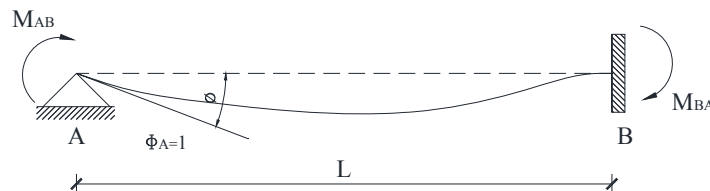
- El Primero es distribuir los momentos de desequilibrio que se presentan en cada nodo.
- El Segundo consiste en encontrar los momentos de desequilibrio distribuidos que afectan el otro extremo de la barra.

Su cuantificación se hace a través de un factor de transporte. Al realizar este transporte se vuelve a desequilibrar la viga lo que obliga a realizar una nueva distribución. Este proceso termina cuando el momento distribuido, sea tan pequeño que no afecte el resultado del momento final.

Los conceptos básicos que se debe considerar para la obtención de los esfuerzos por este método son: La Rigidez Angular, La Rigidez Angular Simplificada, Factor de Transporte, Rigidez Lineal, Factores de Distribución.

- **Rigidez Angular.-** No es más que el momento que debemos aplicar a un miembro para producir una rotación unitaria en el mismo.

La rigidez angular de un elemento con un apoyo empotrado y uno articulado es:

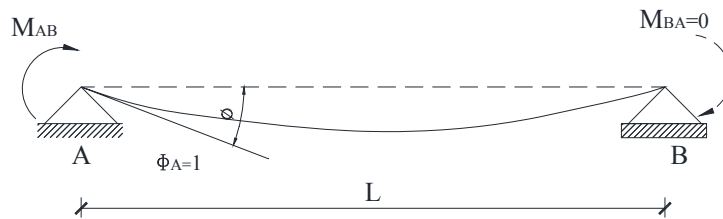


$$M_{AB} = \frac{4EI}{L}; \text{ Rigidez Angular}$$

$$\frac{1}{2} = \frac{M_{BA}}{M_{AB}}; \text{ Factor de Transporte}$$

$$K = \frac{I}{L}; \text{ Rigidez}$$

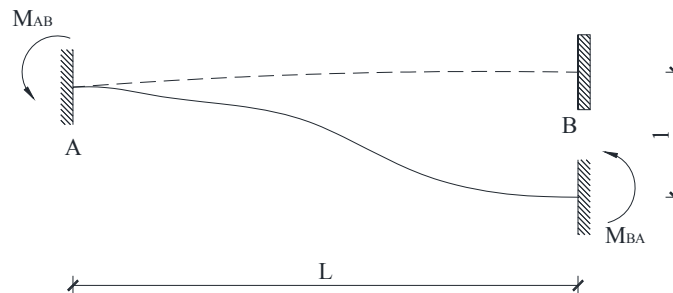
Un elemento con los dos extremos articulados será:



$$M_{AB} = \frac{3EI}{L}; \text{ Rigidez Angular}$$

$$\frac{M_{BA}}{M_{AB}} = 0; \text{ Factor de Transporte}$$

Con los extremos empotrados:



$$M_{AB} = M_{BA} = \frac{6EI}{L^2}; \text{ Rigidez Lineal}$$

- **Rigidez Angular Simplificada.-** Básicamente la rigidez se calcula por  $R=(4EI)/l$ ; en caso de que todas las barras de la viga sean del mismo material la fórmula se podrá reducir a  $R=(4I)/l$ ; si además de estos todas las barras tienen la

misma sección podemos utilizar la fórmula  $R=4/I$ . En nuestra práctica es común que las estructuras sean del mismo material, el valor de E es el mismo para todos los miembros. Lo que interesa es la rigidez relativa de los diferentes miembros estructurales, por lo que suele considerarse que:

La rigidez de un miembro con un extremo articulado y el otro empotrado es  $K=I/L$ .

La rigidez de un miembro con ambos extremos articulados es  $K= \frac{3}{4} K$  ó  $\frac{3}{4} I/L$ .

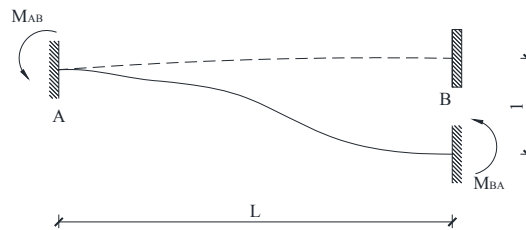
- **Factor de Transporte.-** Es la relación entre el momento desarrollado en el extremo de un miembro cuando se aplica un momento en el otro extremo. De manera general cuando se aplica en un extremo A un momento  $M_{ab}$  y el extremo B desarrolla como consecuencia un momento  $M_{ba}$ , el factor de transporte del miembro AB es la relación entre los momentos  $M_{ba}/M_{ab}$ . De manera general los factores de transporte para los casos anteriores son:

Extremo articulado y otro empotrado  $FT= \frac{1}{2}$

Dos extremos articulados  $FT=0$

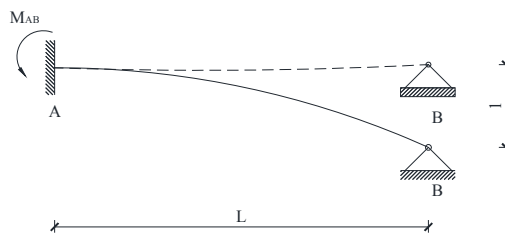
- **Rigidez Lineal.-** Es el valor de los momentos que se desarrollan en los extremos de un miembro cuando se impone un desplazamiento lineal unitario entre dichos extremos.

Si ambos extremos están empotrados:



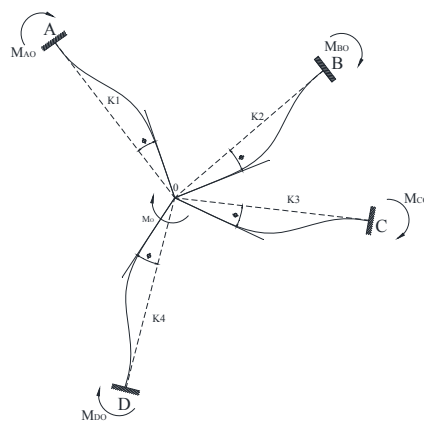
$$M_{AB} = M_{BA} = \frac{6EI}{L^2}; \text{ Rigidez Lineal}$$

Si un extremo articulado y otro empotrado:



$$M_{AB} = \frac{3EI}{L^2}; \text{ Rigidez Lineal}$$

- **Factores de distribución.-** Es igual a la rigidez simplificada entre la suma de las rigideces simplificadas de todos los elementos que concurren al nodo.



$$M_{oi} = M_o \frac{K_i}{\sum K_i}; \text{ Factor de Distribución}$$

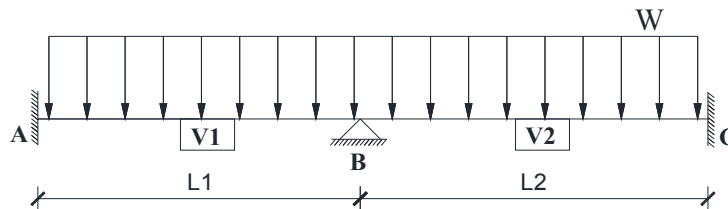
$FD = K_i / \sum K_i$  donde,  $k$  es la relación de inercia – longitud.  $K = I/L$  Para el caso de los extremos libremente apoyados o en cantiliber el factor de distribución es 1 y si es empotrado 0.

Los momentos pueden calcularse de acuerdo a cada condición de carga y de apoyos, los mismos que para su aplicación y resolución existen formulas deducidas que se pueden aplicar para los diferentes casos de carga sea esta puntual o distribuida en apoyos móviles, fijos y empotrados.

#### 5.2.3.4. Calculo de Esfuerzos por el Método de Cross

##### CALCULO DE MOMENTOS APLICANDO EL METODO DE CROSS

DATOS:	
$W(T/m) =$	<b>0.587</b> CEC 2001
$l(m^4) =$	<b>1.00</b> Constante
$L1(m) =$	<b>2.70</b>
$L2(m) =$	<b>4.30</b>



Modelo Matemático para la Obtención de Esfuerzos

##### RIGIDEZ

$$k_1 = 1/L_1 \quad k_1 = 0.37$$

$$k_2 = 1/L_2 \quad k_2 = 0.23$$

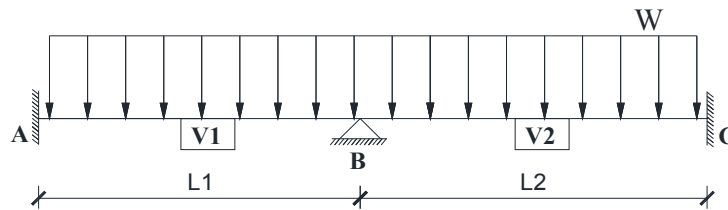
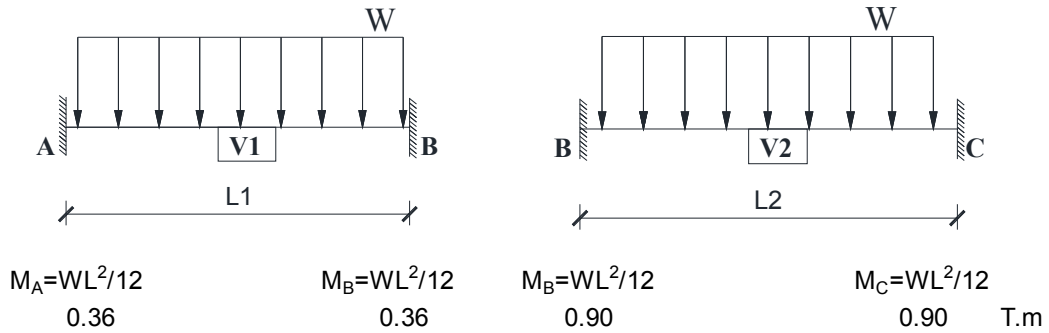
##### FACTOR DE DISTRIBUCION FD

$$FD_1 = k_1 / (k_1 + k_2) \quad FD_1 = 0.61$$

$$FD_2 = k_2 / (k_1 + k_2) \quad FD_2 = 0.39$$



**MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO PERFECTO**



FD	1	0.61	0.39	1
MEP	-0.36	0.36	-0.90	0.90
Deseq.		-0.55		
Equilibrio		0.55		
		0.34	0.21	
Transporte	0.1683307			0.11
Total	-0.19	0.69	-0.69	1.01
	<b>MA</b>	<b>MB</b>		<b>MC</b>
	<b>MA=</b>	<b>0.19</b>		<b>T.m</b>
	<b>MB=</b>	<b>0.69</b>		<b>T.m</b>
	<b>MC=</b>	<b>1.01</b>		<b>T.m</b>

### 5.3. LOSAS BIDIRECCIONALES DE HORMIGÓN ARMADO

#### 5.3.1. Predimensionamiento

Las losas bidireccionales se caracterizan por distribuir las cargas en las dos direcciones, las mismas que se transmiten a los elementos principales.

Para definir la altura mínima de la losa se considera la siguiente ecuación:

$$h = \frac{\ln(800.00 + 0.0712(fy))}{36000.00} ; \quad \text{Ecuación 5.2}$$

$$h = \frac{530(800.00 + 0.0712(4200))}{36000.00}$$

$$h = 16.18 \text{ cm}$$

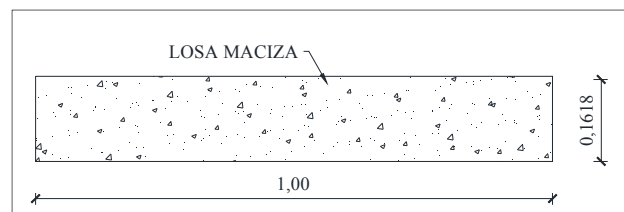
En donde:

h = Altura mínima de la losa (cm).

ln = Longitud o luz mayor entre los apoyos (cm).

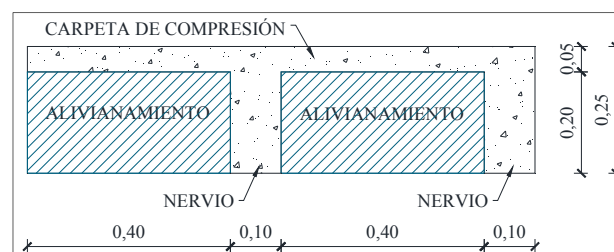
fy = Limite fluencia del acero (Kg/cm<sup>2</sup>).

La altura de h=16.18cm se considera como una losa maciza



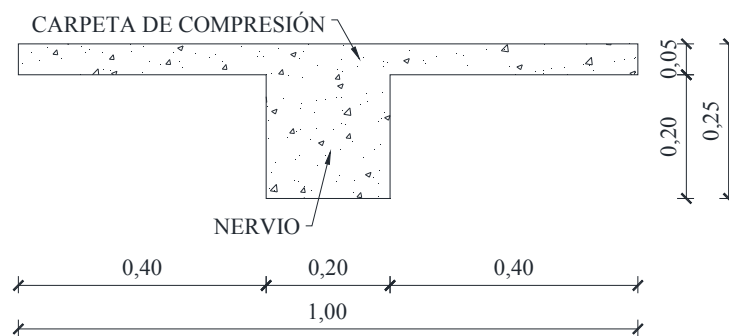
**Figura 5.3:** Corte Tipo de Losa Maciza

Para definir la altura de la losa alivianada equivalente, nos imponemos una altura de losa e igualamos las inercias obteniendo la altura equivalente.



**Figura 5.4:** Corte Tipo de Losa Alivianada

En la Figura 5.4 se muestra un corte típico de una losa alivianada de 25.00 cm de espesor, reticulado en los dos sentidos. La loseta de compresión es de 5.00 cm, los nervios y espaciamentos tienen una distribución de 40-10-40-10cm. Se usa un ancho unitario de un metro para calcular su inercia como una viga T indicada en la Figura 5.4.



**Figura 5.5:** Losa Alivianada como Viga T

A continuación se presenta un cuadro en donde obtenemos la inercia compuesta de la losa alivianada trabajando como una viga T.

