

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

"ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA "CUBIERTA TIPO" DE BAMBÚ, PARA CANCHAS DE USO MULTIPLE MEDIANTE EL USO DE LOS PROGRAMAS REVIT, ROBOT Y ETABS."

AUTOR:

JUAN EDUARDO VÁSQUEZ CARRILLO

TUTOR:

ING. BYRON CAÑIZARES

Ambato – Ecuador

2018

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, con el tema "ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA "CUBIERTA TIPO" DE BAMBÚ, PARA CANCHAS DE USO MULTIPLE MEDIANTE EL USO DE LOS PROGRAMAS REVIT, ROBOT Y ETABS.", elaborado por el señor Juan Eduardo Vásquez Carrillo, portador de la cédula de ciudadanía: 180396876-5, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil.

Certifico:

- El presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

……..

Ing. Mg. Byron Cañizares

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Juan Eduardo Vásquez Carrillo con C.I. 180396876-5, declaró que el contenido íntegro del trabajo investigativo "ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA "CUBIERTA TIPO" DE BAMBÚ, PARA CANCHAS DE USO MULTIPLE MEDIANTE EL USO DE LOS PROGRAMAS REVIT, ROBOT Y ETABS", a excepción de las referencias bibliográficas citadas, es producto auténtico de la investigación personal y responsabilidad del autor.

Ambato, noviembre del 2018

……..

Juan Eduardo Vásquez Carrillo

C. I.: 180396876-5

Autor

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación según las normas de la institución

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, noviembre del 2018

……..

Juan Eduardo Vásquez Carrillo

C. I.: 180396876-5

Autor

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante Juan Eduardo Vásquez Carrillo, de la carrera de Ingeniería Civil, bajo el tema: "ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA "CUBIERTA TIPO" DE BAMBÚ, PARA CANCHAS DE USO MULTIPLE MEDIANTE EL USO DE LOS PROGRAMAS REVIT, ROBOT Y ETABS"

Ambato, diciembre del 2018

Para constancia firman:

…….....

Ing. Mg. Betsabeth Suquillo

…….....

Ing. Mg. Santiago Medina

DEDICATORIA

A mis queridos padres Víctor y Maricela, los que me motivaron a seguir este camino, que, gracias a su apoyo incondicional, estuvieron siempre para mí y a pesar de mis muchos errores y decisiones mal tomadas jamás permitieron que me rindiera y pueda culminar con mi carrera universitaria.

A mi querida Abuela Rebequita, quien con sus valiosas enseñanzas y consejos me enseño que podía alcanzar cualquier cosa que me propusiera.

A mis hermanos y hermanas por brindarme su cariño y apoyo incondicional en medida a sus posibilidades.

A mi querido sobrino André, que desde que llego al mundo me ha llenado de amor, alegría y mucha ternura, es quien sin duda me motiva a crear un mundo mejor.

A mis grandes amigos tanto de carrera como de vida, quienes me han brindado su apoyo y con quienes he vivido momentos muy agradables y son quienes además de mi familia han estado conmigo en los momentos más difíciles.

A Chicharra por su amistad, lealtad y enseñarme lo hermoso que es este mundo cuando se tiene un amigo fiel.

AGRADECIMIENTO

A la vida por permitirme apreciar lo bueno de la misma, por el aprendizaje cotidiano y por cada día nuevo de vida, porque sé que, representa una oportunidad nueva para levantarme, corregir y mejorar como ser humano.

Al hermoso ser que me dio la vida, mi querida madre Maricela, por su amor, apoyo incondicional y por enseñarme a tomar responsabilidad de mi vida y de mis actos. A mi padre Víctor, que me ha apoyado incondicionalmente y que siempre estuvo presto en brindarme su ayuda, así como su consejo, son ustedes sin duda lo mejor que tengo en mi vida.

A la Universidad Técnica de Ambato, por haber formado mi mente en el tiempo que permanecí en sus aulas.

Al Ing. Álvaro Ortiz quien me impulsó a desarrollar la presente investigación y que sin duda alguna me ha provisto de mucho conocimiento y criterio para poder desarrollar esta tesis.

A mis amigos, a todos los que he conocido durante estos años de vida universitaria ya que fueron una segunda familia y me demostraron su amistad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS GENERALES

CERTIFICACIÓN ---------- **II**

AUTORÍA DEL TRABAJO ---------- **III**

DERECHOS DE AUTOR ---------- **IV**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO ---------- **V**

DEDICATORIA ---------- **VI**

AGRADECIMIENTO ---------- **VII**

ÍNDICE DE CONTENIDOS GENERALES ---------- **VIII**

ÍNDICE DE TABLAS ---------- **XIII**

ÍNDICE DE FIGURAS ---------- **XV**

RESUMEN EJECUTIVO ---------- **XXIII**

EXECUTIVE SUMMARY ---------- **XXIV**

CAPÍTULO I ---------- **2**

1. ANTECEDENTES ---------- 2

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL ---------- 2

1.2 ANTECEDENTES ---------- 2

1.3 JUSTIFICACIÓN ---------- 5

1.4 OBJETIVOS ---------- 7

1.4.1 OBJETIVO GENERAL ---------- 7

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS ---------- 8

CAPÍTULO II ---------- **9**

2. FUNDAMENTACIÓN ---------- 9

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA ---------- 9

2.1.1 ETABS ---------- 9

2.1.2 ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL ---------- 10

2.1.3 REVIT ---------- 11

2.1.4 ESTRUCTURAS DE CUBIERTAS ---------- 12

2.1.4.1 ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ---------- 13

2.1.4.2 TIPOS DE CUBIERTAS: ---------- 13

2.1.5 GUADUA ESTRUCTURAL GAK---------- 17

2.1.5.1 PARTES QUE CONFORMAN EL CULMO DE CAÑA GUADUA GAK ---------- 17

2.1.5.2 PASOS QUE SE DEBE SEGUIR PARA OBTENER GUADUAS ESTRUCTURALES--- 18

2.1.6 PROPIEDADES FÍSICO- MECÁNICAS DE LA GUADUA GAK ---------- 21

2.1.6.1 PROPIEDADES FÍSICAS ---------- 21

2.1.6.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA GUADUA GAK ---------- 24

2.1.7 ESFUERZOS ADMISIBLES PARA EL DISEÑO:---------- 26

2.1.7.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD---------- 26

2.1.7.2 MÓDULO DE CORTE---------- 27

2.1.7.3 MÓDULO DE POISSÓN ---------- 27

2.1.7.4 COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA ---------- 27

2.1.8 UNIONES DE ELEMENTOS DE GUADUA GAK ---------- 27

2.1.8.1 TIPOS DE CORTES EN GUADUA ---------- 28

2.1.8.2 TIPOS DE UNIONES ENTRE ELEMENTOS DE GUADUA GAK ---------- 28

2.1.8.2.1 UNIONES LONGITUDINALES ---------- 29

2.1.8.2.2 UNIONES PERPENDICULARES ---------- 30

2.1.8.2.3 UNIONES PERPENDICULARES CON DISCO Y MEDIA CAÑA METÁLICA-------- 30

2.1.8.2.4 UNIONES DIAGONALES---------- 31

2.1.8.2.4 UNIONES ZUNCHADAS ---------- 31

2.1.9. ANCLAJE DE ELEMENTOS DE GUAGUA GAK AL SOBRECIMIENTO ---------- 32

2.1.9.1 TIPOS DE ANCLAJES ---------- 32

2.2 HIPÓTESIS ---------- 34

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS ---------- 34

2.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE ---------- 34

2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE ---------- 34

2.3.3. TÉRMINO DE RELACIÓN ---------- 34

CAPÍTULO III ---------- 35

3. METODOLOGÍA ---------- 35

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN ---------- 35

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA ---------- 36

3.2.1 POBLACIÓN ---------- 36

3.3.2 MUESTRA ---------- 36

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES ---------- 37

3.3.1 OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE ---------- 37

3.3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE ---------- 38

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN ---------- 39

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ---------- 39

3.5.1 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN ---------- 39

3.5.1 PLAN DE ANÁLISIS ---------- 39

CAPÍTULO IV ---------- 40

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS ---------- 40

4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS ---------- 40

4.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO ---------- 40

4.1.2 MATERIALES ---------- 41

4.1.3. TIPOS DE CARGAS---------- 42

4.1.4. COMBINACIONES DE CARGA PARA EL DISEÑO---------- 46

4.2. DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA ESTRUCTURA ---------- 46

4.2.1. PRE-DISEÑO GEOMÉTRICO DEL PÓRTICOS EN “X”, “Y”---------- 48

4.2.1.1 PÓRTICO EN EL SENTIDO X ---------- 48

4.2.1.2 PÓRTICO EN EL SENTIDO Y ---------- 49

4.2.1.3 PREDISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE GUADUA ---------- 50

4.2.1.3.1 PREDISEÑO DE CORREAS ---------- 50

4.2.1.3.2 PREDISEÑO DE CERCHAS ---------- 53

4.2.1.3.3 PREDISEÑO DE COLUMNAS ---------- 57

4.3. ANÁLISIS COMPARATIVOS DE RESULTADOS ---------- 61

4.3.1. CHEQUEOS DE LA ESTRUCTURA ---------- 61

4.3.1. CHEQUEO DEL PERÍODO DE VIBRACIÓN Y EL PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN DE MASAS---------- 61

4.3.2. CHEQUEO DERIVAS MÁXIMAS---------- 63

4.3.3. VALIDACIÓN DEL ANÁLISIS ESTÁTICO- DINÁMICO ---------- 65

4.3.3. REACCIONES EN LOS APOYOS DE LA ESTRUCTURA ---------- 67

4.4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA ---------- 70

4.4.1. PROPIEDADES DE LA GUADUA REQUERIDAS EN EL DISEÑO DE ELEMENTOS-- 70

4.4.2. COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN ---------- 71

4.4.3 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN ---------- 73

4.4.3.1 DEFLEXIONES:---------- 73

4.4.3.2. CORTANTE: ---------- 74

4.4.3.3. FLEXIÓN: ---------- 75

4.4.3.4 APLASTAMIENTO: ---------- 77

4.4.4 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FUERZA AXIAL --- 78

4.4.4.1 ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN AXIAL ---------- 78