**Tabla 5.4:** Cuadro de Inercias de la Losa como Viga T

Figura	b1 (cm)	h1 (cm)	A1 (cm <sup>2</sup> )	y1 (cm)	y1A1 (cm <sup>3</sup> )	d1=y <sub>cg</sub> -y1 (cm)	lo1 (cm <sup>4</sup> )	A1d1 <sup>2</sup> (cm <sup>4</sup> )
Nervio	20.00	20.00	400.00	7.50	3000.00	5.56	13333.33	12345.68
Loseta	100.00	5.00	500.00	17.50	8750.00	-4.44	1041.67	9876.54
<b>Sumatoria</b>			<b>900.00</b>		<b>11750.00</b>		<b>36597.22</b>	

Una vez determinada la inercia total de la figura compuesta de losa alivianada de espesor de 25.00 cm, procedemos a determinar la altura equivalente de una losa maciza, la cual determinamos de siguiente forma.

Datos:

I=36597.22 cm<sup>4</sup>; Inercia Losa Alivianada.

b=100.00 cm; Base de losa Maciza

h=Altura de la Losa Maciza

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{I * 12}{b}}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{36597.22 * 12}{100}}$$

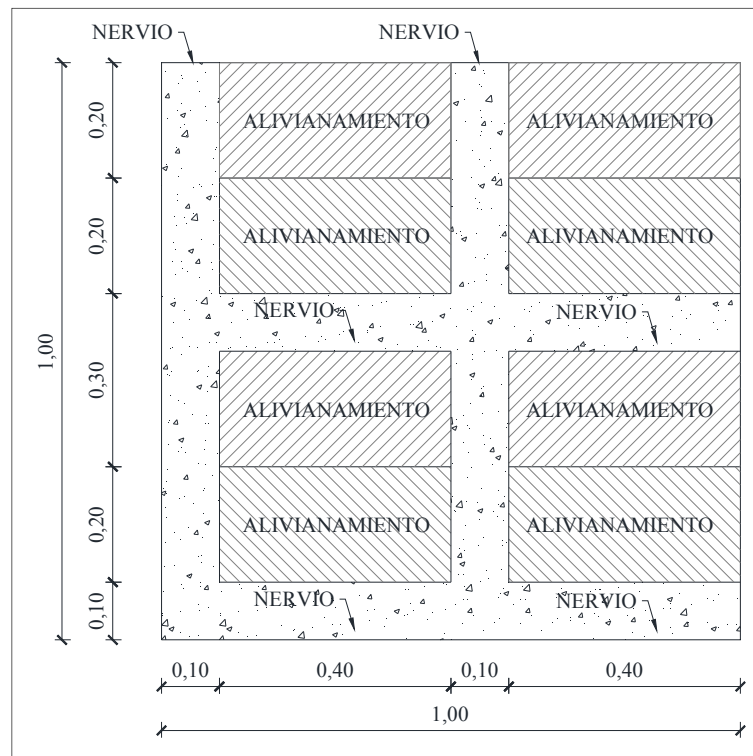
$$h = 16.37 \text{ cm}$$

Al comparar los resultados obtenidos  $h = 16.18 \text{ cm}$  y  $h = 16.37 \text{ cm}$ , podemos concluir que se asume una losa aliviana de  $h=25.00\text{cm}$  de espesor.

### 5.3.2. Análisis de Cargas

#### 5.3.2.1. Determinación de Cargas

Para la determinación de las cargas en las losas bidireccionales se considera la longitud de los nervios que corresponden de 3.60m. Además en el análisis de cargas se considera una losa alivianada de 20cm de espesor la cual se descompone en el siguiente cuadro de análisis de cargas previamente dimensionando la geometría de un metro cuadrado de losa.



**Figura 5.6:** Planta de Losa Alivianada Bidireccional

**Tabla 5.5:** Análisis de Cargas para Losa Bidireccional

<b>ANÁLISIS DE CARGAS</b>			
<b>1. CARGA MUERTA (D)</b>			
<b>1.1. Peso propio losa:</b>			
Nervios:	3.6 x	0.10 m x 0.20 m x 1.00 m x 2.4 T/m <sup>3</sup> =	0.173 T/m <sup>2</sup>
Carpeta		1.00 m x 1.00 m x 0.05 m x 2.4 T/m <sup>3</sup> =	0.120 T/m <sup>2</sup>
Bloques	10 x	0.40 m x 0.20 m x 0.20 m x 1.0 T/m <sup>3</sup> =	0.160 T/m <sup>2</sup>
			0.453 T/m <sup>2</sup>
<b>1.2. Vigas</b>	20% del peso propio losa		= 0.000 T/m <sup>2</sup>
<b>1.3. Paredes (bloques)</b>			= 0.100 T/m <sup>2</sup>
<b>1.4. Acabados</b>			= 0.120 T/m <sup>2</sup>
<b>1.5. Columnas</b>			= 0.000 T/m <sup>2</sup>
		<b>TOTAL (D) =</b>	<b>0.673 T/m<sup>2</sup></b>
<b>2. CARGA VIVA (L)</b>			
2.1. Terraza sin acceso			0.100 T/m <sup>2</sup>
2.2. Ceniza + Granizo (CEC 200)			0.100 T/m <sup>2</sup>
		<b>TOTAL (L) =</b>	<b>0.200 T/m<sup>2</sup></b>

### 5.3.2.2 Combinación de Cargas

La metodología para la combinación de cargas se la realiza con el mismo criterio que su utilizo para el análisis en losas unidireccional, ya que lo único que difiere en estos tipos de losas son las cargas por la diferencia de geometría básicamente en la conformación de los nervios.

Las combinaciones de carga se describen a continuación:

#### Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC 2001)

$$U = 1.4D + 1.7L$$

Donde:

U= Carga última

D= Carga Permanente

L= Carga Viva

Carga Ultima			
D (t/m <sup>2</sup> ) =	0.67	l (t/m <sup>2</sup> ) =	0.20

Ancho Colaborante de Losa	
Acoop (m) =	0.50

U (t/m <sup>2</sup> ) =	1.4D + 1.7L
U (t/m <sup>2</sup> ) =	1.28

Carga Ultima de diseño

U (t/m) =	U * Acoop
U (t/m) =	0.64

Carga Ultima por cada nervio de 50cm

#### Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2011)

$$U = 1.4D$$

$$U = 1.2D + 1.6L + 0.5(Lt \text{ o } S \text{ o } R)$$

$$U = 1.2D + 1.6(Lt \text{ o } S \text{ o } R) + (L \text{ o } 0.5W)$$

$$U = 1.2D + 1.0W + L + 0.5(Lt \text{ o } S \text{ o } R)$$

Donde:

D= Carga muerta

L= Carga Viva

Lt= Sobrecarga

S= Carga de granizo

R=Carga de Lluvia  
W= Carga de Viento

Para el presente caso escogemos la condición más desfavorable que se detalla a continuación:

Carga Ultima			
D (t/m <sup>2</sup> ) =	0.673	L (t/m <sup>2</sup> ) =	0.100

U (t/m <sup>2</sup> ) =	1.2D + 1.6L + 0.5(Lt o S o R)		
U (t/m <sup>2</sup> ) =	1.02		

Carga Ultima de diseño

Ancho Colaborante de Losa	
Acoop (m) =	0.50

U (t/m) =	U * Acoop
U (t/m) =	0.51

Carga Ultima por cada nervio de Acoop=50cm

Al comparar los casos de combinaciones de carga podemos ver que la condición más desfavorable entiendo por desfavorable la condición que más carga tiene, procedemos a adoptar la combinación de CEC 2001 por ser la más crítica.

### 5.3.3. Calculo de Esfuerzos en Losas Bidireccionales y Diseño Estructural

Para el cálculo de los esfuerzos que se producen en las losas Bidireccionales procedemos a analizar por el método de cálculo más conocido que se desarrolla a continuación.

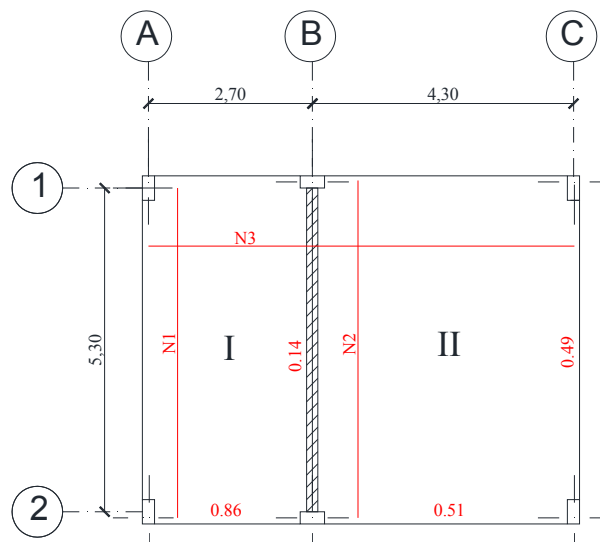
#### 5.3.3.1. Método 3 del Código A.C.I.

- **Método del Nervio Continuo.-** Este método se basa en distribuir las cargas proporcionalmente a las medidas de los ejes aplicando coeficientes de cálculo para la obtención de los esfuerzos.

Este método simplifica los cálculos y además es conservador generando así la garantía que se requiere en estructuras de hormigón armado.

**Tabla 5.6:** Distribución de Cargas en las Direcciones A y B

DISTRIBUCIÓN DE CARGAS			
Tablero	m=A/B	W	Caso 7 (Factor de Distribución)
I	0.50	W <sub>A</sub>	0.86
		W <sub>B</sub>	0.14
II	0.81	W <sub>A</sub>	0.49
		W <sub>B</sub>	0.51



**Figura 5.7:** Ubicación de Nervios y Factores de Carga

**Nervio N1:**

- Datos:
- b = 10.0 cm
  - d = 23.0 cm
  - h = 25.0 cm
  - $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
  - $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
  - $\phi = 0.90$
  - $\beta = 0.85$



**Tabla 5.7:** Calculo de la Armadura de Acero Nervio Uno (N1)

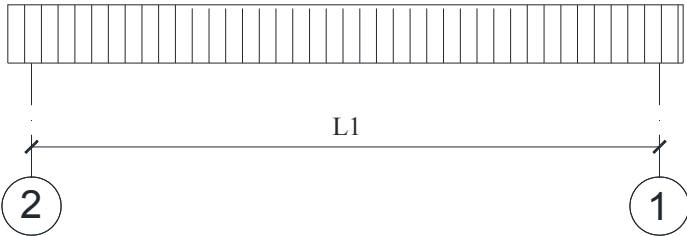
<b>CALCULO DE MOMENTOS PARA UN VANO APOYADOS EN VIGA</b>			
<b>DATOS:</b>		CEC 2001	
W (T/m)=	<b>0.09</b>		
L1 (m)=	<b>5.30</b>		
$WL^2/12$	$WL^2/14$	$WL^2/12$	<b>Mu</b>
<b>0.21</b>	<b>0.18</b>	<b>0.21</b>	<b>(t-m)</b>
<b>0.24</b>	<b>0.21</b>	<b>0.24</b>	<b>As Cal (cm2)</b>
<b>0.001</b>	<b>0.001</b>	<b>0.001</b>	<b>ρcal</b>
<b>0.022</b>	<b>0.022</b>	<b>0.022</b>	<b>ρb</b>
<b>0.016</b>	<b>0.016</b>	<b>0.016</b>	<b>ρmax</b>
<b>0.003</b>	<b>0.003</b>	<b>0.003</b>	<b>ρmin</b>
<b>0.767</b>	<b>0.767</b>	<b>0.767</b>	<b>As min cm2</b>
<b>As Mín.</b>	<b>As Mín.</b>	<b>As Mín.</b>	<b>Result. Final</b>
<b>1 ∅ 10mm</b>	<b>1 ∅ 10mm</b>	<b>1 ∅ 10mm</b>	<b>Varillas</b>

**Nervio N2:**

Datos:

- b = 10.0 cm
- d = 23.0 cm
- h = 25.0 cm
- $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
- $\phi = 0.90$
- $\beta = 0.85$

**Tabla 5.8:** Calculo de la Armadura de Acero Nervio Dos (N2)

<b>CALCULO DE MOMENTOS PARA UN VANO APOYADOS EN VIGA</b>			
<b>DATOS:</b>		CEC 2001	
W (T/m)=	<b>0.31</b>		
L1 (m)=	<b>5.30</b>		
$U \cdot W_B = 0.64 \cdot 0.49 = 0.31 \text{ t/m}$ 			
$WL^2/12$	$WL^2/14$	$WL^2/12$	<b>Mu</b>
<b>0.73</b>	<b>0.62</b>	<b>0.73</b>	<b>(t-m)</b>
<b>0.87</b>	<b>0.74</b>	<b>0.87</b>	<b>As Cal (cm2)</b>
<b>0.004</b>	<b>0.003</b>	<b>0.004</b>	<b>ρcal</b>
<b>0.022</b>	<b>0.022</b>	<b>0.022</b>	<b>ρb</b>
<b>0.016</b>	<b>0.016</b>	<b>0.016</b>	<b>ρmax</b>
<b>0.003</b>	<b>0.003</b>	<b>0.003</b>	<b>ρmin</b>
<b>0.767</b>	<b>0.767</b>	<b>0.767</b>	<b>As min cm2</b>
<b>As Cal.</b>	<b>As Mín.</b>	<b>As Cal.</b>	<b>Result. Final</b>
<b>1 ∅ 12mm</b>	<b>1 ∅ 10mm</b>	<b>1 ∅ 12mm</b>	<b>Varillas</b>

**Nervio N3:**

Datos:  
 b = 10.0 cm  
 d = 23.0 cm  
 h = 25.0 cm  
 $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$   
 $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$   
 $\phi = 0.90$   
 $\beta = 0.85$

**Tabla 5.9:** Calculo de la Armadura de Acero Nervio Dos (N3)

CALCULO DE MOMENTOS PARA DOS VANOS APOYADOS EN VIGA					
<b>DATOS:</b>		CEC 2001			
$W_A(T/m)=$	<b>0.550</b>				
$W_B(T/m)=$	<b>0.320</b>				
$L1(m)=$	<b>2.70</b>				
$L2(m)=$	<b>4.30</b>				
$WL^2/24$	$WL^2/14$	$WL^2/9$	$WL^2/14$	$WL^2/24$	<b>Mu</b>
<b>0.17</b>	<b>0.29</b>	<b>0.75</b>	<b>0.42</b>	<b>0.25</b>	<b>(t-m)</b>
<b>0.19</b>	<b>0.34</b>	<b>0.90</b>	<b>0.50</b>	<b>0.29</b>	<b>As (cm2)</b>
<b>0.001</b>	<b>0.001</b>	<b>0.004</b>	<b>0.002</b>	<b>0.001</b>	<b><math>\rho_{cal}</math></b>
<b>0.022</b>	<b>0.022</b>	<b>0.022</b>	<b>0.022</b>	<b>0.022</b>	<b><math>\rho_b</math></b>
<b>0.016</b>	<b>0.016</b>	<b>0.016</b>	<b>0.016</b>	<b>0.016</b>	<b><math>\rho_{max}</math></b>
<b>0.003</b>	<b>0.003</b>	<b>0.003</b>	<b>0.003</b>	<b>0.003</b>	<b><math>\rho_{min}</math></b>
<b>0.767</b>	<b>0.767</b>	<b>0.767</b>	<b>0.767</b>	<b>0.767</b>	<b>As min cm2</b>
<b>As MÍN.</b>	<b>As MÍN.</b>	<b>As Cal.</b>	<b>As MÍN.</b>	<b>As MÍN.</b>	<b>Result. Final</b>
<b>1 <math>\phi</math> 10mm</b>	<b>1 <math>\phi</math> 10mm</b>	<b>1 <math>\phi</math> 12mm</b>	<b>1 <math>\phi</math> 10mm</b>	<b>1 <math>\phi</math> 10mm</b>	<b>Varilla Comercial</b>

### 5.3.4. Planos de Detalle

Los Planos de Detalle, cantidades de obra y volúmenes de materiales se encuentran en el ANEXO A.

## 5.4. DISEÑO DE LOSAS CON PANEL METALICO (PLACA COLABORANTE)

### 5.4.1. Introducción

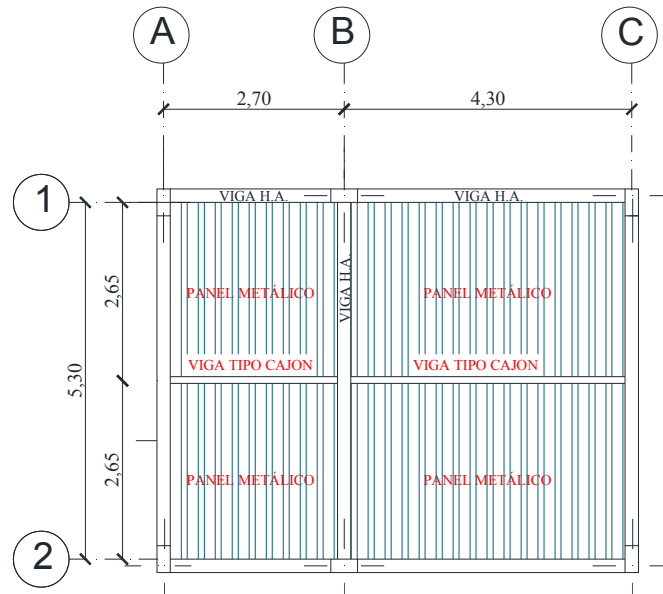
Este tipo de Losas están formadas por una Lámina de Acero conformadas en frío (steel deck) y concreto. Para formar la losa el concreto u hormigón es vaciado en el panel metálico de manera monolítica conformando una sección compuesta con características resistentes para resistir solicitaciones aplicadas.

El panel metálico o láminas de acero tiene dos funciones principales las cuales son:

- Servir de encofrado para el vaciado del hormigón.
- Actúa como refuerzo positivo del acero, dando la característica de lámina colaborante una vez que el concreto haya endurecido o fraguado.

### 5.4.2. Predimensionamiento

Para el diseño se predimensiona el tipo de panel metálico de acuerdo a la longitud entre apoyos y carga a la cual este expuesta, en nuestro caso se colocara una viga de perfil metálico tipo cajón, la cual acorta la luz entre apoyos. Los parámetros geométricos que tiene la losa se define en la Figura 5.1(a) y en la figura que se describe a continuación con la división de la viga metálica de apoyo.



**Figura 5.8:** Ubicación de Vigas Metálicas Tipo Cajón y Panel Metálico (Paca Colaborante)

Definiendo en un primer análisis consideraremos un panel metálico de **Calibre 22 (espesor 0.75mm)** el cual si cumple las condiciones será el cual utilizemos en el diseños final, las características y propiedades de este tipo de panel vienen definidas por las tablas de ayuda en los manuales de los fabricantes de este material y que se describen a continuación en la Tabla 5.10.

**Tabla 5.10(a):** Propiedades de las Láminas de Panel Metálico

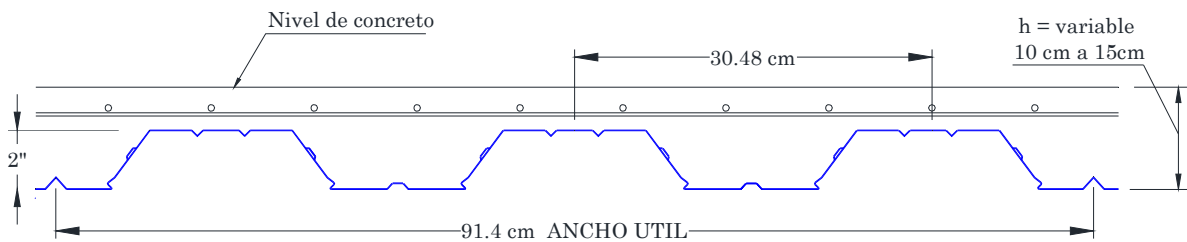
TABLA DE PROPIEDADES METALDECK 2"								
PROPIEDADES DEL PANEL								
CALIBRE	ESPESOR	PESO	Is	Ss (+)	Si(+)	Ss(-)	Si(-)	As
	mm	Kg/m	cm <sup>4</sup> /m	cm <sup>3</sup> /m	cm <sup>3</sup> /m	cm <sup>3</sup> /m	cm <sup>3</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m
<b>22</b>	<b>0.75</b>	<b>6.97</b>	<b>47.41</b>	<b>17.85</b>	<b>19.11</b>	<b>15.25</b>	<b>17.19</b>	<b>9.37</b>
20	0.90	8.89	57.22	21.24	22.96	19.52	20.75	11.37
18	1.20	11.83	76.20	28.23	30.46	27.90	28.55	15.05
16	1.50	14.70	95.32	35.00	37.96	34.78	36.72	18.99

**Tabla 5.10 (b):** Propiedades de la Sección Compuesta

PROPIEDADES DE LA SECCION COMPUESTA							
Calibre 22 de 2"		ESPESOR DE LA LOSA (cm)					
		10	11	12	13	14	15
Peso Propio	Kg/m <sup>2</sup>	186.70	204.83	234.70	251.23	282.70	297.63
Ic	cm <sup>4</sup> /m	353.40	435.04	564.30	678.11	835.50	985.00
Scc	cm <sup>3</sup> /m	111.90	18.57	155.10	175.74	205.10	229.61
Sic	cm <sup>3</sup> /m	51.70	57.12	67.50	74.18	84.20	92.05
Vr	Kg/m	1006.00	1118.00	1209.00	1280.00	1331.00	1262.00
Ac	cm <sup>2</sup> /m	591.90	683.35	776.50	870.96	935.00	1004.76

### 5.4.3. Análisis de Cargas

En el análisis de cargas se considera el peso propio del panel, el peso del hormigón sobre el panel, la carga muerta adicional, la carga viva y cargas sobre expuestas, en el siguiente cuadro se muestra el detalle de las cargas y la sección transversal a la cual va a ser diseñada.



**Figura 5.9:** Sección Transversal de la de la Placa Colaborante

**Tabla 5.11:** Análisis de Cargas

ANALISIS DE CARGAS			
<b>1. CARGA MUERTA (D)</b>			
<b>1.1. Peso propio losa:</b>			
Panel Metálico Calibre 22 (e=0.75mm)	=	0.007	T/m <sup>2</sup>
Hormigón Armado Sobre Panel Metálico	=	0.184	T/m <sup>2</sup>
		0.191	T/m <sup>2</sup>
<b>1.2. Paredes (bloques)</b>	=	0.100	T/m <sup>2</sup>
<b>1.3. Acabados</b>	=	0.120	T/m <sup>2</sup>
<b>1.4. Cielo Razo Falso</b>	=	0.015	T/m <sup>2</sup>
<b>1.5. Instalaciones Electricas y Sanitarias</b>	=	0.020	T/m <sup>2</sup>
	<b>TOTAL (D) =</b>	<b>0.446</b>	<b>T/m<sup>2</sup></b>
<b>2. CARGA VIVA (L)</b>			
2.1. Terraza sin acceso		0.100	T/m <sup>2</sup>
2.2. Ceniza + Granizo (CEC 2001)		0.100	T/m <sup>2</sup>
	<b>TOTAL (L) =</b>	<b>0.200</b>	<b>T/m<sup>2</sup></b>

#### 5.4.4. Calculo de Esfuerzos y Diseño Estructural de la Placa Colaborante (Panel Metálico)

##### 5.4.4.1. Calculo de Deflexión

La deflexión del panel metálico o placa colaborante, se produce por su propio peso y el de concreto, esta deberá ser menor o igual a  $L/180$  ó 1.90 cm. De acuerdo a esta revisión definimos si necesita apuntalamiento en la longitud media de la viga metálica tipo cajón que sirve de apoyo.

- **Deflexión Panel Metálico + Hormigón**

#### Deflexión Admisible ( $\delta_{adm}$ )

$$\delta_{adm} = menor \left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{180} \\ 1.9cm \end{array} \right.$$

$$\delta_{adm} = \text{menor} \left\{ \begin{array}{l} \frac{265}{180} \\ 1.9\text{cm} \end{array} \right.$$

$$\delta_{adm} = \text{menor} \left\{ \begin{array}{l} 1.47 \text{ cm} \\ 1.90 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$\delta_{adm} = 1.47\text{cm}$$

### Deflexión Calculada ( $\delta_{cal}$ )

De la Tabla 4.10 obtenemos las propiedades geométricas del panel donde:

$$I = 47.41\text{cm}^4/\text{m} \quad \text{Momento de inercia de la sección de acero.}$$

$$W_{dl} = 204.83 \text{ Kg/m}^2 \quad \text{Peso propio de la Sección compuesta.}$$

$$\delta_{cal} = \frac{5 W_{dl} L^4}{384 E_s I} * 100^3$$

$$\delta_{cal} = \frac{5 (204.83) * (2.65)^4}{384 * (2 * 10^6) * 47.41} * 100^3$$

$$\delta_{cal} = 1.38 \text{ cm}$$

$\delta_{adm} < \delta_{cal}$ ; Por lo tanto no requiere apuntalamiento.

- **Deflexión Panel Metálico + Hormigón + Peso por Instalación**

Se recomienda considerar la carga viva por instalación del producto de 100 Kg/m<sup>2</sup>.

El método de diseño por el cual se realizan los cálculos es por esfuerzos admisibles por lo tanto tenemos:

$$F_b = 0.6 F_y \quad \text{Esfuerzo Admisible a la Tracción}$$

$$F_b = 0.6 * 2530 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_b = 1510 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Donde: } F_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{Limite de Fluencia para acero grado 37}$$



De la Tabla 5.10(a) de las propiedades encontramos:

$$S_s = 17.85 \text{ cm}^3/\text{m}; \quad S_i = 19.11 \text{ cm}^3/\text{m}$$

### **Carga Total (Wt)**

$$W_t = W_{dl} + 100 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_t = 204.83 \text{ Kg/m}^2 + 100 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_t = 304.83 \text{ Kg/m}^2$$

### **Momento Actuante (M)**

$$M = \frac{W_t * L^2}{8}$$

$$M = \frac{304.83 * 2.65^2}{8}$$

$$M = 267.58 \text{ Kg.m}$$

$$M = 26758.35 \text{ Kg.cm}$$

### **Esfuerzo en la Fibra Superior ( $f_{sup}$ )**

$$f_{sup} = \frac{M}{S_s}$$

$$f_{sup} = \frac{26758.35 \text{ Kg.cm}}{17.85 \text{ cm}^3/\text{m}}$$

$$f_{sup} = 1499.06 \text{ Kg/cm}^2$$

### **Esfuerzo en la Fibra Inferior ( $f_{inf}$ )**

$$f_{inf} = \frac{M}{S_i}$$

$$f_{inf} = \frac{26758.35 \text{ Kg.cm}}{19.11 \text{ cm}^3/\text{m}}$$

$$f_{inf} = 1400.22 \text{ Kg/cm}^2$$

Por los tanto tenemos:

$$f_{sup} < F_b ; \text{ NO REQUIERE APUNTALAMIENTO}$$
$$f_{inf} < F_b ; \text{ NO REQUIERE APUNTALAMIENTO}$$

- **Esfuerzo Producido por el Peso Propio (Panel + Hormigón)**

El siguiente análisis controla el esfuerzo producido por la carga concentrada en el proceso de construcción debido a la maquinaria utilizada en la construcción. Dicha carga es igual a 90 Kg sobre una granja de 30 cm de ancho. El esfuerzo deberá ser menor de 1.33 (0.6 Fy).

$$M = \frac{W_d * L^2}{8} + \frac{\left(\frac{P}{0.30 \text{ m}}\right) * L}{4}$$

$$M = \frac{(204.83) * (2.65)^2}{8} + \frac{\left(\frac{90}{0.30}\right) * 2.65}{4}$$

$$M = 346.22 \text{ Kg. m}$$

$$M = 34622.00 \text{ Kg. cm}$$

#### **Esfuerzo en la Fibra Superior ( $f_{sup}$ )**

$$f_{sup} = \frac{M}{S_s}$$

$$f_{sup} = \frac{34622.00 \text{ Kg. cm}}{17.85 \text{ cm}^3/\text{m}}$$

$$f_{sup} = 1939.60 \text{ Kg/cm}^2$$

#### **Esfuerzo en la Fibra Inferior ( $f_{inf}$ )**

$$f_{inf} = \frac{M}{S_i}$$

$$f_{inf} = \frac{34622.00 \text{ Kg.cm}}{19.11 \text{ cm}^3/\text{m}}$$

$$f_{inf} = 1811.72 \text{ Kg/cm}^2$$

#### **Esfuerzo Admisible ( $F_b$ )**

$$F_b = 1.33(0.6 F_y)$$

$$F_b = 1.33(0.6 * 2530 \text{ Kg/cm}^2)$$

$$F_b = 2018.94 \text{ Kg/cm}^2$$

Por los tanto tenemos:

$$f_{sup} < F_b ; \text{ NO REQUIERE APUNTALAMIENTO}$$
$$f_{inf} < F_b ; \text{ NO REQUIERE APUNTALAMIENTO}$$

#### **5.4.4.2. Diseño de la Sección Compuesta**

- **Revisión de la Sección Compuesta**

Control de la deflexión por la sobrecarga de maquinaria, se considera un valor menor o igual a:

$$\delta_{adm} = \frac{L}{360}$$

De la Tabla 5.10 (b) encontramos:

$I_c = 435.04 \text{ cm}^3/\text{m};$	Inercia Compuesta
$W_D = 900 \text{ Kg/m};$	Sobre carga de maquinaria en el proceso de construcción.