4.4.4.2 ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESIÓN AXIAL---------- 78

4.4.4.2.1. LONGITUD EFECTIVA:---------- 78

4.4.4.2.2. ESBELTEZ: ---------- 79

4.4.4.2.3 CLASIFICACIÓN DE COLUMNAS: ---------- 81

4.4.5. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FUERZA AXIAL -- 83

4.4.5.1. ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXIÓN CON TENSIÓN AXIAL ---------- 83

4.4.5.2. ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXO – COMPRESIÓN ---------- 83

4.4.6. DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE GAK SEGÚN LA SOLICITACIÓN 85

4.4.6.1 DISEÑO DE COLUMNAS: ---------- 85

4.4.6.2 DISEÑO DE CORDÓN SUPERIOR E INFERIOR DE LA CERCHA---------- 129

4.4.6.3 DISEÑO DE CORDÓN CENTRAL DE LA CERCHA ---------- 159

4.4.6.4 DISEÑO DE RIOSTRAS DIAGONALES INTERIORES Y EXTERIORES ---------- 169

4.4.6.5 DISEÑO DE DIAGONALES Y MONTANTES DE LA CERCHA ---------- 202

4.4.6.6 DISEÑO DE CORREAS ---------- 231

4.4.7 DISEÑO DE UNIONES ---------- 241

4.4.7.1 CHEQUEO POR APLASTAMIENTO---------- 245

4.4.7.2 DISEÑO DEL PERNO ---------- 247

4.4.8 DISEÑO DE ANCLAJE---------- 248

4.4.9 DISEÑO DE DADOS Y CIMENTACIÓN ---------- 250

4.4.9.1 DISEÑO DEL DADO DE APOYO ---------- 250

4.4.9.1 DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN ---------- 255

4.4.10 DISEÑO GEOMÉTRICO FINAL DE LA ESTRUCTURA ---------- 266

4.5. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS ---------- 267

CAPÍTULO V ---------- 268

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ---------- 268

5.1. CONCLUSIONES ---------- 268

5.2. RECOMENDACIONES ---------- 269

6. BIBLIOGRAFÍA ---------- 270

ANEXOS ---------- 273

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Esfuerzos admisibles NEC-15, Fi (MPa), CH=12% 25

Tabla 2:Esfuerzos último ,NEC-15, Fu (MPa), CH=12% 26

Tabla 3: Módulos de elasticidad NEC-15, Ei (MPa), CH=12% 27

Tabla 4: Operacionalización de la variable Independiente 37

Tabla 5: Operacionalización de la variable Dependiente..... 38

Tabla 6: Cargas de Viento 44

Tabla 7: Combinaciones de carga 46

Tabla 8: Participación de masas afectadas por el período de fibración 61

Tabla 9: Comprobación de chequeo de porcentaje de participación de las masas..... 62

Tabla 10: Porcentaje de participación de masas afectadas por el modo de vibración 62

Tabla 11: Comprobación de chequeo de porcentaje de participación de las masas... 62

Tabla 12: Derivas máximas producidas por EX 63

Tabla 13: Derivas máximas producidas por EY 63

Tabla 14: Derivas máximas producidas por EQx 64

Tabla 15: Derivas máximas producidas por EQy 64

Tabla 16: Derivas máximas producidas por EX 64

Tabla 17: Derivas máximas producidas por EY 64

Tabla 18: Derivas máximas producidas por EQx 64

Tabla 19: Derivas máximas producidas por EQy 65

Tabla 20: Análisis corte estático EX (ETABS)..... 65

Tabla 21: Análisis corte estático EQx (ETABS)..... 65

Tabla 22: Comparativa de cortante entre EX y EQx..... 66

Tabla 23: Análisis corte estático EY (ETABS)..... 66

Tabla 24: Análisis corte estático EQy (ETABS)..... 66

Tabla 25: Comparativa de cortante entre EY y EQy (ETABS) 66

Tabla 26: Reacciones producidas por la combinación D+L 67

Tabla 27: Reacciones Comb. D+L (Robot Structure Analysis)..... 68

Tabla 28: Coeficientes de modificación por duración de carga..... 71

Tabla 29; Coeficientes de modificación por Contenido de Humedad 72

Tabla 30: Coeficientes de modificación por temperatura 72

Tabla 31: Cálculo de sección y deflexiones..... 73

Tabla 32: Deflexiones admisibles 74

Tabla 33: Valores de Cc cuando 1e/D ≤ 15 75

Tabla 34: Coeficientes CL para diferentes relaciones d/b 76

Tabla 35: Coeficiente de longitud efectiva 79

Tabla 36: Valores de C y FCE según el tipo de sección 80

Tabla 37: Clasificación de Columnas por esbeltez 81

Tabla 38: Reacciones en los apoyos (ETABS) 255

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Cubierta plana 14

Ilustración 2: Cubierta inclinada y tirantes inferiores 14

Ilustración 3: Cubiertas autoportantes para parqueaderos 14

Ilustración 4: Estructura de un panel tipo Sandwich 15

Ilustración 5: Cubierta espacial (Parque Biológico Madrid) 15

Ilustración 6: Cubierta simple para una vivienda 16

Ilustración 7: Detalle estructura de cubierta tipo Deck. 16

Ilustración 8: Cubierta Telescópica para piscina 16

Ilustración 9: Partes del culmo de Guadua GaK 17

Ilustración 10: Culmo maduro 18

Ilustración 11: Corte de culmo 19

Ilustración 12: Zona de preservación (INMERSIÓN DE LA CAÑA GUADUA)... 19

Ilustración 13: Preservación tipo Boucheire 19

Ilustración 14:Secado por inyección de aire caliente 20

Ilustración 15: Secado al ambiente 20

Ilustración 16: Almacenamiento Vertical 21

Ilustración 17: Almacenamiento Horizontal 21

Ilustración 18: Diámetro Real GaK..... 23

Ilustración 19: Espesor Real de GaK 23

Ilustración 20: Tipos de corte para uniones entre elementos de guadua GaK 28

Ilustración 21: Unión con mortero de cemento..... 29

Ilustración 22: Unión de elementos de guadua GaK con pieza de madera..... 29

Ilustración 23: Unión de elementos de guadua GaK con dos pletinas metálicas..... 29

Ilustración 24: Unión de elementos de guadua GaK con dos culmos paralelos 30

Ilustración 25: Unión perpendicular entre dos culmos de guadua GaK..... 30

Ilustración 26: Unión perpendicular entre elementos de guadua GaK con caña metálica 31

Ilustración 27: uniones diagonales con perno y varilla..... 31

Ilustración 28: Unión Zunchada entre elementos de guadua GaK..... 32

Ilustración 29: Anclaje de elementos GaK con la estructura de cimiento y sobrecimiento 32

Ilustración 30: Anclaje de elementos Gak al sobrecimiento mediante Varillas corrugadas de acero..... 33

Ilustración 31: Anclaje mediante pletinas de acero..... 34

Ilustración 32: Modelación ETABS..... 40

Ilustración 33: Mapa para diseño sísmico..... 44

Ilustración 34: Modelación unifilar 3D de la estructura en el programa Robot Structure Analysis..... 47

Ilustración 35: Pórtico en el sentido X (ETABS)..... 48

Ilustración 36: Pórtico en el sentido Y (ETABS)..... 49

Ilustración 37: Área de aportación de cargas para correas..... 50

Ilustración 38: Sección de prediseño para correas..... 52

Ilustración 39: Área de aportación de cargas para cerchas..... 53

Ilustración 40: Cargas distribuidas en los nodos a lo largo de la cercha..... 56

Ilustración 41: Sección de prediseño para cordones, montantes y diagonales ede la cercha..... 56

Ilustración 42: Área de aportación de cargas para columnas..... 57

Ilustración 43: Montante y Diagonal de la cercha..... 68

Ilustración 44: Cordón Superior e inferior de la cercha..... 69

Ilustración 45: Columna principal..... 69

Ilustración 46; Relación d/b para vigas compuestas..... 76

Ilustración 47: Columna con la mayor solicitación (ETABS)..... 85

Ilustración 48: Solicitación a compresión y tensión (ETABS)..... 85

Ilustración 49: Momento de flexión (ETABS)..... 86

Ilustración 50: Sección transversal de la columna..... 87

Ilustración 51: Propiedades de la sección (ETABS) 88

Ilustración 52:Columna inclinada interior con la mayor solicitación (ETABS)..... 96

Ilustración 53: Solicitación a compresión y tensión (ETABS) 96

Ilustración 54: Momento de flexión (ETABS)..... 97

Ilustración 55:Sección transversal de la columna 98

Ilustración 56: Propiedades de la sección 99

Ilustración 57:Columna inclinada exterior con la mayor solicitación (ETABS) 107

Ilustración 58: Solicitación a compresión y tensión (ETABS) 107

Ilustración 59: Momento de flexión y corte (ETABS)..... 108

Ilustración 60: Sección transversal del elemento 109

Ilustración 61: Propiedades de la sección 110

Ilustración 62:Columna inclinada entre pórticos con la mayor solicitación (ETABS) 118

Ilustración 63: Solicitación a compresión y tensión (ETABS) 118

Ilustración 64: Momento de flexión y corte (ETABS)..... 119

Ilustración 65: Sección transversal del elemento 120

Ilustración 66: Propiedades de la sección 121

Ilustración 67: Cordón inferior con la mayor solicitación (ETABS)..... 129

Ilustración 68:Solicitación a compresión y tensión (ETABS) 129

Ilustración 69: Momento de Flexión y corte (ETABS)..... 130

Ilustración 70: Sección transversal del elemento 131

Ilustración 71: Propiedades de la sección 132

Ilustración 72: Cordón superior con la mayor solicitación 139

Ilustración 73:Solicitación a compresión y tensión (ETABS) 139

Ilustración 74: Momento de Flexión y corte (ETABS)..... 140

Ilustración 75: Sección transversal del elemento 141

Ilustración 76: Propiedades de la sección 142

Ilustración 77: Cordón inferior exterior de la cercha con la mayor solicitación..... 149

Ilustración 78: Solicitación a compresión y tensión (ETABS) 149

Ilustración 79: Momento de Flexión y corte (ETABS)..... 150

Ilustración 80: Sección transversal del elemento 151

Ilustración 81: Propiedades de la sección 152

Ilustración 82: Cordón Central con la mayor solicitación 159

Ilustración 83: Solicitación a compresión y tensión (ETABS) 159

Ilustración 84: Momento de Flexión y corte (ETABS)..... 160

Ilustración 85: Sección transversal del elemento 161

Ilustración 86: Propiedades de la sección 162

Ilustración 87: Columna riostra interior con la mayor solicitación..... 169

Ilustración 88: Solicitación a compresión y tensión (ETABS) 169

Ilustración 89: Momento de Flexión y corte (ETABS)..... 170

Ilustración 90: Sección transversal del elemento 171

Ilustración 91: Propiedades de la sección 172

Ilustración 92: Columna riostra exterior con la mayor solicitación 180

Ilustración 93: Solicitación a compresión y tensión (ETABS) 180

Ilustración 94: Momento de Flexión y corte (ETABS) 181

Ilustración 95: Sección transversal del elemento 182

Ilustración 96: Propiedades de la sección 183

Ilustración 97:Columna inclinada entre pórticos con la mayor solicitación (ETABS) 191

Ilustración 98: Solicitación a compresión y tensión (ETABS) 191

Ilustración 99: Momento de flexión y corte (ETABS) 192

Ilustración 100: Sección transversal del elemento 193

Ilustración 101: Propiedades de la sección 194

Ilustración 102: Columna riostra exterior con la mayor solicitación 202

Ilustración 103: Solicitación a compresión y tensión (ETABS) 202

Ilustración 104: Momento de Flexión y corte (ETABS) 203

Ilustración 105: Sección transversal del elemento 204

Ilustración 106: Columna riostra exterior con la mayor solicitación 212

Ilustración 107: Solicitación a compresión y tensión (ETABS) 212

Ilustración 108: Momento de Flexión y corte (ETABS) 213

Ilustración 109: Sección transversal del elemento 214

Ilustración 110: Columna riostra exterior con la mayor solicitación 222

Ilustración 111: Solicitación a compresión y tensión (ETABS) 222

Ilustración 112: Momento de Flexión y corte (ETABS)..... 223

Ilustración 113: Sección transversal del elemento..... 224

Ilustración 114: Correa con la mayor solicitación..... 231

Ilustración 115: Solicitación a compresión y tensión (ETABS)..... 231

Ilustración 116: Momento de Flexión y corte (ETABS)..... 232

Ilustración 117: Sección transversal del elemento..... 233

Ilustración 118: Propiedades de la sección..... 234

Ilustración 119: Cortes para uniones..... 241

Ilustración 120: Detalle unión Dado-Columna..... 242

Ilustración 121: Detalle unión Columnas - Riostras..... 242

Ilustración 122: Detalle unión Columna, Riostras y Cercha..... 243

Ilustración 123: Detalle unión Cercha, Montantes y Diagonales..... 243

Ilustración 124: Detalle unión Columna, Riostras y Cercha..... 244

Ilustración 125: Detalle unión Cercha – Correas..... 244

Ilustración 126: Elemento con la mayor solicitación de transmisión al nudo..... 245

Ilustración 127:Esfuerzo de compresión (-) y Tensión (+)..... 245

Ilustración 128: Reacciones producidas por Sismo estático en el sentido Y (EY). ETABS..... 248

Ilustración 129: Sección transversal del dado de apoyo en el nivel 1.50M..... 249

Ilustración 130:Vista frontal (x) de la cimentació, dado de hormigón y columna GaK..... 249

Ilustración 131: Vista frontal (x) de la cimentació, dado de hormigón y columna GaK 250

Ilustración 132: Geometría de cimentación aislada (Robot)..... 255

Ilustración 133: Armadura de la cimentación (Robot)..... 265

Ilustración 134: Estructura de bambú con secciones definitivas 266

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA "CUBIERTA TIPO" DE BAMBÚ, PARA CANCHAS DE USO MULTIPLE MEDIANTE EL USO DE LOS PROGRAMAS REVIT, ROBOT Y ETABS.

Autor: Juan Eduardo Vásquez Carrillo

Tutor: Ing. Mg. Byron Cañizares

RESUMEN EJECUTIVO

Para cumplir con el objetivo de la investigación, fue necesario en primera instancia, definir la configuración geométrica adecuada de la estructura, modelando y analizando diferentes configuraciones en el programa ETABS, hasta que, la configuración de la estructura de cubierta cumpla con los chequeos período de vibración, derivas de piso menores al 2% y que la participación de las masas sea mayor al 90%.

Definida la geometría y configuración estructural de la cubierta, ésta fue modelada también en el programa Robot Structure Analysis con el fin de realizar un análisis comparativo entre resultados presentados por cada uno de los programas y verificar si estos son similares, que cumplan con los chequeos mencionados y para determinar los esfuerzos solicitantes en cada uno de los elementos estructurales de bambú. Una vez determinados los esfuerzos de compresión, tracción, momento solicitante y esfuerzo cortante a los que los elementos de bambú estaban sometidos, obtenidos de los programas ETABS y Robot, se procedió a diseñar las secciones definitivas de Guadua GaK de la estructura por el método de esfuerzos admisibles, basados en la normativa NEC_SE_GUADUA y NSR-10 Cap. G.12., ya que, los programas especializados de análisis estructural no contienen normas referentes al diseño de estructuras de bambú.

Para concluir con la investigación se realizó la representación y modelación tridimensional de la estructura en el programa especializado Revit.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO

FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGIEERING

CARRER OF CIVIL ENGIEERING

ANALYSIS AND STRUCTURAL DESIGN OF A "TYPE COVER" BY BAMBOO, FOR COURTS OF MULTIPLE USE THROUGH THE USE OF THE REVIT, ROBOT AND ETABS PROGRAMS.

Author: Juan Eduardo Vásquez Carrillo

Tutor: Ing. Mg. Byron Cañizares

EXECUTIVE SUMMARY

In order to comply with the research objective, it was necessary in the first instance to define the appropriate geometric configuration of the structure, modeling and analyzing different configurations in the ETABS program, until, the configuration of the cover structure meets the period of vibration, floor drifts of less than 2% and that the participation of the masses is greater than 90%.

Defined the geometry and structural configuration of the roof, it was also modeled in the Robot Structure Analysis program in order to perform a comparative analysis between the results presented by each of the programs and verify if they are similar, that they comply with the aforementioned checks. and to determine the soliciting efforts in each of the bamboo structural elements. Once the compression, traction, requesting moment and shear stress efforts to which the bamboo elements were subjected, obtained from the ETABS and Robot programs, were determined, the final Guadua GaK sections of the structure were designed by the method of permissible efforts, based on the NEC_SE_GUADUA and NSR-10 Cap. G.12., Since, the specialized programs of structural analysis do not contain norms referring to the design of bamboo structures.

To conclude with the research, the three-dimensional representation and modeling of the structure was carried out in the Revit specialized program.

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

"ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA "CUBIERTA TIPO" DE BAMBÚ, PARA CANCHAS DE USO MULTIPLE MEDIANTE EL USO DE LOS PROGRAMAS REVIT, ROBOT Y ETABS".

1.2 ANTECEDENTES

Basado en un sinnúmero de investigaciones relacionadas tanto la utilización del Bambú o Guadua Angustifolia como material estructural, así como el empleo de programas de diseño y modelación de estructuras.

La Universidad Nacional de Colombia a través de su revista "Ingeniería e Investigación" en septiembre del 2004 publica un el artículo técnico, "Comportamiento estructural de la Guadua Angustifolia. Uniones en guadua", por Caori Takeuchi quien concluye que, es importante el diseño de las conexiones debido a que, la guadua puede presentar solicitaciones de corte o tensión perpendicular. Un mal diseño de conexiones puede ocasionar el fallo prematuro de la estructura. [1]

En el año 2016, en la Universidad Nacional de San Agustín en Perú, en la facultad de Ingeniería Civil, Paul Díaz en su Tesis de investigación "Análisis comparativo: Uso de bambú Vs. Perfiles de Acero para cobertura liviana" indica que la parte más crítica tanto para el cálculo como para el diseño y el proceso constructivo, no son los elementos que soportan cargas axiales, sino las uniones o nudos. El bambú cuenta con características mecánicas que garantizan un comportamiento estructural optimo, sin embargo, no se han realizado los suficientes experimentos ni estudios para lograr una conexión ideal que maximice su utilidad y eficiencia.

Concluye además que el bambú necesita una protección por diseño arquitectónico que asegure no recibir ni humedad directa, ni rayos solares directos. La razón es que causarían un deterioro rápido con fallas a tomar en cuenta en su comportamiento estructural. Es también inflamable por su cavidad hueva. El cortante es muy bajo. La norma Peruana indica usar un esfuerzo máximo. [2]

En nuestro país, en el año de 2011, en la Escuela Politécnica del Ejercito, Carrera de Ingeniería Civil, F. Cañizares y J. Taco en su tesis de investigación "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)", concluyen que, las construcciones de cubierta ligera, refiriéndose al bambú, han cautivado el mundo de la construcción, debido a que brinda un conjunto de ventajas respecto a las construcciones tradicionales como: Aprovecha eficientemente las capacidades de los materiales; son fáciles de construir; amplia variedad de diseños y formas; optimización del tiempo de construcción; capacidad de ser desmontable y reusable: ventilación natural; y óptimo para la variedad de climas de nuestro país". [3]

En Agosto de 2016, dentro de la Norma Ecuatoriana de Construccion NEC se crea el capítulo "Estructuras de Guadúa GaK", la que recomienda se requerirá de diseño estructural, en los siguientes casos:

- Proyectos de una planta con luces mayores a 3m.
- Edificaciones con superficies mayores a 200 m2.
- Tipologías arquitectónicas con vivienda o equipamiento, cuyo modelo será replicado en más de 15 unidades o más de 3000 m2 de área de construcción.