#### **Deflexión Admisible ( $\delta_{adm}$ )**

$$\delta_{adm} = \frac{L}{360}$$

$$\delta_{adm} = \frac{265}{360}$$

$$\delta_{adm} = 0.73 \text{ cm}$$

### Calculo de Deflexión ( $\delta_{cal}$ )

$$\delta_{cal} = \frac{5W_D L^4 (100^3)}{348 E_s I_c}$$

$$\delta_{cal} = \frac{5 * 900 * 2.65^4 (100^3)}{348 (2 \times 10^6) * 435.04}$$

$$\delta_{cal} = 0.73 \text{ cm}$$

$$\delta_{cal} < \delta_{adm} \quad ; \quad \text{NO REQUIERE APUNTALAMIENTO}$$

- **Esfuerzo de la fibra superior del concreto, siendo menor o igual a  $f'_c$ .**

De la Tabla 5.10 obtenemos las propiedad del panel metálico  $S_{cc} = 128.57 \text{ cm}^3/\text{m}$ .

$$f_c = 0.45 f'_c$$

$$f_c = 0.45 (210 \text{ Kg}/\text{cm}^2)$$

$$f_c = 94.50 \text{ Kg}/\text{cm}^2$$

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = \frac{(2 \times 10^6)}{15000 * \sqrt{210}}$$

$$n = 9.20$$

Por lo tanto tenemos:

$$f = \frac{W_D L^2 (100)}{8 * n * S_{cc}}$$

$$f = \frac{900 * 2.65^2(100)}{8 * 9.20 * 128.57}$$

$$f = 66.79 \text{ Kg/cm}^2$$

$f < f_c$  ; *NO REQUIERE AUMENTAR CAPA DE HORMIGÓN*

- **Revisión a Cortante.**

De la Tabla de propiedades de la Sección Compuesta tenemos:

$$V_r = 1213.00 \text{ Kg/m.}$$

**Esfuerzo Cortante (V)**

$$V = \frac{W_D * L}{2}$$

$$V = \frac{900 * 2.65}{2}$$

$$V = 1192.50 \text{ Kg}$$

$V < V_r$  ; *NO REQUIERE AUMENTAR CAPA DE HORMIGÓN*

- **Tensión de Lámina menor a 0.6 Fy**

De tabla obtenemos:

$$S_i = 57.12 \text{ cm}^3/\text{m}$$

$$W_t = W_{dl} + W_{DISEÑO}$$

$$W_t = 204.83 + 900$$

$$W_t = 1104.83 \text{ Kg/m}^2$$

**Momento Actuante**

---

$$M = \frac{W_t * L^2}{8}$$

$$M = \frac{1104.83 * 2.65^2}{8}$$

$$M = 969.83 \text{ Kg. m}$$

$$M = 96983.35 \text{ Kg. cm}$$

### **Esfuerzo Actuante**

$$f_{inf} = \frac{M}{S_i}$$

$$f_{inf} = \frac{96983.35}{67.50}$$

$$f_{inf} = 1436.79 \text{ Kg/cm}^2$$

### **Esfuerzo Permitido**

$$F_b = 0.6 F_y$$

$$F_b = 0.6 (2530)$$

$$F_b = 1510 \text{ Kg/cm}^2$$

$f_{inf} < F_b$  ; **NO REQUIERE AUMENTAR CAPA DE HORMIGÓN**

**Por lo tanto el Panel de Diseño Metálico a utilizar es Calibre 22 (espesor 0.75mm; h=11cm)**

#### **5.4.4.3. Calculo del Acero de Temperatura**

- **Armadura de Temperatura**

$$A_s = 0.018 * B * d$$

$$A_s = 0.0018 * 100 * 6$$

$$A_s = 1.08 \text{ cm}^2$$

$$A_s \approx 1\phi 5.5\text{mm}@20\text{cm Malla Electrosoldada}$$

#### 5.4.4.4. Diseño de Conectores a Cortante

Para el diseño de conectores a cortante se utiliza la metodología de cálculo del código LRFD, el cual describe la aplicación y diseño de cada elemento estructural.

- **Determinación del Ancho Efectivo  $b_e$**

$$b_e = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{Luz}{4} = \frac{430 \text{ cm}}{4} = 107.5 \text{ cm} \\ \text{Distancia entre vigas} = 265\text{cm} \end{array} \right.$$

Por lo tanto  $b_e = 107.5 \text{ cm}$

- **Fuerza Cortante  $V_h$**

$$V_h = \min \left\{ \begin{array}{l} A_s * F_y = 19.35 * 2 * 2530 = 97911.00 \text{ Kg} \\ 0.85 * f'_c * A_c = 0.85 * 210 * 107.5 * 6 = 115132.50 \text{ Kg} \end{array} \right.$$

Se asume una viga tipo cajón con dos perfiles G200x100x30x3mm A36  $A=19.35\text{cm}^2$

Se asume  $V_h = 97911.00 \text{ Kg}$ .

- **Elección del Diámetro y Fuerza Nominal**

El diámetro posible según Tabla de Resistencia Nominal al Cortante del Código LRFD para una resistencia  $f'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$  es igual a 13mm y una longitud mínima del conector igual a 50mm.

### Área del conector

$$A_{sc} = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 1.4^2}{4} = 1.54 \text{ cm}^2$$

### Modulo de Elasticidad del Hormigón

$$E_c = 15000 * \sqrt{210} = 3'150000 \frac{Kg}{cm^2}$$

### Fuerza Nominal

$$Q_n = 0.5 * A_{sc} * \sqrt{f'_c * E_c} = 0.5 * 1.54 * \sqrt{210 * 3150000} = 19804.12 \text{ Kg}$$

La separación longitudinal mínima es  $6d = 6 * 1.4 = 8.40 \text{ cm}$

La separación transversal mínima es  $4d = 4 * 1.4 = 5.6 \text{ cm}$

La separación longitudinal máxima es  $8t = 8 * 6 = 48 \text{ cm}$

- **Número de Conectores Requerido**

$$N1 = \frac{Vh}{Q_n} = \frac{97911.00}{19804.12} = 4.94 \approx 5$$

Los conectores que resultan de la ecuación anterior deberán estar espaciados de manera dentro de la longitud dentro de la longitud donde ellos son requeridos, además nos indica el número de conectores de cortante requeridos entre el punto de momento nulo y el punto de momento máximo. Para el caso de una viga simplemente apoyada y uniformemente cargada con  $2N1$  conectores serán suficientes, serán suficientes los cuales estarán espaciados de manera uniforme. Por tal razón el número de conectores necesarios será de 6 a partir del momento nulo hasta el momento máximo, sin embargo en nuestro caso



necesitamos 12 conectores para cubrir toda la longitud de la viga de 4.40 m y que irán separados a cada 30cm.

Como suma total de conectores considerando toda la longitud de las dos luces igual a 7.0 m tenemos un **Total de 23 Conectores a lo largo del perfil metálico**, por lo tanto:  
**1 Conector 14mm x 50mm @ 30cm.**

#### **5.4.5. Planos de Detalle**

Los Planos de Detalle, planilla de perfiles y volúmenes se encuentran en el ANEXO B.

### **5.5.5.5. DISEÑO DE LOSAS CON CAÑA DE GUADUA ANGUSTIFOLIA**

#### **5.5.1. Antecedentes**

En el apartado anterior se observa cómo se realizó los ensayos de laboratorio, en el cual se pudo verificar el comportamiento de la caña con el hormigón. Con estos resultados se procede a realizar el diseño de la losa para nuestro caso propuesto que se describe en el numeral 5.1.

#### **5.5.2. Predimensionamiento**

Al igual que las losas de hormigón armado con acero, se considera el mismo análisis ya que las losas bidireccionales se caracterizan por distribuir las cargas en las dos direcciones, las mismas que se transmiten a los elementos estructurales como vigas, columnas y cimentación.

La altura mínima de la losa define la siguiente ecuación, ya que interviene el límite de fluencia de la caña guadua.

En donde:

$h$  = Altura mínima de la losa (cm).

$l_n$  = Longitud o luz mayor entre los apoyos (cm).

$f_{yc}$  = Límite fluencia de la caña guadua igual a 742 Kg/cm<sup>2</sup>

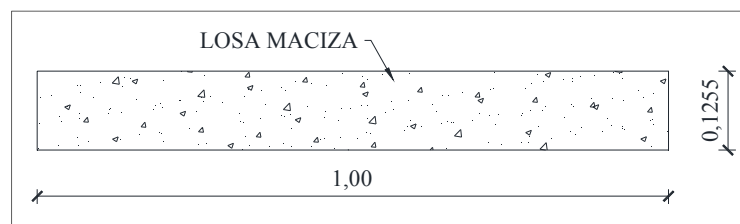
$$F_{yc} = 742 \text{ Kg/cm}^2$$

$$h = \frac{\ln(800.00 + 0.0712(f_{yc}))}{36000.00} ; \quad \text{Ecuación 5.3}$$

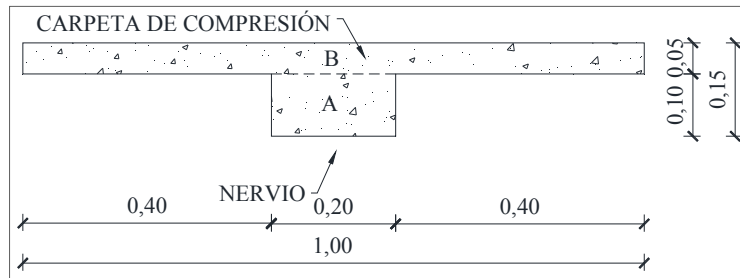
$$h = \frac{530(800.00 + 0.0712(742))}{36000.00}$$

$$h = 12.55 \text{ cm}$$

La altura de  $h=12.55$  cm se considera como una losa maciza, para definir la altura de la losa alivianada equivalente, nos imponemos una altura de losa e igualamos las inercias obteniendo la altura similar para una viga T como se observa en la Figura 5.11.



**Figura 5.10:** Corte Típico de Losa Maciza

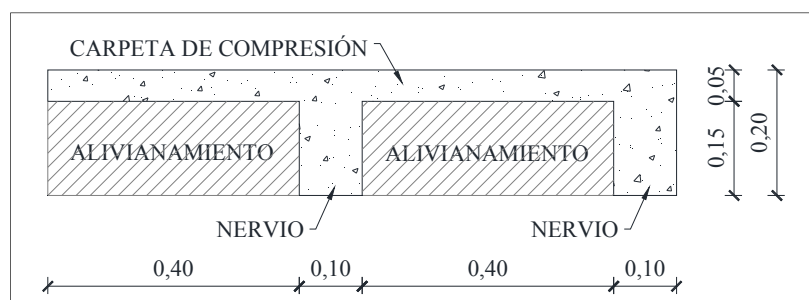


**Figura 5.11:** Corte Típico de Losa con Viga T

**Tabla 5.12:** Inercia de Losa con Viga T de espesor igual a 15cm

Figura	b1 (cm)	h1 (cm)	A1 (cm <sup>2</sup> )	y1 (cm)	y1A1 (cm <sup>3</sup> )	d1=y <sub>cg</sub> -y1 (cm)	lo1 (cm <sup>4</sup> )	A1d1 <sup>2</sup> (cm <sup>4</sup> )
Nervio	20.00	10.00	200.00	7.50	1500.00	7.14	1666.67	10204.08
Loseta	100.00	5.00	500.00	17.50	8750.00	-2.86	1041.67	4081.63
<b>Sumatoria</b>			<b>700.00</b>		<b>10250.00</b>			<b>16994.05</b>
<b>Altura Equivalente</b>		<b>h=</b>	<b>12.6812 cm</b>					

Al comparar las inercias podemos observar que nos muestra una equivalencia para una losa de 15cm de espesor, debido a esto se define que la altura mínima para losas alivianadas es de 20cm según el CEC y la NEC con lo cual tenemos:



**Figura 5.12:** Corte Tipo de Losa Alivianada e=20cm

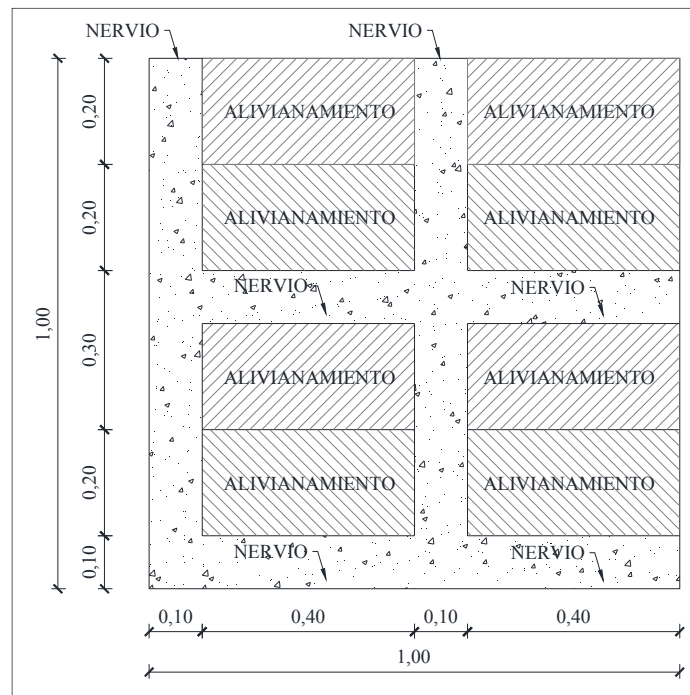
### 5.5.3. Análisis de Cargas

#### 5.5.3.1. Determinación de Cargas

En el análisis de cargas se considera una losa alivianada de 20cm de espesor la cual se descompone en el siguiente cuadro de cargas previamente dimensionando la geometría para un metro cuadrado de losa. Las cargas que se presentan son las consideradas solo en la losa a diferencia de las cargas totales como peso de vigas y columnas las cuales son necesarias para diseñar elementos como vigas, columnas, zapatas, etc.