Las recomendaciones mínimas establecidas en la norma pueden usarse tanto para proyectos de estructuras diseñadas íntegramente en Guadua como para estructuras mixtas. [4]

En cuanto al empleo de programas de análisis y diseño estructural, en el año 2016, la Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Carrera de Ingeniería Civil, en la tesis de M. Quinchiguango y D. Taco "Análisis estructural de una edificación de hormigón armado a través del software Robot Analysis Structural", Robot está pensado para estructuras que vayan a ser

manejadas netamente dentro de un flujo de trabajo BIM, ya que se interconecta con los diferentes programas que simulan otros aspectos dentro de una edificación como de arquitectura (Revit Structural), de manejo de tiempos (Naviswork), de instalaciones eléctricas (Revit Electrical) y de sistemas de instalaciones sanitarias (Revit MEP); de existir una mayor información y capacitación en nuestro medio sería una gran herramienta que potenciaría tiempos y costos. Por otro lado, Etabs posee un flujo de trabajo BIM, pero a través de instalación de complementos que le permitan interactuar con otros programas como Revit. [5]

En el año 2017 en la Universidad técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil, la tesis de investigación "Diseño y modelación de un edificio con una configuración en planta irregular, mediante el uso del software de diseño "Revit Structure" y su análisis mediante un software especializado "Robot Structural Analysis" (BIM). realizada por M. Villena, busca brindar los resultados obtenidos en base a un estudio comparativo de la modelación y análisis de una edificación con softwares basados en el sistema BIM, que son herramientas para que el usuario pueda acortar el tiempo de cálculo y la representación gráfica de las secciones de diseño para su construcción. Para realizar el presente estudio, se plantea una propuesta arquitectónica, la misma que será objeto de análisis y diseño estructural, en conjunto con la calidad de construcción de la estructura, todo esto con el fin de tomar en cuenta la zonificación sísmica y los diferentes parámetros de cálculo para la edificación en mención. Continuando con el estudio, se analiza la propuesta arquitectónica a ser diseñada, los materiales con los que será construida la edificación, los parámetros sísmicos de la zona y se realiza de un prediseño de la estructura, obteniendo así los datos necesarios para realizar la modelación estructural de la edificación. Tomamos como primer software a "REVIT", con el que se modelará los elementos principales de la estructura, como son vigas y columnas, para luego trasferir esa estructura al software de análisis estructural denominado "ROBOT ESTRUCTURAL ANALYSIS" para modelar la losa con la cual va a ser construida la edificación y los elementos faltantes como son muros de corte, sistema de gradas, y la cimentación. Una vez finalizado la modelación calculamos la estructura y remplazamos las secciones que no resisten las diferentes cargas actuantes en la misma; hasta contar con las secciones finales de diseño que nos permitan la estabilidad,

seguridad y resistencia sísmica de la edificación. Finalmente analizamos los resultados obtenidos de la modelación en “ROBOT ESTRUCTURAL ANALISYS” y los comparamos con otro software comercial de diseño estructural “ETABS”, con el fin de conocer los resultados del análisis. Y ya con las secciones de diseño de la edificación y habiendo cumplido con todos los limitantes y la normativa, trasladamos nuestro modelo de cálculo al software “REVIT” para su detalle gráfico y su posterior impresión. De esa manera se da veracidad y factibilidad al uso del sistema BIM como ayuda para el análisis y modelamiento estructural. [6]

1.3 JUSTIFICACIÓN

Conocido también como Guadua Angustifolia Kunt, el Bambú ha sido usado desde las culturas más antiguas en el oriente, con mayor importancia en los países de China, India y Japón. Esta planta ha servido para una gran diversidad de artesanías, e incluso sirve a manera de enchapes para pisos, como papel, como alimento, etc. [7]

Solo los japoneses tienen registradas más de 1500 formas de utilización, en tanto que, los chinos han registrado más de 4000 formas de utilización de esta planta, es así que, los primeros cables empleados en puentes colgantes se hicieron con Bambú en el Himalaya donde aparecen algunos que cubren más de 75 m. de luz sin apoyo. [3]

Tomas Edison conocía la versatilidad del bambú, de tal manera que empleó bambú carbonizado para elaborar los filamentos de las primeras bombillas de luz.

En el continente americano ha sido utilizado desde el periodo precolombino aprovechado de un modo empírico por las grandes cualidades que posee, su bajo peso y costo, su rápido crecimiento y excelentes cualidades a tracción, flexión y compresión. [8]

Colombia es uno de los países que más recursos a destinado para la investigación, así como para la ejecución de ingraestructuras, tales como puentes, cubiertas, casas, etc., donde el bambú juega un papel importante como elemento estructural. [1]

En el Ecuador la caña Guadua es un tipo bambú espinoso perteneciente a la familia Poacecae, ha estado presente en todos los períodos de nuestra historia, desde lo precolombino hasta nuestros días, y han resistido siglos pese a dos circunstancias

influyentes; la colonización española (siglo XV) y el advenimiento del Hormigón armado (siglo XX).

Por tal motivo, en nuestro país el estudio y empleo del bambú ha cobrado fuerza durante los últimos años con diversas investigaciones realizadas por universidades y académicos como es el caso del Arq. José Morán Ubidia, quien ha proporcionado la mayor parte de información técnica sobre la Guadua, siendo esta información parte fundamental en la creación del capítulo correspondiente para estructuras de bambú dentro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-GUADUA. [7]

El bambú, es la especie vegetal más parecida al sistema óseo. Sus nudos son similares a los estribos de una armadura. Sus haces fibrosos se ubican de manera inmediata a su epidermis tal como los aceros lo hacen en una columna de concreto armado. La superficie externa, por la sílice que posee, es la parte más resistente.

Por ser un producto orgánico, de rápido crecimiento, baja energía incorporada y de gran eficiencia estructural, posee un impacto ambiental extremadamente bajo, lo que ha permitido que se transforme en un material atractivo para quienes se inscriben en las teorías de sustentabilidad ambiental. [3]

El bambú como material de construcción presenta varias ventajas, entre estas, su forma circular y hueca lo hace un material liviano, fácil de manipular y transporta, además presenta una clara ventaja como sistema de construcción sismo resistente por la presencia de nudos y tabiques que lo hacen más rígido y elástico, es uno de los materiales más baratos y se produce dentro de nuestro país de manera que no es necesaria la importación del mismo.

Sin embargo, para que el bambú trabaje de manera eficiente es necesario tomar medias de protección frente a amenazas como humedad, infestación de insectos, incendios y envejecimiento. [7]

La digitalización en el sector de la construcción avanza de manera lenta pero segura. De esta manera se optimiza los tiempos de planeación, cálculo y ejecución de una edificación.

Por otra parte, hoy en día, el análisis del comportamiento de una estructura tanto estático (carga vertical) y dinámico (carga horizontal) son de vital importancia para entender y predecir el comportamiento de las edificaciones frente a dichas cargas, es en ese punto donde poco a poco se van implementando diversas herramientas desde las tarjetas de programación hasta los muy avanzados software de cálculo estructural. [9]

Robot Estructural es uno de los programas para el análisis estructural, muy versátil con respecto a otros programas que están en el mercado, el mismo que ofrece un análisis rápido a los problemas del análisis estructural, que se presentan cotidianamente. A más de proveer una gran interacción con otros programas Autodesk para la generación rápida de reportes, lo que permite manejar tiempos cortos que exige la demanda y la competencia del mercado en el área de la Ingeniería Civil. [6]

El empleo de la metodología BIM (Building Information Modeling) o, lo que es lo mismo, construir edificios de forma virtual (tridimensional) antes de hacerlo físicamente con el fin de anticipar problemas que puedan surgir, ha ido en aumento considerablemente en los últimos años en nuestro país.

Por tal motivo, la investigación tiene como finalidad, realizar el diseño de una estructura de bambú que sea económica, amigable con el medio ambiente y segura. Se empleará el programa "Revit Structure" para el diseño geométrico de la estructura, así como, el uso de dos programas de diseño estructural como son "Robot Analysis Strutural" y "ETABS" con el fin de realizar un análisis comparativo de los resultados que determine que programa arroja resultados más cercanos a los que se obtienen mediante el "Diseño por esfuerzos Admisibles". [4]

Se espera que la información y resultados presentados en la investigación sean útiles y puedan ser empleadas para el beneficio y desarrollo de toda la humanidad.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño y análisis estructural de una Cubierta Tipo (cimentación estructura y cubierta) de bambú para canchas de uso múltiple de un área de 19x32 m. que cumpla

con la normativa establecida en el código NEC-SE-GUADUA y el código NSR-10 Capítulo G.12 Estructuras de Guadua

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar cuales son las características que debe presentar el bambú para que este pueda ser calificado como material estructural en base a la norma NEC-SE-GUADUA y el código NSR-10 Capítulo G.12 Estructuras de Guadua.
- Analizar y seleccionar el tipo de unión de los elementos de bambú que se va a emplear en el diseño de la estructura.
- Realizar el diseño geométrico de la estructura de cubierta de bambú empleando el programa Revit.
- Introducir datos y parámetros para realizar una adecuada modelación de la estructura en los programas Robot Analysis Structural y ETABS.
- Realizar un análisis comparativo de resultados arrojados por ambos programas.
- Diseñar los elementos estructurales que conforman el sistema.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 ETABS

ETABS (Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems) es un programa de análisis y diseño estructural de edificios, este software ofrece herramientas de modelado y visualización de objetos 3D, poder analítico lineal y no lineal, opciones de dimensionamiento sofisticadas y que abarcan una amplia gama de materiales, esclarecedores gráficos, informes y diseños esquemáticos que facilitan la comprensión del análisis y de los respectivos resultados. Desde el modelado de la estructura a la creación de diseños y detalles, ETABS cubre todos los pasos del proceso de dimensionamiento. [10]

Características, ventajas y funcionalidades:

- Es posible modelar, analizar, dimensionar, detallar y generar informes, además acceder rápidamente a los objetos, propiedades y reportes, y definir, duplicar, modificar y atribuir propiedades a los elementos.
- Existe una amplia selección de plantillas para iniciar rápidamente un nuevo modelo, permite visualizar tanto el "Modelo Analítico" como el "Modelo Físico" de la estructura, permite también la creación de un sistema de cuadrícula o grilla mediante, referencial cartesiano, cilíndrico o genérico. Genera automáticamente vistas de plantas y alzados, permitiendo la navegación rápida en el modelo, se puede crear además vistas y cortes.
- Aplica acciones sísmicas y de viento y permite definir automáticamente funciones de espectro de respuesta basadas en normativas y reglamentos internacionales.

- Con alrededor de 40 años de experiencia los solvers de CSI han sido usados y probados por ingenieros. Los análisis dinámicos de ETABS incluyen el cálculo de modos de vibración a través de Ritz o Eigen vectors, análisis de espectros de respuesta, análisis temporal "time-history", tanto para comportamiento lineal como no lineal.
- Permite visualizar resultados actualizados en cualquier elemento después de la alteración de parámetros y/o propiedades de las secciones.
- Una de las herramientas novedosas incorporadas recientemente al programa es el “Section designer”, el que permite crear secciones genéricas con cualquier geometría y material. Todas las propiedades de las secciones, diagramas de interacción biaxial y diagramas de momento-curvatura se calculan automáticamente.
- ETABS soporta interoperabilidad con varios programas: Autodesk Revit Structure, AutoCAD (DXF/DWG), CIS/2, IFC y SDNF. También es posible la exportación del modelo para una base de datos Microsoft Access. [10]

2.1.2 ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL

Robot Structural Analysis Professional es una herramienta avanzada de análisis estructural que permite realizar análisis lineales y no lineales de los modelos de construcción, puentes y otros tipos de estructuras industriales. Este programa nos permite definir una amplia gama de análisis avanzados como análisis estáticos, modales, sísmicos, espectrales, armónicos y de historial de tiempo. [11]

Este software de ingeniería estructural es suficientemente versátil tanto para análisis de armados sencillos como para complejas estructuras de elementos finitos y ofrece una perfecta interoperabilidad con productos complementarios de Autodesk, así como una interfaz abierta de programación de la aplicación (API).

Características, ventajas y funcionalidades:

- Este programa efectúa detallados análisis por elementos finitos (MEF) constituyéndose en una práctica propuesta para un Calculista de Estructuras.
- El programa incluye barras, placas, láminas, estructuras en tensión plana o en deformación plana, estructuras axi-simétricas, uniones y sólidos.

- Los elementos pueden ser combinados a elección para componer estructuras de pórticos y superficies. En este sentido, es posible modelar una estructura completa y estudiar la estabilidad y el descenso de cargas.
- El programa incorpora una herramienta dinámica de fluidos computacional (CFD), aplicable a todos los tipos de estructuras, que permite a los usuarios someter rápidamente sus modelos a un flujo de viento simulado alrededor de una estructura y generar automáticamente las cargas de viento.
- Podemos simular y generar cargas de viento directamente en Robot, o podemos exportar la estructura a Autodesk Simulation CFD si el programa está instalado en nuestra máquina.
- La tecnología de simulación de viento actúa como un túnel de viento, y nos permite visualizar mapas de presión coloreados sobre nuestro modelo para entender los efectos del viento, incluso con estructuras complicadas.
- Robot supera en capacidades a muchos otros programas de su condición y permite al usuario analizar de forma rigurosa el verdadero comportamiento no lineal de una estructura.
- Este programa aporta capacidades líderes en el mercado para el análisis dinámico de las estructuras.
- Intercambio bidireccional de datos con el programa Revit y Structural Deatilling. [11] [12]

2.1.3 REVIT

Revit es conocido por su uso y su utilidad con respecto al modelado de información de construcción. Está creado exclusivamente para trabajo en modelado BIM. Hablamos de un programa con un motor de cambios paramétricos, una base de datos relacional que gestiona y coordina la información necesaria para el modelado del diseño arquitectónico, la construcción, y la ingeniería de un edificio, incluyendo todas las especialidades. [13]

Con esta tecnología podemos abordar y tratar todo lo relacionado con el proyecto de un edificio o una construcción, desde su diseño hasta su levantamiento y puesta en

marcha, pues el programa nos permite simular y trabajar en la construcción con una exactitud y unas características y funciones muy amplias y útiles que ayudan mucho en el día a día de los arquitectos y los profesionales de este sector. [14]

Características, ventajas y funcionalidades de Revit

Las funciones que nos ofrece este software cubren las necesidades de modelado de la arquitectura, ingeniería y construcción. Algunas de las más importantes son:

- El programa cuenta con instrumentales para diseñar el edificio desde su conceptualización hasta la planimetría de la construcción. Sombras Vectoriales: Al efectuar cualquier cambio en la estructura, orientación y otros detalles que modifiquen la disposición de elementos frente a la luz, las sombras se ajustan inmediatamente, para visualizar el efecto de los cambios en la iluminación.
- Permite analizar todos los ángulos del edificio desde distintas perspectivas y en diferentes secciones, incluyendo vistas con líneas ocultas, sombras y siluetas.
- Los diferentes equipos pueden trabajar de forma simultánea en un edificio y el programa coordinará todos los cambios ingresados.
- Cuenta con un tipo de renderización integrada que incluye puertas, ventanas y tragaluces en sus cálculos para simular las condiciones de luz natural, entre varias otras funciones. [9]
- El entorno multidisciplinario que presenta el programa en el que no solo trabaja un profesional, sino todo un equipo sincronizado y a tiempo real puede trabajar sobre un mismo proyecto por lo que la optimización de tiempo y recursos será mayor y de gran ventaja. [10]

2.1.4 ESTRUCTURAS DE CUBIERTAS

Cubierta

Se llama cubiertas al conjunto de elementos que el cerramiento superior, cuya función fundamental es ofrecer protección a las edificaciones principalmente contra los agentes

climáticos, así como, de otros factores, para resguardo, intimidad, aislación acústica y térmica. [14]

Existe múltiples campos de aplicación de cubiertas teniendo en cuenta los requerimientos de los futuros usuarios. Destacamos algunos campos de aplicación: agricultura, almacenaje, aviación, concesionarios, equitación, galerías de tiro, ganadería, silos, garaje, industria, invernaderos, polideportivos o instalaciones deportivas, talleres, pasarelas, naves industriales o agroalimentarias, edificios de oficinas, viviendas, etc. [15]

2.1.4.1 ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA

- Correas
- Viga portante o cercha
- Columnas o Pilares Estructurales
- Anclajes
- Arriostramiento
- Cubierta
- Lucenarios o entradas de luz
- Canalones
- Aislamiento Térmico
- Techo Falso [15]

2.1.4.2 TIPOS DE CUBIERTAS:

Cubiertas planas: En principio este tipo de cubiertas se construían en zonas donde los niveles de precipitaciones eran bajos, por otra parte, no solo desempeñan el papel de protección contra los agentes climáticos o para privacidad, sino que también debemos considerarla como un elemento estructural que soporta su peso propio y las sobrecargas que actúan sobre el mismo, ya sea por el uso, el viento, la nieve, las vibraciones de la calle, sismos, etc., se trata de una solución ventajosa para cubiertas de eje rectilíneo de vanos intermedios. [16]



Ilustración 1: Cubierta plana
Fuente: [15]

Cubiertas curvas o inclinadas: Son cubiertas autoportantes de eje curvilíneo conferido por el equipamiento de fabricación y complementada por un conjunto de tirantes que absorben los esfuerzos horizontales y son de acero de alta resistencia, también están conformadas por contravientos los que constituyen un sistema de reserva de seguridad, que se destina a transmitir directamente a las estructuras de soporte de la cobertura los esfuerzos excesivos debidos a la acción del viento.



Ilustración 2: Cubierta inclinada y tirantes inferiores
Fuente: [15]

Cubiertas autoportantes: Constituyen un cerramiento o techo tipo membrana que distribuye uniformemente las tensiones recibidas, bien de origen térmico o climático de cualquier orden. Estas tensiones son repartidas sobre las paredes de forma uniforme, contribuyendo éstas al reparto de cargas y a su trasmisión lineal y uniforme a los cimientos. De este modo las riostras también cooperan y contribuyen a la distribución de las cargas de cubierta.



Ilustración 3: Cubiertas autoportantes para parqueaderos
Fuente: [15]

Cubiertas tipo Sándwich: Es aquella en la que cómo el propio nombre indica tiene dos placas de fibro cemento o chapas metálicas en la parte superior e inferior y en el interior el aislamiento, que puede ser un alma de polurietano, poliestireno expandido o fibra de vidrio o lanas de minerales. Este tipo de cubierta también se utiliza cómo rehabilitamiento de cubiertas sin tener que desmontar las existentes. Este tipo de sistema de cubiertas inclinadas tipo sándwich, formadas por dos chapas metálicas trapeciales con inclusión de lana de vidrio, es muy utilizado en la construcción de naves industriales.

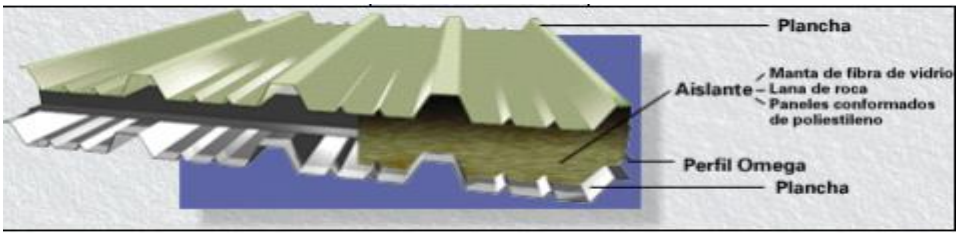


Ilustración 4: Estructura de un panel tipo Sandwich
Fuente: [15]

Cubiertas espaciales: Parecido a un cerchado tridimensional, denominamos Estructura Espacial al elemento resistente formado por la yuxtaposición en el espacio de módulos con distintas formas geométricas. Éstas, a su vez, están constituidas por la unión de nudos y barras de acero. Según la disposición de estos elementos entre sí mismos pueden ser de base cuadrada o triangular.