**Tabla 5.13:** Análisis de Cargas para Losa Bidireccional e=20cm

ANALISIS DE CARGAS							
<b>1. CARGA MUERTA (D)</b>							
<b>1.1. Peso propio losa:</b>							
Nervios:	3.6 x	0.10 m	x	0.15 m	x	1.00 m	x 2.2 T/m3 = 0.119 T/m2
Carpeta		1.00 m	x	1.00 m	x	0.05 m	x 2.2 T/m3 = 0.110 T/m2
Bloques	10 x	0.40 m	x	0.20 m	x	0.20 m	x 1.0 T/m3 = 0.160 T/m2
							0.389 T/m2
<b>1.2. Paredes (bloques)</b>							= 0.100 T/m2
<b>1.3. Acabados</b>							= 0.120 T/m2
<b>TOTAL (D)</b>							<b>= 0.609 T/m2</b>
<b>2. CARGA VIVA (L)</b>							
2.1. Terraza sin acceso							0.100 T/m2
2.2. Ceniza + Granizo (CEC 2001)							0.100 T/m2
<b>TOTAL (L)</b>							<b>= 0.200 T/m2</b>



**Figura 5.13:** Planta de Losa Alivianada Bidireccional

### 5.5.3.2 Combinación de Cargas

La metodología para la combinación de cargas se la realiza con el mismo criterio que su utilizo para el análisis en losas bidireccionales de hormigón armado en el apartado 5.3.

Las combinaciones de carga se describen a continuación:

#### **Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC 2001)**

$$U = 1.4D + 1.7L$$

Donde:

U= Carga última

D= Carga Permanente

L= Carga Viva

Carga Ultima			
D (t/m2) =	0.609	L (t/m2) =	0.200

U (t/m2) =	1.4D + 1.7L
U (t/m2) =	1.19232

Carga Ultima de diseño

Ancho Colaborante de Losa	
Acoop (m) =	0.50

U (t/m) =	U * Acoop
U (t/m) =	0.59616

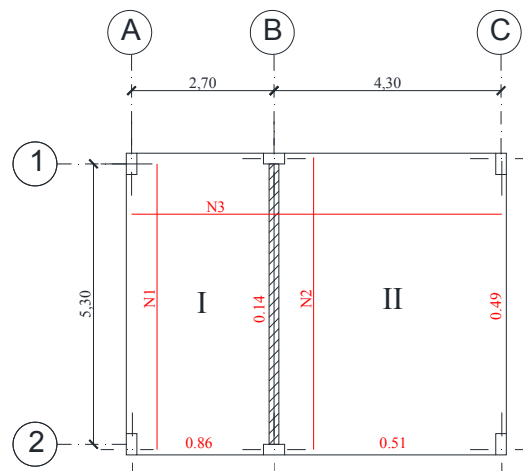
Carga Ultima por cada nervio de 50cm

#### 5.5.4. Determinación de Esfuerzos y Diseño de la Losa

Para la determinación de los esfuerzos utilizamos el método de los coeficientes del ACI, además en el diseño de la sección se considera el esfuerzo a la tracción de la guadua el cual nos define la sección de caña guadua que necesitamos. El análisis a seguir en el diseño y la obtención de esfuerzos es el mismo que se considera para las losas tradicionales en hormigón armado, a diferencia del acero de refuerzo que en nuestro caso se utiliza como refuerzo el acero vegetal o caña de guadua. En la Figura 5.14 y la Tabla 5.14 se encuentra la forma de distribución de cargas para losas bidireccionales, siguiendo este proceso y aplicando el método de los coeficientes del ACI tenemos:

**Tabla 5.14:** Distribución de Cargas en las Direcciones A, B.

DISTRIBUCIÓN DE CARGAS			
Tablero	m=A/B	W	Caso 7 (Factor de Distribución)
I	0.50	W <sub>A</sub>	0.86
		W <sub>B</sub>	0.14
II	0.81	W <sub>A</sub>	0.49
		W <sub>B</sub>	0.51



**Figura 5.14:** Ubicación de Nervios y Factores de Carga

#### 5.5.4.1. Calculo del Nervio N1

Una vez obtenidos los factores de distribución de cargas se procede a calcular los momentos actuantes en cada nervio, para ejemplificar el método de cálculo se realiza el diseño del nervio N1.

#### Análisis de Cargas:

$$U = 1.4D * 1.6L$$

$$U = 1.4 (0.609) * 1.7 (0.20)$$

$$U = 1.192 \text{ T/m}^2$$

$$W_{\text{nervio}} = \text{Ancho cooperante} * \text{Carga Ultima}$$

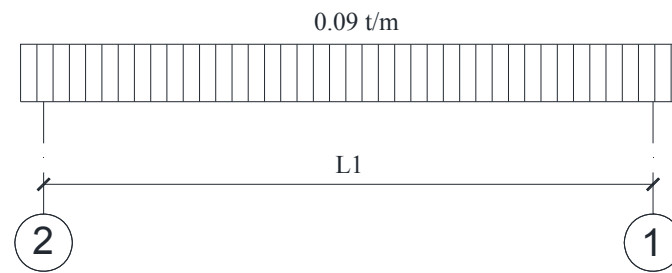
$$W_{\text{nervio}} = 0.50 * 1.192 \text{ T/m}^2$$

$$W_{\text{nervio}} = 0.5963 \text{ T/m}$$

$$W_B = W_{\text{nervio}} * \text{Factor de Distribución}$$

$$W_B = 0.5963 \text{ T/m} * 0.14$$

$$W_B = 0.09 \text{ T/m}$$



**Figura 5.15:** Carga Actuante en el Nervio N1

De acuerdo al método de los coeficientes del ACI tenemos:

$$M = \frac{WL^2}{12}; \text{ en los apoyos}$$

$$M = \frac{0.09 * 5.30^2}{12}$$

$$M = 0.21 \text{ T. m}$$

$$M = \frac{WL^2}{14}; \text{ en el centro}$$

$$M = \frac{0.09 * 5.30^2}{14}; \text{ en el centro}$$

$$M = 0.1805 \text{ T. m}$$

Determinamos la sección con los siguientes datos:

- **En los Apoyos**

$$b = 10\text{cm}$$

$$d = 18 \text{ cm}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$M = 0.21 \text{ T.m} = 21000 \text{ Kg.cm}$$

$$\phi = 0.90 \text{ Factor de Reducción para Flexión.}$$

$$k = \text{Constante}$$

$$F = 1.40 \text{ Factor de Mayoración para la Sección de la Caña Guadua Capítulo IV, Sección 4.6.6.}$$



Aplicando la fórmula 3.4. del Capítulo III, procedemos a encontrar la sección de la armadura de caña.

$$Asc = \frac{k}{Fyc} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2Mu}{\phi \cdot k \cdot d}} \right] * 1.40$$

$$k = 0.85f'c \cdot b \cdot d$$

$$k = 0.85 * 210 * 10 * 18$$

$$k = 32130.00$$

$$Asc = \frac{32130.00}{742.00} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 21000}{0.90 * 32130.00 * 18}} \right] * 1.40$$

$$Asc = 43.30 [0.0412] * 1.40$$

$$Asc = 2.49 \text{ cm}^2 \text{ Sección de Caña Guadua Calculada}$$

**Sección Mínima:**

$$Asc \text{ min} = \frac{14}{Fyc} * b * d$$

$$Asc \text{ min} = \frac{14}{742 \text{ Kg/cm}^2} * 10 * 18$$

$$Asc \text{ min} = 0.0188 * 10 * 18$$

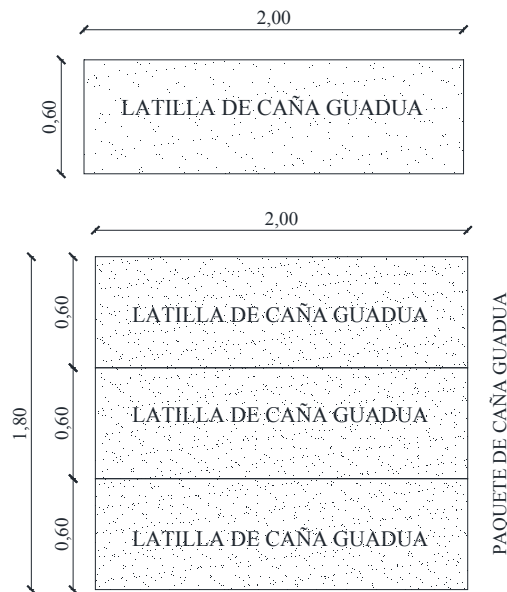
$$Asc \text{ min} = 3.39 \text{ cm}^2 \text{ Sección Mínima de Caña Guadua}$$

**Sección Última:**

Como resultado predomina la sección de mínima cuantía.

**Asc = 3.39 cm<sup>2</sup> Sección Última de Diseño**

Para el armado del paquete se considera 3 latillas de 2.0 cm de base x 0.6 cm de espesor mínimo cada una.



**Figura 5.16:** Latilla y Paquete de Caña Guadua

**5.5.4.2. Resumen de Cálculo y Diseño de Nervios.**

**Nervio N1:**

Datos:

b = 10.0 cm; Base del Nervio

d = 18.0 cm; Altura Efectiva

h = 20.0 cm; Altura Total del Nervio

$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  Resistencia a la Compresión del Hormigón Simple

$fyc = 742 \text{ Kg/cm}^2$  Resistencia a la Tracción de la Caña Guadua

$\phi = 0.90$  Factor de Reducción a Flexión

$\beta = 0.85$

F = 1.40 Factor de Mayoración para la Sección de la Caña Guadua Capítulo IV.

**Tabla 5.15:** Calculo de Esfuerzos y Sección Transversal de la Caña Guadua Nervio (N1)

<b>CALCULO DE MOMENTOS PARA UN VANO APOYADOS EN VIGA</b>			
<b>DATOS:</b>		CEC 2001	
W (T/m)=	0.09		
L1 (m)=	5.30		
$WL^2/12$	$WL^2/14$	$WL^2/12$	$M_u$
0.21	0.18	0.21	(t-m)

<b>CALCULO DE LA SECCION TRANVERSAL DE LA CAÑA GUADUA</b>			
1.78	1.52	1.78	Asc Cal (cm2)
2.49	2.13	2.49	1.4 x Asc Cal (cm2)
0.010	0.008	0.010	$\rho_{cal}$
0.183	0.183	0.183	$\rho_b$
0.137	0.137	0.137	$\rho_{max}$
0.019	0.019	0.019	$\rho_{min}$
3.396	3.396	3.396	Asc min cm2
Asc Min.	Asc Min.	Asc Min.	Result. Final
3 latillas de x0.6cm	2.0	3 latillas de x0.6cm	2.0
3 latillas de x0.6cm	2.0	3 latillas de x0.6cm	2.0
			Latillas Prefabricadas

**Nervio N2:**

Datos:

b = 10.0 cm; Base del Nervio

d = 18.0 cm; Altura Efectiva

h = 20.0 cm; Altura Total del Nervio

$f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  Resistencia a la Compresión del Hormigón Simple

$f_{yc} = 742 \text{ Kg/cm}^2$  Resistencia a la Tracción de la Caña Guadua

$\phi = 0.90$

$\beta = 0.85$

F = 1.40 Factor de Mayoración para la Sección de la Caña Guadua Capítulo IV

**Tabla 5.16:** Calculo de Esfuerzos y Sección Transversal de la Caña Guadua Nervio (N2)

<b>CALCULO DE MOMENTOS PARA UN VANO APOYADOS EN VIGA</b>			
<b>DATOS:</b>		CEC 2001	
W (T/m)=	<b>0.28</b>		
L1 (m)=	<b>5.30</b>		
	$WL^2/12$	$WL^2/14$	$WL^2/12$
	<b>0.66</b>	<b>0.56</b>	<b>0.66</b>
			<b>Mu</b>
			<b>(t-m)</b>

<b>CALCULO DE LA SECCION TRANSVERSAL DE LA CAÑA GUADUA</b>			
<b>5.85</b>	<b>4.96</b>	<b>5.85</b>	<b>As Cal (cm2)</b>
<b>8.19</b>	<b>6.94</b>	<b>8.19</b>	<b>1.4 x Asc Cal (cm2)</b>
<b>0.032</b>	<b>0.028</b>	<b>0.032</b>	<b><math>\rho_{cal}</math></b>
<b>0.183</b>	<b>0.183</b>	<b>0.183</b>	<b><math>\rho_b</math></b>
<b>0.137</b>	<b>0.137</b>	<b>0.137</b>	<b><math>\rho_{max}</math></b>
<b>0.019</b>	<b>0.019</b>	<b>0.019</b>	<b><math>\rho_{min}</math></b>
<b>3.396</b>	<b>3.396</b>	<b>3.396</b>	<b>As min cm2</b>
<b>Asc Cal.</b>	<b>Asc Cal.</b>	<b>Asc Cal.</b>	<b>Result. Final</b>
<b>3 latillas de 3x1cm</b>	<b>3 latillas de 3x.1cm</b>	<b>3 latillas de 3x1cm</b>	<b>Latillas Prefabricadas</b>

Para la transformación de la sección transversal a latillas de caña guadua se considera un parámetro mayor del 40% de la sección calculada como factor de seguridad.