Ilustración 5: Cubierta espacial (Parque Biológico Madrid)
Fuente: [15]

Cubierta simple: Las cubiertas simples son cubiertas que se realizan basándose en chapa metálica para cubrir edificios industriales, de agricultura. En ciertas ocasiones se utilizan para una ampliación de la vivienda en poco tiempo, con el condicionante de tener que reducir al máximo los costos de la construcción. Las cubiertas de metal

cumplen con los dos requisitos anteriores y, por sus colores y texturas, también permiten renovar el aspecto de la casa.



Ilustración 6: Cubierta simple para una vivienda
Fuente: [15]

Cubiertas Tipo Deck: Denominadas también placas colaborantes, son cubiertas autoportantes que además pueden servir como cerramiento superior, sirven también como losas de entrepisos. Este tipo de cubiertas se puede aplicar también en estructuras de metal como de hormigón. Este tipo de cubierta debe asentarse sobre vigas secundarias cuyo espaciamiento dependerá de los esfuerzos producidos por las cargas actuantes.

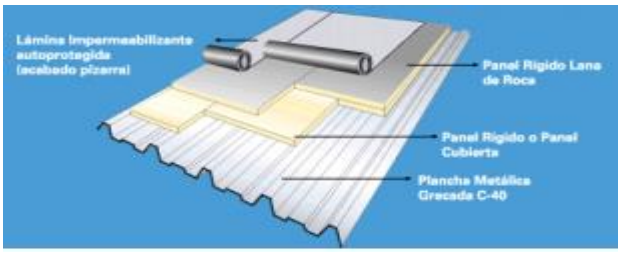


Ilustración 7: Detalle estructura de cubierta tipo Deck.
Fuente: [15]

Cubiertas Telescópicas: Son cubiertas formados por piezas longitudinalmente sucesivas que pueden recogerse encajando cada una en la anterior, con lo cual se reduce su largura. Estas cubiertas permiten desplegarse y recogerse según sean las necesidades del usuario. Su uso principal es ayudar a la climatización de piscinas. [15]



Ilustración 8: Cubierta Telescópica para piscina
Fuente: [15]

2.1.5 GUADUA ESTRUCTURAL GaK

2.1.5.1 PARTES QUE CONFORMAN EL CULMO DE CAÑA GUADUA GaK

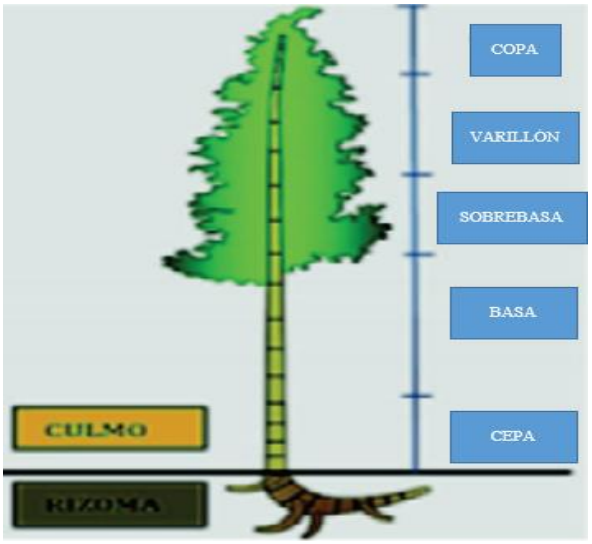


Ilustración 9: Partes del culmo de Guadua GaK
Fuente: Imágenes Web

Basa: Segundo segmento del culmo de GaK, a continuación de la cepa, con una longitud entre 4 y 6 m.

Cepa: Primer segmento basal del culmo de guadua con longitudes que fluctúan entre 3 a 4 m; es la parte de la guadua que presenta el mayor diámetro y el mayor espesor de pared.

Culmo: Tallo del bambú, formado por nudos y entrenudos, que emerge del rizoma; es el equivalente al tallo de un árbol.

Dermis o Tripa: parte blanda del Bambú.

Diafragmas interiores del culmo: Tabiques o membranas interiores del tallo de bambú ubicados a la altura de cada uno de los nudos.

Entrenudo: Porción del culmo comprendida entre dos nudos; también se le conoce como canuto o cañuto, su longitud varia a lo largo del culmo y se va incrementado en el entrenudo subsiguiente de la parte alta.

Epidermis: Piel o parte externa del culmo.

GaK: Guadua angustifolia Kunth.

Nudo: Parte del culmo de la guadua, donde las fibras se entrecruzan.

Sobrebasa: Tercer segmento del culmo de guadua, localizado a continuación de la basa con longitudes hasta de 4 m.

Tocón: Porción inferior de un tallo de árbol o bambú que queda en el terreno luego de ser cortado.

Varillón: Segmento terminal del culmo de guadua, localizado a continuación de la sobrebasa, con longitudes hasta de 4 m. Se utiliza tradicionalmente en cubiertas como soporte de tejas de barro. [4] [17]

2.1.5.2 PASOS QUE SE DEBE SEGUIR PARA OBTENER GUADUAS ESTRUCTURALES

- Los productores deben llevar un control de la edad cada culmo y debe ser cultivado entre los 4 y 6 años que es cuando la guadua esta ya madura. [4]

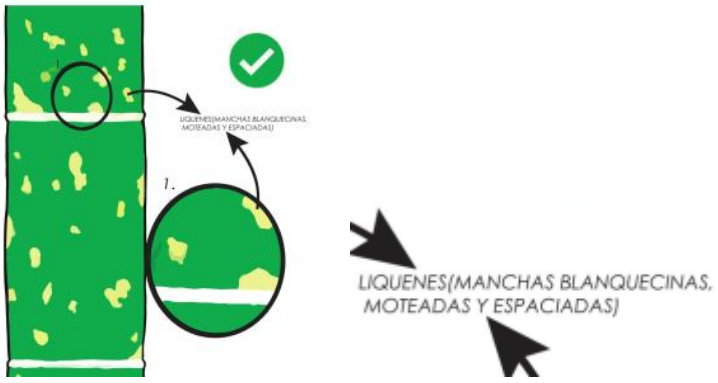


Ilustración 10: Culmo maduro
Fuente: [7]

- Los culmos maduros serán cortados a ras del primer nudo inferior con el fin de evitar acumulación de agua en el tocón, posteriormente se cortarán las ramas pero sin dañar el culmo. [4]

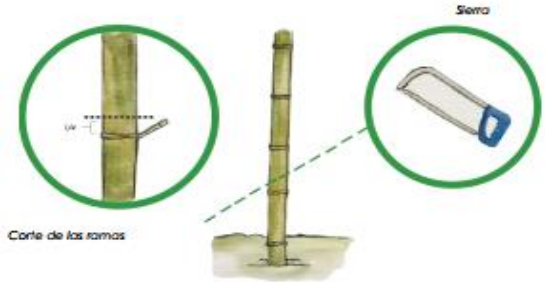


Ilustración 11: Corte de culmo
Fuente: [7]

- Los culmos seleccionados deberán ser transportados cuidadosamente hacia la zona de preservación y secado en vehículos de entre 6 y 12 metro de longitud de carga según la longitud de corte de los culmos. [4]
- Ya en la zona de preservación los culmos de guadua se someten a procesos de inmunización como el de Boucherie que es un tipo de preservación por presión entre otros, con el fin de eliminar e impedir la proliferación de hongos y otros factores que dañen la guadua. [4]



Ilustración 12: Zona de preservación (INMERSIÓN DE LA CAÑA GUADUA)
Fuente: [7]



Ilustración 13: Preservación tipo Boucheire
Fuente: [7]

Posterior a la etapa de preservación los culmos de guadua entras en el proceso de secado hasta alcanzar un contenido de humedad igual o inferior a la humedad de equilibrio del lugar como se indica en el Apéndice 3 del NEC-SE-GUADUA. El secado puede ser al ambiente aproximadamente 15 días dependiendo de las condiciones climáticas de la zona o en su defecto pueden ser secado artificial mediante el uso de hornos, inyección de aire caliente o secadores solares. [4]



Ilustración 14:Secado por inyección de aire caliente
Fuente: [7]

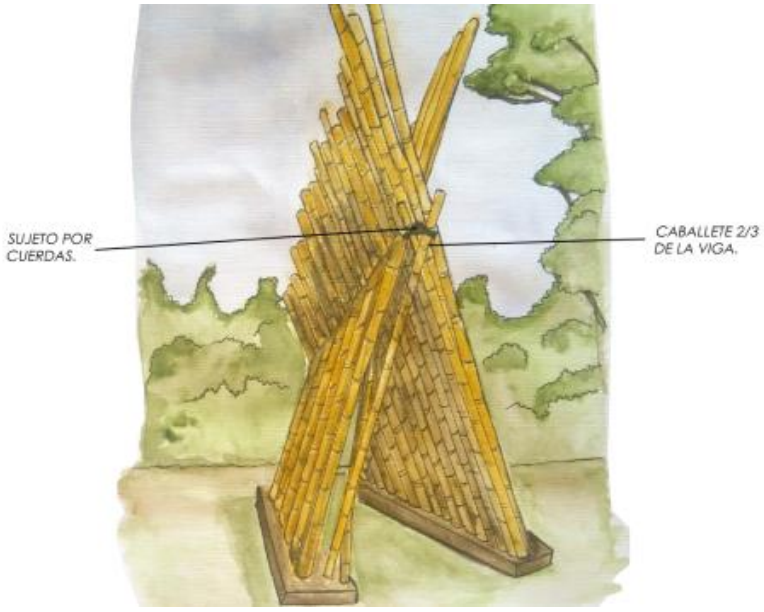


Ilustración 15: Secado al ambiente
Fuente: [7]

- Finalmente, los culmos ya secos serán almacenados tanto de forma vertical como horizontal. [4]