### Nervio N3:

Datos:

b = 10.0 cm; Base del Nervio

d = 18.0 cm; Altura Efectiva

h = 20.0 cm; Altura Total del Nervio

$f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  Resistencia a la Compresión del Hormigón Simple

$f_{yc} = 742 \text{ Kg/cm}^2$  Resistencia a la Tracción de la Caña Guadua

$\phi = 0.90$

$\beta = 0.85$

**Tabla 5.17:** Calculo de Esfuerzos y Sección Transversal de la Caña Guadua Nervio (N3)

<b>CALCULO DE MOMENTOS PARA DOS VANOS APOYADOS EN VIGA</b>					
<b>DATOS:</b>		CEC 2001			
$W_A(T/m)=$	<b>0.500</b>				
$W_B(T/m)=$	<b>0.300</b>				
$L1(m)=$	<b>2.70</b>				
$L2(m)=$	<b>4.30</b>				
$WL^2/24$	$WL^2/14$	$WL^2/9$	$WL^2/14$	$WL^2/24$	<b>Mu</b>
<b>0.15</b>	<b>0.26</b>	<b>0.68</b>	<b>0.40</b>	<b>0.23</b>	<b>(t-m)</b>
<b>CALCULO DE LA SECCION TRANVERSAL DE LA CAÑA GUADUA</b>					
<b>1.28</b>	<b>2.22</b>	<b>6.09</b>	<b>3.43</b>	<b>1.97</b>	<b>Asc (cm2)</b>
<b>1.80</b>	<b>3.11</b>	<b>8.53</b>	<b>4.81</b>	<b>2.75</b>	<b>1.4 x Asc Cal (cm2)</b>
<b>0.007</b>	<b>0.012</b>	<b>0.034</b>	<b>0.019</b>	<b>0.011</b>	<b><math>\rho_{cal}</math></b>
<b>0.183</b>	<b>0.183</b>	<b>0.183</b>	<b>0.183</b>	<b>0.183</b>	<b><math>\rho_b</math></b>
<b>0.137</b>	<b>0.137</b>	<b>0.137</b>	<b>0.137</b>	<b>0.137</b>	<b><math>\rho_{max}</math></b>
<b>0.019</b>	<b>0.019</b>	<b>0.019</b>	<b>0.019</b>	<b>0.019</b>	<b><math>\rho_{min}</math></b>
<b>3.396</b>	<b>3.396</b>	<b>3.396</b>	<b>3.396</b>	<b>3.396</b>	<b>Asc min cm2</b>
<b>Asc Mín.</b>	<b>Asc Mín.</b>	<b>Asc Cal.</b>	<b>Asc Cal.</b>	<b>Asc Mín.</b>	<b>Result. Final</b>
<b>3 latillas de 2x0.6cm</b>	<b>3 latillas de 2x0.6cm</b>	<b>3 latillas de 3x1cm</b>	<b>3 latillas de 2x1cm</b>	<b>3 latillas de 2x0.6cm</b>	<b>Latillas Prefabricadas</b>

Para el uso de las latillas y su correcta aplicación se recomienda hacer paquetes de máximo tres unidades, ya que si sobrepasa este número su eje de esfuerzo a la tracción se desplaza, generando así la pérdida de la trabajabilidad de la caña y sometiendo a esfuerzos de tracción al hormigón.

### 5.5.4.3. Planos de Detalle

Los Planos de Detalle, Planilla de Materiales y Volúmenes de obra se encuentran en el ANEXO C, en el cual se detallan cada uno de los elementos.

## **CAPITULO VI: ANÁLISIS COMPARATIVO ECONÓMICO**

### **6.1.INTRODUCCIÓN**

El análisis económico de una estructura en la actualidad es de muy importancia, ya que de esto depende en muchos casos la ejecución de la obra, razón por la cual en el presente capítulo se desarrolla los presupuestos de cada uno de las estructuras, tratando de valorar de la manera más real como lo es el análisis de precios unitarios de cada rubro y actividad. De acuerdo a estos parámetros podremos evaluar y clasificar cada una de los diferentes tipos de los sistemas constructivos de losas, resaltando el más económico al final del estudio.

### **6.2.CRITERIOS Y GENERALIDADES**

Para analizar cada uno de los sistemas de losas utilizados en nuestro medio, es necesario conocer de toda la información de los mismos, es decir que debemos obtener la información más cuidadosa de estos sistemas con la finalidad de detallar los costos. Para el sistema innovador de losas con caña de guadua es preciso conocer y desarrollar los rubros en los cuales intervenga el material de estudio como lo es la caña guadua.

La selección de la alternativa más rentable hace referencia a predisposición de seguridad, de la disponibilidad de la materia prima ya que este aspecto es muy importante en especial cuando se construyen con estructuras metálicas ya que muchas veces es necesario hacer la compra bajo pedido, a diferencia del hormigón y caña son de muy fácil conseguir en el mercado.

### **6.3.PRESUPUESTO**

Según Steven M. Sheffrin (2003), se denomina presupuesto al “cálculo anticipado de los ingresos y gastos de una actividad económica durante un período que por lo general en forma anual”, siendo el presupuesto de un proyecto muy importante ya de ello depende su realización este debe reflejar las consideraciones especiales, especificaciones técnicas, análisis de costos, tiempo, gastos indirectos, cuantificaciones de todos los rubros que intervengan.

### **6.4.ANÁLISIS DE COSTOS**

Este paso es uno de los más importantes de la etapa de costos, ya que de aquí se analizan los gastos directos e indirectos que produce el proyecto, razón por la cual el análisis de estos dos parámetros es indispensable.

#### **6.4.1. Costos Directos**

Como su nombre lo indica son los costos que se producen de forma directa en cada proyecto, según la Cámara de Construcción de Quito los costos directos son los gastos

producidos por sueldos, equipo, transporte, materiales, servicios varios, beneficios o cargas sociales del personal, suministros, arriendo y publicaciones. Los factores que influyen principalmente en todos los proyectos son los siguientes:

- Mano de Obra.- Es el costo del trabajo manual necesario para la construcción del proyecto y que tendrá la recarga de su valor debido a las leyes sociales de cada país o región. En el caso de la construcción de losas con caña guadua no es necesario la utilización de mano de obra calificada por su elaboración sencilla y artesanal, a diferencia de las estructuras metálicas que necesita de mano de obra calificada como soldadores API.
- Materiales y Consumibles.- Es la materia prima necesaria para la construcción. Los materiales necesarios y utilizados en la elaboración de losas son: áridos, cemento, acero de construcción corrugado, perfiles metálicos, planchas metálicas (Deck Metálico), caña guadua, alambre, clavos, etc. sin duda materiales que se pueden encontrar de una manera fácil en el mercado nacional.
- Maquinaria y Equipos.- Estos costos resultan de la utilización de equipos, por alquiler o por deterioro de la maquinaria, herramienta menor y equipos de construcción. Estos costos generalmente su costo se cuantifica en horas, mantenimiento, reparación y depreciación.



#### 6.4.2. Costos Indirectos

El costo indirecto corresponde a los gastos generales necesarios para la ejecución de los trabajos no incluidos en los costos directos que realiza el contratista, tanto en sus oficinas centrales como en la obra, y comprende entre otros: los gastos de administración, organización, dirección técnica, vigilancia, supervisión, construcción de instalaciones generales necesarias para realizar conceptos de trabajo, el transporte de maquinaria o equipo de construcción, imprevistos y, en su caso, prestaciones laborales y sociales correspondientes al personal directivo y administrativo.

La incidencia de estos tiene un rango de variación que depende de la capacidad y organización del constructor, generalmente van desde el 20% al 35% de los costos directos. Para el presente caso nuestros costos indirectos serán de 25% ya que es una edificación en hormigón armado (acero - caña guadua) y panel metálico.

Tabla 6.1: Costos Indirectos y Utilidad

CUADRO AUXILIAR: COSTOS INDIRECTOS Y UTILIDAD		
COMPONENTES DEL COSTO INDIRECTO	ESPECIFICACIÓN	Porcentaje
Dirección de Obra	Bodeguero, Superintendente	3% - 6 %
Administrativos		2% - 6%
Locales Provisionales	Guardiania y cerramientos	0,2% - 2%
Vehiculos		1% - 3%
Servicios Públicos		0,2% - 2%
Promoción	Publicidad	1% - 2%
Garantías	Seriedad de Oferta	2%
	Buen uso del anticipo	1% - 5%
	Calidad de materiales	
	Cumplimiento del contrato	
Seguros	Pólizas	1% - 3%
Costos Financieros	Bancario	1% - 3%
Prevención de Accidentes		1% - 2%
Utilidad		7% - 12%
*Total de Indirectos		20%-35%

## 6.5. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

El análisis de precios unitarios en descomponer cada uno de los rubros que intervienen en el proyecto en cinco partes esenciales las cuales se define como: mano de obra, equipo, transporte, materiales y costos indirectos. Sin duda esta es la forma más segura de poder llegar a presupuestar un valor de una edificación. Es normal que en construcciones donde intervenga solo la estructura de hormigón los rubros tengan unidades de  $m^3$ , en cambio en estructuras metálicas generalmente los rubros se miden en Kg, sin embargo por los dos caminos debemos llegar a definir un costo muy aproximado de la realidad. En este análisis interviene el rendimiento el cual depende de la capacidad propia del medio, tipo de proyecto y de la experiencia propia de los constructores.

## 6.6. PRESUPUESTOS

En los siguientes cuadros se definen el presupuesto de cada uno de los sistemas tradicionales de losas y el sistema innovador de losas con Caña Guadua. Presupuestos en los cuales se ha realizado cuantificando cada uno de los rubros, desarrollando el análisis de precios unitarios para llegar a obtener el valor más real posible. Dicho valor cual puede variar de acuerdo a la zona y población de cada sector en el que se aplique los diferentes sistemas constructivos.

En el caso de la aplicación de las Losas con Armadura de Caña Guadua, esta genera una ventaja positiva en el sector de la costa ya que su producción es de clima cálido-templado ayudando a abaratar costos en esta zona y aumentando su costo en el sector de la sierra.

En el caso de los materiales tradicionales como son los áridos, acero y cemento, podemos encontrar con facilidad en el mercado nacional para su aplicación en cualquier sistema constructivo de losas.

### 6.6.1. Presupuesto de Losa en Hormigón Armado

El presupuesto contiene los rubros necesarios para la conformación de la losa más no interviene los elementos como vigas o columnas.

PRESUPUESTO LOSAS EN HORMIGÓN ARMADO					
PROYECTO: Losa de Hormigón Armado en Garita Tipo					
PROPIETARIO: Escuela Politécnica del Ejército (ESPE)					
PROPONENTE: Luis Sebastián Narváez Chamorro					
FECHA: Septiembre 2012					
AREA DE APLICACION: 40.0 m2					
COD	CONCEPTO	UND.	CANT.	Unitario	Total
1	<b>ESTRUCTURA</b>				
1.1	Hormigon Simple $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en Losas Aliv. $h=25.0\text{cm}$ (Incl. Encofrado)	m <sup>3</sup>	3.94	193.69	763.15
1.2	Acero de Refuerzo (8 - 16 mm con Alambre Galvanizado N° 18)	Kg	183.89	1.78	326.56
1.3	Bloque Pomez de Alivianamiento 0.2 x 0.2 x 0.4 m (Incl Estibaje)	u	320.00	0.68	217.94
1.4	Desencofrado en Losas (Tablero, vigas y parantes)	m <sup>2</sup>	40.00	2.61	104.55
<b>TOTAL USD</b>				<b>\$ 1,412.20</b>	

### 6.6.2. Presupuesto de Losa con Placa Colaborante

PRESUPUESTO LOSAS EN PLACA COLABORANTE Ó PANEL METALICO					
PROYECTO: Losa con Placa Colaborante o Panel Metálico en Garita Tipo					
PROPIETARIO: Escuela Politécnica del Ejército (ESPE)					
PROPONENTE: Luis Sebastián Narváez Chamorro					
FECHA: Septiembre 2012					
AREA DE APLICACION: 40.0 m2					
COD	CONCEPTO	UND.	CANT.	Unitario	Total
2	<b>ESTRUCTURA</b>				
2.1	Hormigon Simple $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (sin encofrado) $h=11\text{cm}$	m <sup>3</sup>	3.15	171.95	541.63
2.2	Estructura Metálica (provis/fabricac/montaje)	Kg	112.71	3.11	350.43
2.3	Malla Electrosoldada Armex R-158 (6.25x2.40) 5.5mm 20 x 20cm	m <sup>2</sup>	34.00	3.11	105.74
2.4	Novalosa $e=0.76 \text{ mm}$ . Ancho=957 mm. Calibre 22 USG	m <sup>2</sup>	34.00	19.93	677.68
2.5	Conectores $D=14\text{mm}$ $f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$	Kg	23.00	2.58	59.34
				<b>TOTAL USD</b>	<b>\$ 1,734.81</b>

### 6.6.3. Presupuesto de Losa con Armadura de Caña Guadua

PRESUPUESTO DE LOSAS ARMADAS CON CAÑA DE GUADUA					
PROYECTO: Losa con Caña de Guadua y Hormigón en Garita Tipo					
PROPIETARIO: Escuela Politécnica del Ejército (ESPE)					
PROPONENTE: Luis Sebastián Narváez Chamorro					
FECHA: Septiembre 2012					
AREA DE APLICACION: 40.0 m2					
COD	CONCEPTO	UND.	CANT.	Unitario	Total
3	<b>ESTRUCTURA</b>				
3.1	Hormigon Simple $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en Losas Aliv. $h=20\text{cm}$ (Incl. Encofrado)	m <sup>3</sup>	3.54	193.69	685.67
3.2	Latillas de Caña Guadua ( $b=2-3\text{cm}$ , $e=0.5-1.0\text{cm}$ ; incl. alambre y separador)	ml	782.00	0.18	144.53
3.3	Bloque Pomez de Alivianamiento 0.15 x 0.2 x 0.4 m (Incl Estibaje)	u	320.00	0.59	189.46
3.4	Desencofrado en Losas (Tablero, vigas y parantes)	m <sup>2</sup>	40.00	2.61	104.55
				<b>TOTAL USD</b>	<b>\$ 1,019.66</b>

### 6.6.4. Análisis de Precios Unitarios de cada Rubro

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PROYECTO: LOSA CON HORMIGÓN ARMADO PARA GARITA TIPO						
PROPONENTE: LUIS SEBASTIAN NARVAEZ CH.						
FECHA: SEPTIEMBRE DEL 2012					HOJA:	1.1
RUBRO:	Hormigon Simple f'c = 210 kg/cm2 en Losas Aliv. h=25.0cm (Incl. Encofrado)				UNIDAD:	m 3
COD	EQUIPO	# de	Potencia HP	Costo	COSTO	
		Unidades	Capacidad	Horario	TOTAL / H	
1	Concretera /día	1.00	1 saco	6.75	6.75	
	Vibrador / día	1.00	2 hp	4.38	4.38	
	Elevador a gasolina 300 kg / día	1.00	2 hp	6.25	6.25	
	Herramienta menor	1.00	-	2.26	2.26	
					<b>TOTAL A.</b>	<b>19.64</b>
B.	MANO DE OBRA	No. de	Jornal	F.S.R.	Regalías	COSTO
		Personas	Básico/H	Mayoración	y Otros	TOTAL / H
1	PEON	9	1.22	2.13	-	23.39
2	ALBAÑIL	2	1.23	2.13	-	5.24
3	MAESTRO DE OBRA	1	1.30	2.13	-	2.77
4	CARPINTERO	3	1.23	2.13	-	7.86
					<b>TOTAL B</b>	<b>39.26</b>
C.	RENDIMIENTO DEL GRUPO	0.87	COSTO HORARIO TOTAL A + B		58.90	
D.	COSTO UNITARIO SIN MATERIAL NI TRANSPORTE (A+B)/C					67.70
E.	MATERIALES	Unidad de	Precio Unitario	Consumo	COSTO	
		Medida	(Costo)		TOTAL	
1	Cemento Rocafuerte	50 kg	7.50	7.50	56.25	
2	Arena azul	m3	11.50	0.70	8.05	
3	Piedra #4 (19-38mm). En cantera	m3	16.25	0.70	11.38	
4	Bomba de agua 3"	Día	20.00	0.22	4.40	
5	Impermeabilizante para morteros Aditec - 1	2 kg	3.50	0.39	1.37	
6	Encofrado Metálico en Losas (Tablero y parantes)	m2	3.23	1.00	3.23	
					<b>TOTAL E</b>	<b>84.67</b>
F.	TRANSPORTE	D.M.T.	Costo	Consumo	COSTO	
			Unitario / Km		UNITARIO	
					<b>TOTAL F</b>	<b>0.00</b>
G.	COSTO UNITARIO DIRECTO D+E+F					152.37
COSTOS INDIRECTOS	H. GASTOS GENERALES			10%=G	15.24	
	I. IMPREVISTOS			2%=G+H	3.35	
	J. UTILIDADES			10%=G+H+I	17.10	
	K. GASTOS DE FISCALIZACIÓN			3%=G+H+I+J	5.64	
N.	PRECIO UNITARIO TOTAL				G+H+I+J+K	193.69

DESARROLLO DE LOSAS CON CANA GUADÚA ANGUSTIFOLIA Y ANALISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL Y ECONOMICO CON LOS SISTEMAS DE LOSAS TRADICIONALES UTILIZADOS EN NUESTRO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
<b>PROYECTO: LOSA CON HORMIGÓN ARMADO PARA GARITA TIPO</b>						
<b>PROPONENTE: LUIS SEBASTIAN NARVAEZ CH.</b>						
<b>FECHA: SEPTIEMBRE DEL 2012</b>					<b>HOJA:</b>	<b>1.2</b>
<b>RUBRO:</b>	<b>Acero de Refuerzo (8 - 16 mm con Alambre Galvanizado N° 18)</b>				<b>UNIDAD:</b>	<b>Kg</b>
<b>COD</b>	<b>EQUIPO</b>	<b># de</b>	<b>Potencia HP</b>	<b>Costo</b>	<b>COSTO</b>	
<b>A.</b>		<b>Unidades</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Horario</b>	<b>TOTAL / H</b>	
1	Cizalla	1.00	-	1.85	1.85	
2	Herramienta menor	1.00	-	1.26	1.26	
<b>TOTAL A.</b>					<b>3.11</b>	
<b>B.</b>	<b>MANO DE OBRA</b>	<b>No. de</b>	<b>Jornal</b>	<b>F.S.R.</b>	<b>Regalías</b>	<b>COSTO</b>
		<b>Personas</b>	<b>Básico/H</b>	<b>Mayoración</b>	<b>y Otros</b>	<b>TOTAL / H</b>
1	FIERRERO	1	1.23	2.13	-	2.62
2	AYUDANTE DE FIERRERO	1	1.22	2.13	-	2.60
<b>TOTAL B</b>					<b>5.22</b>	
<b>C.</b>	<b>RENDIMIENTO DEL GRUPO</b>	<b>35.00</b>	<b>COSTO HORARIO TOTAL A +B</b>			<b>8.33</b>
<b>D.</b>	<b>COSTO UNITARIO SIN MATERIAL NI TRANSPORTE (A+B)/C</b>					<b>0.24</b>
<b>E.</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>Unidad de</b>	<b>P. Unitario</b>			<b>COSTO</b>
		<b>Medida</b>	<b>(Costo)</b>	<b>Consumo</b>	<b>TOTAL</b>	
1	Varilla corrugada antisismica A-42S. D=12mm	Kg	1.10	1.05	1.16	
2	Alambre galvanizado No. 18	Kg	0.08	0.05	0.00	
<b>TOTAL E</b>					<b>1.16</b>	
<b>F.</b>	<b>TRANSPORTE</b>	<b>D.M.T.</b>	<b>Costo</b>			<b>COSTO</b>
			<b>Unitario / Km</b>	<b>Consumo</b>	<b>UNITARIO</b>	
<b>TOTAL F</b>					<b>0.00</b>	
<b>G.</b>	<b>COSTO UNITARIO DIRECTO D+E+F</b>					<b>1.40</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	<b>H. GASTOS GENERALES</b>			10%=G		0.14
	<b>I. IMPREVISTOS</b>			2%=G+H		0.03
	<b>J. UTILIDADES</b>			10%=G+H+I		0.16
	<b>K. GASTOS DE FISCALIZACIÓN</b>			3%=G+H+I+J		0.05
<b>N.</b>	<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>				<b>G+H+I+J+K</b>	<b>1.78</b>

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PROYECTO: LOSA CON HORMIGÓN ARMADO PARA GARITA TIPO						
PROPONENTE: LUIS SEBASTIAN NARVAEZ CH.						
FECHA: SEPTIEMBRE DEL 2012					HOJA:	1.3
RUBRO:	Bloque Pomez de Alivianamiento 0.2 x 0.2 x 0.4 m (Incl Estibaje)				UNIDAD:	u
<b>COD</b>	<b>EQUIPO</b>	<b># de</b>	<b>Potencia HP</b>	<b>Costo</b>	<b>COSTO</b>	
<b>A.</b>		<b>Unidades</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Horario</b>	<b>TOTAL / H</b>	
1	Herramienta menor	1.00	-	1.26	1.26	
<b>TOTAL A.</b>					<b>1.26</b>	
<b>B.</b>	<b>MANO DE OBRA</b>	<b>No. de</b>	<b>Jornal</b>	<b>F.S.R.</b>	<b>Regalías</b>	<b>COSTO</b>
		<b>Personas</b>	<b>Básico/H</b>	<b>Mayoración</b>	<b>y Otros</b>	<b>TOTAL / H</b>
1	PEON	1	1.22	2.13	-	2.60
<b>TOTAL B</b>					<b>2.60</b>	
<b>C.</b>	<b>RENDIMIENTO DEL GRUPO</b>	<b>45.00</b>	<b>COSTO HORARIO TOTAL A +B</b>		<b>3.86</b>	
<b>D.</b>	<b>COSTO UNITARIO SIN MATERIAL NI TRANSPORTE (A+B)/C</b>					<b>0.09</b>
<b>E.</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>Unidad de</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Consumo</b>	<b>COSTO</b>	
		<b>Medida</b>	<b>(Costo)</b>		<b>TOTAL</b>	
1	Bloque Pomez de 20x20x40cm	u	0.45	1.00	0.45	
<b>TOTAL E</b>					<b>0.45</b>	
<b>F.</b>	<b>TRANSPORTE</b>	<b>D.M.T.</b>	<b>Costo</b>	<b>Consumo</b>	<b>COSTO</b>	
			<b>Unitario / Km</b>		<b>UNITARIO</b>	
<b>TOTAL F</b>					<b>0.00</b>	
<b>G.</b>	<b>COSTO UNITARIO DIRECTO D+E+F</b>					<b>0.54</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	H. GASTOS GENERALES			10%=G		0.05
	I. IMPREVISTOS			2%=G+H		0.01
	J. UTILIDADES			10%=G+H+I		0.06
	K. GASTOS DE FISCALIZACIÓN			3%=G+H+I+J		0.02
<b>N.</b>	<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>				<b>G+H+I+J+K</b>	<b>0.68</b>









DESARROLLO DE LOSAS CON CANA GUADÚA ANGUSTIFOLIA Y ANALISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL Y ECONOMICO CON LOS SISTEMAS DE LOSAS TRADICIONALES UTILIZADOS EN NUESTRO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PROYECTO: LOSA CON PLACA COLABORANTE PARA GARITA TIPO						
PROPONENTE: LUIS SEBASTIAN NARVAEZ CH.						
FECHA: SEPTIEMBRE DEL 2012					HOJA:	2.3
RUBRO:	Malla Electrosoldada Armex R-158 (6.25x2.40) 5.5m m 20 x 20cm				UNIDAD:	m2
<b>COD</b>	<b>EQUIPO</b>	<b># de</b>	<b>Potencia HP</b>	<b>Costo</b>	<b>COSTO</b>	
<b>A.</b>		<b>Unidades</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Horario</b>	<b>TOTAL / H</b>	
1	Herramienta menor	1.00	-	0.26	0.26	
<b>TOTAL A.</b>					<b>0.26</b>	
<b>B.</b>	<b>MANO DE OBRA</b>	<b>No. de</b>	<b>Jornal</b>	<b>F.S.R.</b>	<b>Regalías</b>	<b>COSTO</b>
		<b>Personas</b>	<b>Básico/H</b>	<b>Mayoración</b>	<b>y Otros</b>	<b>TOTAL / H</b>
1	Maestro Soldador Especializado	1	1.23	2.13	-	2.62
2	Ferrero	1	1.22	2.13	-	2.60
<b>TOTAL B</b>					<b>5.22</b>	
<b>C.</b>	<b>RENDIMIENTO DEL GRUPO</b>	<b>45.00</b>	<b>COSTO HORARIO TOTAL A +B</b>		<b>5.48</b>	
<b>D.</b>	<b>COSTO UNITARIO SIN MATERIAL NI TRANSPORTE (A+B)/C</b>					<b>0.12</b>
<b>E.</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>Unidad de</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Consumo</b>	<b>COSTO</b>	
		<b>Medida</b>	<b>(Costo)</b>		<b>TOTAL</b>	
1	Malla Armex R-158 (6.25x2.40) 5.5mm	Global	80.47	0.080	6.44	
2	Alambre galvanizado No. 18	Kg	1.30	0.050	0.07	
<b>TOTAL E</b>					<b>6.50</b>	
<b>F.</b>	<b>TRANSPORTE</b>	<b>D.M.T.</b>	<b>Costo</b>	<b>Consumo</b>	<b>COSTO</b>	
			<b>Unitario / Km</b>		<b>UNITARIO</b>	
<b>TOTAL F</b>					<b>0.00</b>	
<b>G.</b>	<b>COSTO UNITARIO DIRECTO D+E+F</b>				<b>6.62</b>	
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	H. GASTOS GENERALES			10%=G	0.66	
	I. IMPREVISTOS			2%=G+H	0.15	
	J. UTILIDADES			10%=G+H+I	0.74	
	K. GASTOS DE FISCALIZACIÓN			3%=G+H+I+J	0.25	
<b>N.</b>	<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>			<b>G+H+I+J+K</b>	<b>8.42</b>	

DESARROLLO DE LOSAS CON CANA GUADÚA ANGUSTIFOLIA Y ANALISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL Y ECONOMICO CON LOS SISTEMAS DE LOSAS TRADICIONALES UTILIZADOS EN NUESTRO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
<b>PROYECTO: LOSA CON PLACA COLABORANTE PARA GARITA TIPO</b>						
<b>PROPONENTE: LUIS SEBASTIAN NARVAEZ CH.</b>						
<b>FECHA: SEPTIEMBRE DEL 2012</b>					<b>HOJA:</b>	<b>2.4</b>
<b>RUBRO:</b>	<b>Novalosa e= 0.76 mm. Ancho=957 mm. Calibre 22 USG</b>				<b>UNIDAD:</b>	<b>m2</b>
<b>COD</b>	<b>EQUIPO</b>	<b># de</b>	<b>Potencia HP</b>	<b>Costo</b>	<b>COSTO</b>	
<b>A.</b>		<b>Unidades</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Horario</b>	<b>TOTAL / H</b>	
1	Herramienta menor	1.00	-	0.72	0.72	
	Soldadora eléctrica 220 V	1.00	-	2.50	2.50	
	Andamio ( el módulo )	5.00	-	0.05	0.25	
<b>TOTAL A.</b>					<b>3.47</b>	
<b>B.</b>	<b>MANO DE OBRA</b>	<b>No. de</b>	<b>Jornal</b>	<b>F.S.R.</b>	<b>Regalías</b>	<b>COSTO</b>
		<b>Personas</b>	<b>Básico/H</b>	<b>Mayoración</b>	<b>y Otros</b>	<b>TOTAL / H</b>
1	Maestro Soldador Especializado	0.5	1.23	2.13	-	1.31
2	Ferrero	2	1.23	2.13	-	5.24
3	Ayudante de Ferrero	3	1.22	2.13	-	7.80
<b>TOTAL B</b>					<b>14.35</b>	
<b>C.</b>	<b>RENDIMIENTO DEL GRUPO</b>	<b>8.00</b>	<b>COSTO HORARIO TOTAL A +B</b>		<b>17.81</b>	
<b>D.</b>	<b>COSTO UNITARIO SIN MATERIAL NI TRANSPORTE (A+B)/C</b>					<b>2.23</b>
<b>E.</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>Unidad de</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Consumo</b>	<b>COSTO</b>	
		<b>Medida</b>	<b>(Costo)</b>		<b>TOTAL</b>	
1	Electrodos 50/11	kg	3.05	0.05	0.15	
2	Novalosa e= 0.76 mm. Ancho=957 mm. Calibre 22 USG	m2	13.30	1.00	13.30	
<b>TOTAL E</b>					<b>13.45</b>	
<b>F.</b>	<b>TRANSPORTE</b>	<b>D.M.T.</b>	<b>Costo</b>	<b>Consumo</b>	<b>COSTO</b>	
			<b>Unitario / Km</b>		<b>UNITARIO</b>	
<b>TOTAL F</b>					<b>0.00</b>	
<b>G.</b>	<b>COSTO UNITARIO DIRECTO D+E+F</b>					<b>15.68</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	<b>H. GASTOS GENERALES</b>			10%=G		1.57
	<b>I. IMPREVISTOS</b>			2%=G+H		0.34
	<b>J. UTILIDADES</b>			10%=G+H+I		1.76
	<b>K. GASTOS DE FISCALIZACIÓN</b>			3%=G+H+I+J		0.58
<b>N.</b>	<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>				<b>G+H+I+J+K</b>	<b>19.93</b>

DESARROLLO DE LOSAS CON CANA GUADÚA ANGUSTIFOLIA Y ANALISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL Y ECONOMICO CON LOS SISTEMAS DE LOSAS TRADICIONALES UTILIZADOS EN NUESTRO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PROYECTO: LOSA CON PLACA COLABORANTE PARA GARITA TIPO						
PROPONENTE: LUIS SEBASTIAN NARVAEZ CH.						
FECHA: SEPTIEMBRE DEL 2012					HOJA:	2.5
RUBRO:	Conectores D=14mm fy=4200 Kg/cm <sup>2</sup>				UNIDAD:	Kg
<b>COD</b>	<b>EQUIPO</b>	<b># de</b>	<b>Potencia HP</b>	<b>Costo</b>	<b>COSTO</b>	
<b>A.</b>		<b>Unidades</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Horario</b>	<b>TOTAL / H</b>	
1	Herramienta menor	1.00	-	0.33	0.33	
2	Soldadora eléctrica 220 V	1.00	-	2.50	2.50	
<b>TOTAL A.</b>					<b>2.83</b>	
<b>B.</b>	<b>MANO DE OBRA</b>	<b>No. de</b>	<b>Jornal</b>	<b>F.S.R.</b>	<b>Regalías</b>	<b>COSTO</b>
		<b>Personas</b>	<b>Básico/H</b>	<b>Mayoración</b>	<b>y Otros</b>	<b>TOTAL / H</b>
1	Maestro Soldador Especializado	0.5	1.23	2.13	-	1.31
2	Ferrero	1	1.23	2.13	-	2.62
3	Ayudante de Ferrero	1	1.22	2.13	-	2.60
<b>TOTAL B</b>					<b>6.53</b>	
<b>C.</b>	<b>RENDIMIENTO DEL GRUPO</b>	<b>20.00</b>	<b>COSTO HORARIO TOTAL A +B</b>		<b>9.35</b>	
<b>D.</b>	<b>COSTO UNITARIO SIN MATERIAL NI TRANSPORTE (A+B)/C</b>					<b>0.47</b>
<b>E.</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>Unidad de</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Consumo</b>	<b>COSTO</b>	
		<b>Medida</b>	<b>(Costo)</b>		<b>TOTAL</b>	
1	Electrodos 50/11	kg	3.05	0.05	0.15	
2	Varilla Corrugada f'c=4200 Kg/cm <sup>2</sup>	kg	0.95	1.05	1.00	
<b>TOTAL E</b>					<b>1.15</b>	
<b>F.</b>	<b>TRANSPORTE</b>	<b>D.M.T.</b>	<b>Costo</b>	<b>Consumo</b>	<b>COSTO</b>	
			<b>Unitario / Km</b>		<b>UNITARIO</b>	
<b>TOTAL F</b>					<b>0.00</b>	
<b>G.</b>	<b>COSTO UNITARIO DIRECTO D+E+F</b>					<b>1.62</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	H. GASTOS GENERALES		10%=G		0.16	
	I. IMPREVISTOS		2%=G+H		0.04	
	J. UTILIDADES		10%=G+H+I		0.18	
	K. GASTOS DE FISCALIZACIÓN		3%=G+H+I+J		0.06	
<b>N.</b>	<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>			<b>G+H+I+J+K</b>	<b>2.06</b>	

DESARROLLO DE LOSAS CON CANA GUADÚA ANGUSTIFOLIA Y ANALISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL Y ECONOMICO CON LOS SISTEMAS DE LOSAS TRADICIONALES UTILIZADOS EN NUESTRO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
<b>PROYECTO: LOSA CON ARMADURA DE CAÑA GUADUA PARA GARITA TIPO</b>						
<b>PROPONENTE: LUIS SEBASTIAN NARVAEZ CH.</b>						
<b>FECHA: SEPTIEMBRE DEL 2012</b>					<b>HOJA:</b>	<b>3.2</b>
<b>RUBRO:</b>	<b>Latillas de Caña Guadua (b=2-3cm, e=0.5-1.0cm; incl. alambre y separador)</b>				<b>UNIDAD:</b>	<b>ml</b>
<b>COD</b>	<b>EQUIPO</b>	<b># de</b>	<b>Potencia HP</b>	<b>Costo</b>	<b>COSTO</b>	
<b>A.</b>		<b>Unidades</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Horario</b>	<b>TOTAL / H</b>	
1	Herramienta menor	1.00	-	0.29	0.29	
<b>TOTAL A.</b>					<b>0.29</b>	
<b>B.</b>	<b>MANO DE OBRA</b>	<b>No. de</b>	<b>Jornal</b>	<b>F.S.R.</b>	<b>Regalías</b>	<b>COSTO</b>
		<b>Personas</b>	<b>Básico/H</b>	<b>Mayoración</b>	<b>y Otros</b>	<b>TOTAL / H</b>
1	Carpintero	0.1	1.23	2.13	-	0.26
2	Ayudante de Carpintero	0.5	1.22	2.13	-	1.30
3	Fierrero	0.5	1.23	2.13	-	1.31
<b>TOTAL B</b>					<b>2.87</b>	
<b>C.</b>	<b>RENDIMIENTO DEL GRUPO</b>	<b>45.00</b>	<b>COSTO HORARIO TOTAL A +B</b>		<b>3.16</b>	
<b>D.</b>	<b>COSTO UNITARIO SIN MATERIAL NI TRANSPORTE (A+B)/C</b>					<b>0.07</b>
<b>E.</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>Unidad de</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Consumo</b>	<b>COSTO</b>	
		<b>Medida</b>	<b>(Costo)</b>		<b>TOTAL</b>	
1	Caña Guadua Angustifolia	ml	0.20	0.17	0.03	
2	Secado al Fuego	ml	0.05	1.00		
3	Tratamiento de Inmunización (Boráx + ácido bórico + dicromato de sodio proporción 1:1:0.5)	Kg	1.80	0.02	0.04	
4	Alambre galvanizado No. 18	Kg	0.10	0.05	0.01	
<b>TOTAL E</b>					<b>0.08</b>	
<b>F.</b>	<b>TRANSPORTE</b>	<b>D.M.T.</b>	<b>Costo</b>	<b>Consumo</b>	<b>COSTO</b>	
			<b>Unitario / Km</b>		<b>UNITARIO</b>	
<b>TOTAL F</b>					<b>0.00</b>	
<b>G.</b>	<b>COSTO UNITARIO DIRECTO D+E+F</b>					<b>0.15</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	<b>H. GASTOS GENERALES</b>			10%=G		0.01
	<b>I. IMPREVISTOS</b>			2%=G+H		0.00
	<b>J. UTILIDADES</b>			10%=G+H+I		0.02
	<b>K. GASTOS DE FISCALIZACIÓN</b>			3%=G+H+I+J		0.01
<b>N.</b>	<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>				<b>G+H+I+J+K</b>	<b>0.18</b>



## 6.7. ANALISIS ECONÓMICO

En el siguiente cuadro se puede observar como la alternativa más económica resulta de la aplicación del sistema de losas con Caña Guadua, la razón principal de esta diferencia apreciable en relación a las losas tradicionales es sin duda la nula aplicación del acero en la construcción a excepción del alambre de amarre y separador N°18. En la Tabla 6.2 encontramos los costos de cada sistema de losas dando como resultado el valor mas económico el sistema de innovador de la armadura con caña guadua.

**Tabla 6.2:** Resumen de Presupuesto de cada Sistema de Losa

CUADRO DE RESUMEN DE COSTOS TOTALES DE CADA TIPO DE LOSA			
TIPO DE ESTRUCTURA		Área (m2)	Costo Total (\$)
1	PRESUPUESTO LOSAS EN HORMIGÓN ARMADO	40.00	1412.20
2	PRESUPUESTO LOSAS CON PLACA COLABORANTE Ó PANEL METÁLICO	40.00	1734.81
3	PRESUPUESTO DE LOSAS ARMADAS CON CAÑA DE GUADUA	40.00	1019.66

### 6.7.1. Alternativa de Diseño

En el análisis de costos se tiene como resultado final el valor del metro cuadrado de construcción, considerando la misma área para cada sistema constructivo, **se concluye que el Precio Mínimo se da en el Sistema de Losas con Caña Guadua dando un costo de 25.40 dólares por cada metro cuadrado**, teniendo una diferencia considerable con el sistema de losas con hormigón armado y losas con placa colaborante del 38.50% (\$35.31 c/m<sup>2</sup>) y del 70.14% (\$43.37 c/m<sup>2</sup>) respectivamente.



Finalizando el análisis se resume que el mejor sistema para losas en edificaciones pequeñas es el Sistema de Losas con Caña Guadua Angustifolia.

**Tabla 6.3:** Costo por Cada Metro Cuadrado

ANALISIS DE COSTOS VS ÁREA		Área (m2)	Costo (\$)	Costo/m2 (\$)	Diferencia (%)
TIPO DE ESTRUCTURA					
1	PRESUPUESTO LOSAS EN HORMIGÓN ARMADO	40.00	1412.20	<b>35.31</b>	38.50
2	PRESUPUESTO LOSAS CON PLACA COLABORANTE Ó PANEL METÁLICO	40.00	1734.81	<b>43.37</b>	70.14
3	PRESUPUESTO DE LOSAS ARMADAS CON CAÑA DE GUADUA	40.00	1019.66	<b>25.49</b>	0.00

## CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. CONCLUSIONES

- Para que exista una buena adherencia entre la caña y el hormigón es imprescindible realizar un sistema de adherencia como clavos, grilletes, revestimiento de materiales epóxicos, etc. que generen un anclaje, en la presente investigación se utilizó clavos por ser el más económico y responder de manera satisfactoria al comportamiento del hormigón armado con caña guadua.
- Es importante resaltar que es imposible realizar dobleces en los paquetes de latillas de guadua, porque no se pueden lograr ganchos de ningún tipo, en consecuencia toda adherencia se tiene que desarrollar en la longitud de anclaje recta.
- Al analizar los esfuerzos actuantes se concluye que el diseño en hormigón armado tradicional y hormigón armado con caña guadua son iguales, ya que las cargas de aplicadas muerta y carga viva a las que se exponen son las mismas, a diferencia del sistema de losas con placa colaborante la cual se diseña de manera diferente a la del hormigón tradicional.

- En los ensayos de laboratorio se obtuvieron datos necesarios para el desarrollo de la teoría de losas con caña guadua, los cuales analizando los esfuerzos y comparando con el hormigón tradicional se puede concluir que un paquete de tres latillas de 2.1 x 0.5 cm cada una equivalen aproximadamente a una varilla de acero de 8 mm de diámetro.
- Como sistema constructivo de losas se puede definir que el más económico y factible sin dejar de lado la seguridad, es el sistema de losas con Caña Guadua dando un costo de 25.49 dólares por cada metro cuadrado de construcción a diferencia de la losa con placa colaborante y hormigón armado de \$43.37y \$35.31 respectivamente.
- El porcentaje mayor de las losas con placa colaborante y hormigón armado en relación a la losa con caña guadua es de 70.14% y 38.50% respectivamente, correspondiendo el mayor valor a la losa con placa colaborante y el menor con caña guadua.

## 7.2.RECOMENDACIONES

- En la elaboración de la armadura de caña guadua se recomienda realizar el proceso de secado y curado, ya que solo este procedimiento puede garantizar la conservación de la caña guadua con el transcurso del tiempo.

- En el diseño de losas con caña guadua es preferible realizar las latillas con espesores iguales o mayores a 5mm para evitar la rajadura producida por el uso y la aplicación del clavo.
- En la presente investigación quedan algunos elementos estructurales que deberían ser tratados en posteriores temas de investigación perfeccionando la aplicación de esta técnica constructiva.
- Es necesario fomentar la aplicación de un modelo a escala real en temas de investigación posteriores, de esta forma podremos solventar la teoría planteada y perfeccionar esta técnica constructiva.

Este sistema constructivo debe ser difundido a todos los sectores, en especial a los de escasos recursos, ya que promoviendo este método se llegaría a abaratar costos generando una mayor posibilidad de acceso a una vivienda digna.

## BIBLIOGRAFIA

- American Institute Concrete “ACI 318-08”. (2005). *Código de Construcción en Concreto*, Printing. 459 p. Estados Unidos.
- American Seccion of the International Association for Testing Materials “ASTM”. (1994). *Ensayos de Materiales*, Estados Americanos.
- Arias José - Jácome Hugo – Paredes Lincon. (1993). *Adherencia del Hormigón a las Maderas*. Tesis de Grado previo al Título de Ingeniero Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Euro Código 2 “Norma Europea Experimental”. (1993). *Proyecto de Estructuras de Hormigón. Parte1-1: Reglas Generales y Reglas para Edificación*. Europa.
- Carranza Fredd – Taco Jorge. (2011). *Cálculo y Diseño Estructural para la Cubierta del Mercado Central de la Parroquia de Pintag en Base a Tenso-Estructuras con el uso de Bambú Gigante (Dendrocalamus Asper)*. Tesis de Grado previo al Título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí. Ecuador.
- Carazas A. W. (2002). *Bareque Guía de Construcción Parasismica*, Paris. FR: Ediciones Creterre.
- Fernández C. M. (2005). *Materiales de la Construcción*. Madrid. ES.
- Hidalgo. O. (1974). *Bambú: Su Cultivo y Aplicaciones*, Estudios Técnicos Colombianos. Bogotá. CO.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2001). *Código de Practica Ecuatoriano CPE INEN 5:2001*. Parte 1. Capitulo 12. Quito. Ecuador.
- Jorge Cobos – Xavier León. (2007). *Propiedades Físicas Mecánicas de la Guadua Angustifolia al Diseño de Baterías Sanitarias del IASA II*. Tesis de Grado previo al Título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí. Ecuador.
- Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales. (1984). *Manual de diseño para maderas del Grupo Andino PADT - Refort, Junta del Acuerdo de Cartagena*. Lima. PE.:(4<sup>a</sup> Ed.). Carvajal S.A. División Imprelibros.
- Villegas. M., Villegas, B. (2003). *Guadua Arquitectura y Diseño*. Primera Edición. Valle del Cauca. CO: Benjamín Villegas Editorial.