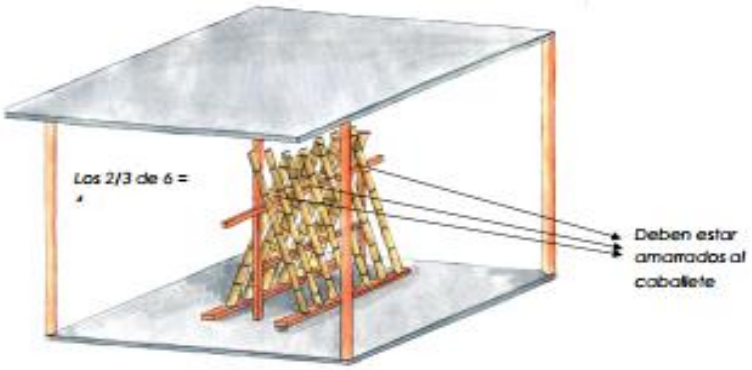


Ilustración 16: Almacenamiento Vertical
Fuente: [7]

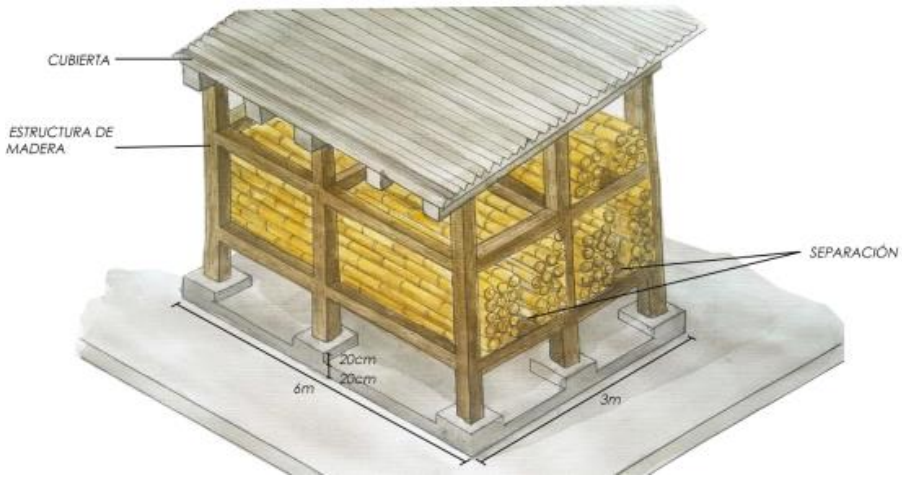


Ilustración 17: Almacenamiento Horizontal
Fuente: [7]

2.1.6 PROPIEDADES FÍSICO- MECÁNICAS DE LA GUADUA GaK

2.1.6.1 PROPIEDADES FÍSICAS

CONTENIDO DE HUMEDAD: La humedad es una propiedad que debe ser analizada ya que el comportamiento mecánico de la guadua GaK depende del contenido de humedad de la misma. Esta propiedad relaciona la masa de agua contenida en la pieza y la masa de la misma en estado seco (anhidra), expresada en porcentaje. La humedad del tallo de guadua disminuye con la altura y con la edad. La humedad cambia con las épocas del año, si hay lluvia hay mayor humedad; y menos durante los tiempos de sequía.

La contracción del tallo en su longitud se puede pasar por alto; pero la contracción del diámetro puede ser del 5% hasta el 15%, cuando se disminuye la humedad del tronco,

(del 7% hasta el 20%). Esta contracción es importante considerando el uso en hormigón armado. La contracción de troncos verdes o jóvenes es mayor que en los troncos maduros; estos últimos tiene buena resistencia a la tracción y flexión. Además, el incremento de la resistencia a la presión está en relación con la disminución de la humedad, en forma parecida al proceso de endurecimiento de la madera. [9] [8]

MASA POR VOLUMEN: Es la densidad a la cual está el material para poder saber su peso propio en el cálculo estructural. "La masa por el volumen" es el nombre moderno de densidad la cual se expresa como la masa dividida para su volumen.

Ecuación 1: Densidad Básica [8]

$$\rho = \left(\frac{m}{v}\right) * 10^6$$

Donde:

ρ = Densidad en, kg/m3.

m = es la masa de la probeta seca en el horno, expresada en gramos.

v = es el volumen de la probeta, en milímetros.

Densidad Básica promedio según [9] **en base a ensayos =** 704.18 kg/m^3

PESO ESPECÍFICO: Relación entre el peso total de la muestra sobre el volumen total de la muestra. Para determinar el volumen de la muestra de guadua se debe sumergirlas en mercurio para tener mayor precisión en el ensayo.

Ecuación 2: Peso Específico [9]

$$Pe = \frac{Pt}{Vt}$$

Donde:

Pe: Peso específico de la guadua GaK

Pt: Peso total

Vt: Volumen total

DURABILIDAD: A pesar de que la guadua GaK es altamente resistente contra el ataque de insectos, moho y putrefacción no está por demás protegerla contra estos mismos factores cuando esta se encuentra en contacto con el suelo. [9]

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LA SECCIÓN DE GaK:

La guadua GaK presenta una sección trasversal cilíndrica conformada diafragmas que se cortan con internodos aproximadamente de 30 a 40 cm que equivale el pandeo del tronco.

- **Diámetro:** Medir en cada segmento del culmo el diámetro en ambos extremos y en dos direcciones perpendiculares entre sí. El diámetro real corresponde al promedio de las cuatro mediciones.

Diámetro real: (1D+2D+3D+4D) /4

- **Espesor:** Tomar cuatro mediciones en cada sección transversal del culmo, y medir, además, el espesor en los mismos sitios en que se midió el diámetro. El espesor real corresponde al promedio de las ocho mediciones.
- **Espesor real:** (1e+2e+3e+4e+5e+6e+7e+8e) /8

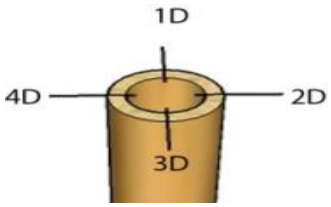


Ilustración 18: Diámetro Real GaK
Fuente: [7]



Ilustración 19: Espesor Real de GaK
Fuente: [7]

2.1.6.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA GUADUA GaK

TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS: Es el esfuerzo último de tensión paralela a las fibras a la que resiste la guadua GaK por la aplicación de gradual de cargas mediante la denominada "Máquina Universal". [9]

Ecuación 3: Esfuerzo Admisible de Tracción guadua GaK [9]

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

Donde:

σ_{ult} = Esfuerzo último de tensión en MPa

F_{ult} = Carga máxima en N

A = Promedio del área transversal medida en mm^2

COMPRESIÓN: Es el esfuerzo último de compresión que resiste la guadua GaK al ser sometida a cargas de compresión paralela a las fibras.

Ecuación 4: Esfuerzo Admisible de Compresión de la guadua GaK [9]

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

Donde:

σ_{ult} = Esfuerzo último de compresión en MPa

F_{ult} = Carga máxima en N

A = Promedio del área transversal medida en mm^2

CORTE PARALELO A LA FIBRA: Es el esfuerzo último de corte que resiste el culmo de guadua GaK.

Ecuación 5: Esfuerzo Admisible de Compresión de la guadua GaK [9]

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{A} \text{ en Mpa}$$

Donde:

τ_{ult} = Esfuerzo máximo de corte

F_{ult} = Carga máxima en N

A = Área de corte en mm^2

FLEXIÓN: Es el esfuerzo último de flexión que resiste el culmo de guadua GaK.

Ecuación 6: Momento de inercia de la sección de guadua GaK [9]

$$I = (\frac{\pi}{64}) * (D^4 - (D - 2t)^4)$$

Donde:

I = Momento de inercia en mm^4

π = 3.141592

D = Diámetro externo de la guadua Gak

d = Diámetro interno de la guadua GaK

t = Espesor de la guadua GaK (D-d)

Ecuación 7: Esfuerzo Admisible de Flexión de la guadua GaK [9]

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

Donde:

σ_{ult} = Esfuerzo máximo de Flexión en MPa

c = Centro de gravedad que se encuentra a D/2 en mm

M_{ult} = Momento último de flexión en N*mm

I = Momento de inercia en mm^4

Tabla 1: Esfuerzos admisibles NEC-15, Fi (MPa), CH=12%
Fuente: [4]

F_b Flexión	F_t Tracción	F_c Compresión ∥	F_{p*} Compresión ⊥	F_v Corte
15	19	14	1.4	1.2

Tabla 2:Esfuerzos último ,NEC-15, Fu (MPa), CH=12%
Fuente: [4]

F_b Flexión	F_t Tracción	F_c Compresión ‖	F_v Corte
45	117	37	7

2.1.7 ESFUERZOS ADMISIBLES PARA EL DISEÑO:

Las características elásticas de la madera o en este caso guadua GaK están representadas por, el módulo de Elasticidad, el módulo de Corte y el módulo de Poisson. En el caso de la guadua Gak esta presenta 3 módulos de elasticidad, 3 módulos de corte y 6 módulos de poissón, dado que se trata de un material Orto trópico, es decir que presenta diferentes características en ambos sentidos. [9]

2.1.7.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad de la guadua puede ser obtenido directamente de una curva esfuerzo deformación del ensayo de compresión o puede ser hallado por métodos indirectos como en los ensayos a flexión. [9]

Ecuación 8: Modulo de Elasticidad de la guadua GaK [9]

$$E = \frac{0.5F * x * (3L^2 - 4x^2)}{24 * I * \delta \max}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad en MPa

F = Fuerza máxima en N

x = Distancia a la primera carga en mm

L = Distancia libre entre apoyos en mm

I = Momento de inercia en mm^4

δmax = Deformación máxima en mm

Tabla 3: Módulos de elasticidad NEC-15, Ei (MPa), CH=12%
Fuente: [4]

Módulo percentil 5 $E_{0.5}$	Módulo percentil 5 $E_{0.05}$	Módulo mínimo E_{min}
12.000	7.500	4.000

2.1.7.2 MÓDULO DE CORTE

El módulo de corte relaciona las deformaciones o distorsiones con los esfuerzos de corte o cizallamiento que les dan origen. Existen diferentes valores para este módulo en cada una de las direcciones de la guadua. Sin embargo, el más usual es el que sigue la dirección de las fibras. Los valores reportados para esta propiedad varían entre 1/16 y 1/25 del módulo de elasticidad lineal (PADT-REFORT) el cual es:

Ecuación 9: Módulo de Corte guadua GaK [9]

$$Módulo\ de\ Corte = \frac{E}{25}\ o \frac{E}{16}$$

2.1.7.3 MÓDULO DE POISSÓN

Es la relación que existe entre deformación lateral y deformación longitudinal. Para el caso de la guadua se ha tomado igual que para la madera existen 6 módulos de poissón ya que se relacionan las deformaciones en las direcciones longitudinal, radial, y tangencial. Para la madera se han reportado valores del orden de 0.325 a 0.40. [9]

2.1.7.4 COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA

La madera al igual que la guadua cambia de dimensiones cuando sufre variaciones de temperatura. La guadua como material Ortotrópico posee valores diferentes de dilatación térmica en sus tres direcciones anatómicas. La dilatación tangencial y radial aumentan con la densidad de la madera, siendo la tangencial mayor que la radial. La dilatación longitudinal no depende de la densidad, pero varía entre las especies. Para efecto del trabajo realizado en guadua se ha tomado valores típicos de la madera como son: en el eje longitudinal 3x10-6, en el tangencial 25x10-6 y en la radial 15x10-6. [9]

2.1.8 UNIONES DE ELEMENTOS DE GUADUA GAK

Generalidades:

Las uniones deben resistir las cargas externas a las que estarán sometidas. para realizar uniones se debe tomar especial atención a aquellas que pudieran ser sometidas a tensión o fuerza perpendicular a l fibra y corte paralelo a la fibra. Por otra parte, no se permite realizar uniones con clavos o elementos que provoquen rajaduras a lo largo del culmo. [4]

2.1.8.1 TIPOS DE CORTES EN GUADUA

Existen varios tipos de corte para uniones de guadua GaK y otros bambúes entre los que destacan:

Corte Recto: Es plano y perpendicular al eje.

Corte boca de pez: Es cóncavo transversal al eje del culmo.

Corte pico de flauta: se realiza a diversos ángulos con respecto al eje del culmo

Corte Bisel: Se realiza un corte a 45 del eje del culmo. [4]



Ilustración 20: Tipos de corte para uniones entre elementos de guadua GaK
Fuente: [7]

2.1.8.2 TIPOS DE UNIONES ENTRE ELEMENTOS DE GUADUA GaK

Las uniones entre elementos de guadua GaK u otros bambúes se los puede realizar tanto con pernos o con pletinas metálicas o incluso con varilla según el tipo de unión y los requisitos de resistencia. Es decir, para unir elementos relativamente grandes es necesario emplear pernos acompañados de pletinas metálicas. Además, es necesario que los pernos sean de un diámetro no menor a 9.5 mm, así como, las pletinas deben tener un espesor mínimo de 5 mm. Estos dos elementos de unión deben ser de acero estructural con refuerzo de fluencia no menor a 240 MPa.

Cuando los culmos de GaK están sometidos a cargas de aplastamiento, se debe rellenar los entrenudos cercanos a la unión y por donde pasen los pernos, con una mezcla de mortero de cemento en relación 1:3 en caso de ser posible. [7]

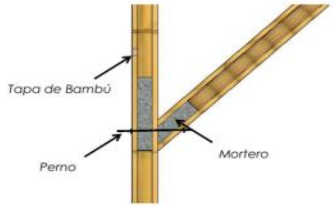


Ilustración 21: Unión con mortero de cemento
Fuente: [7]

2.1.8.2.1 UNIONES LONGITUDINALES

Se hará uso de las uniones longitudinales cuando se requiera aumentar la longitud de los culmos en la estructura.

Con pieza de madera: Se unirán perpendicularmente a las piezas de madera con dos pernos de 9mm como mínimo, ubicados a 30mm de los nudos como distancia máxima. [7]

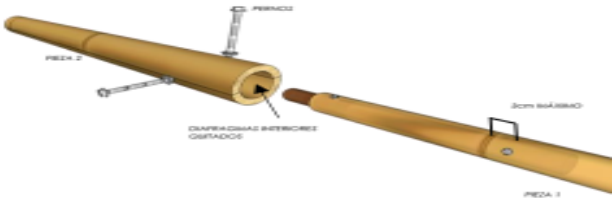


Ilustración 22: Unión de elementos de guadua GaK con pieza de madera
Fuente: [7]

Con dos piezas metálicas: Se conectarán con dos elementos metálicos de forma paralela al eje longitudinal del culmo, los cuales estarán sujetos con pernos de 9mm como mínimo, ubicados a 30mm de los nudos como distancia máxima. [7]

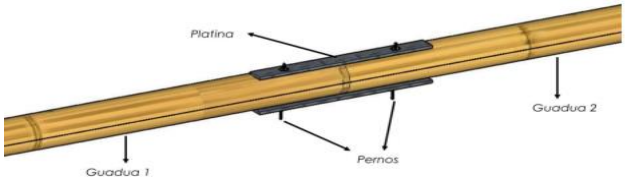


Ilustración 23: Unión de elementos de guadua GaK con dos pletinas metálicas
Fuente: [7]

Con dos culmos: Se unirá dos elementos de guadua Gak con dos culmos paralelos al eje longitudinal del culmo, sujetos con pernos de 9mm como mínimo, ubicados a 30mm de los nudos como distancia máxima. [7]

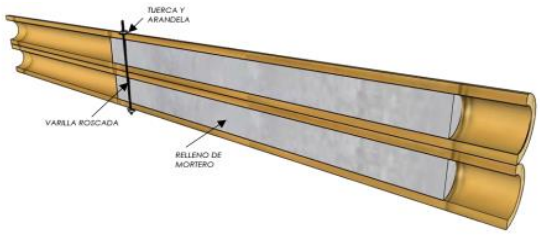


Ilustración 24: Unión de elementos de guadua GaK con dos culmos paralelos
Fuente: [7]

2.1.8.2.2 UNIONES PERPENDICULARES

Dos elementos estructurales dispuestos perpendicularmente uno del otro genera mayor seguridad en la estructura.

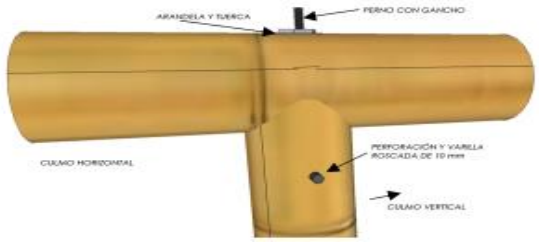


Ilustración 25: Unión perpendicular entre dos culmos de guadua GaK
Fuente: [7]

2.1.8.2.3 UNIONES PERPENDICULARES CON DISCO Y MEDIA CAÑA METÁLICA

Son una variación de la unión boca de pez, a pesar que de igual forma sirven para asegurar dos elementos estructurales perpendiculares, estos facilitan el proceso y reducen el tiempo de ejecución.

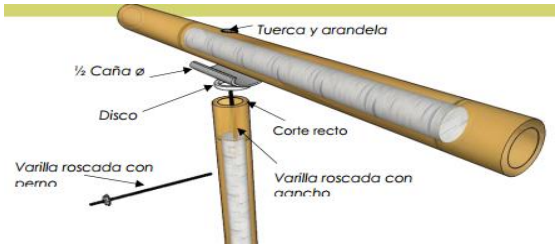


Ilustración 26: Unión perpendicular entre elementos de guadua GaK con caña metálica
Fuente: [7]

2.1.8.2.4 UNIONES DIAGONALES

Por medio del corte pico de flauta, se realizan estas uniones entre una pieza vertical u horizontal con otra que no sea paralela ni perpendicular. En este corte se debe tomar en cuenta que las piezas deben estar en contacto. [7]

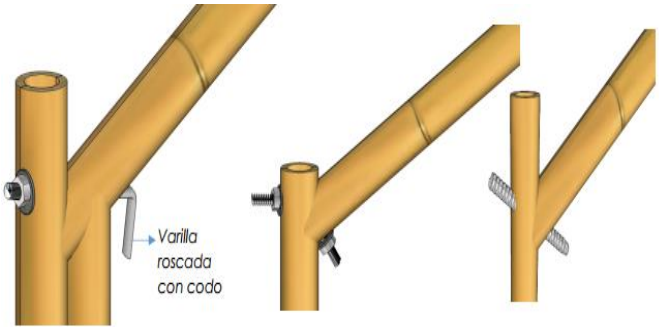


Ilustración 27: uniones diagonales con perno y varilla
Fuente: [7]

2.1.8.2.4 UNIONES ZUNCHADAS

Las uniones zunchadas se realizan siempre y cuando sean para garantizar que dos elementos de Gak y otros bambúes se acoplen correctamente entre ellos, la transmisión de cargas no depende del zuncho4. Es recomendado zunchar las puntas del Gak y otros bambúes para evitar que estas tengan grietas. Los zunchos pueden ser de plástico, metal, caucho, fibra vegetal, cuero, nailon, fajas. [7]

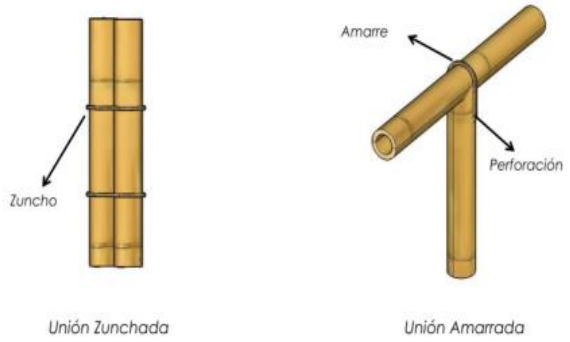


Ilustración 28: Unión Zunchada entre elementos de guadua GaK
Fuente: [7]

2.1.9. ANCLAJE DE ELEMENTOS DE GUAGUA GaK AL SOBRECIMIENTO

Las columnas de GaK y otros bambúes no pueden estar en contacto directo con el suelo natural. Deben apoyarse sobre zócalos, pedestales o pilaretes impermeabilizados en la superficie de contacto. [4]

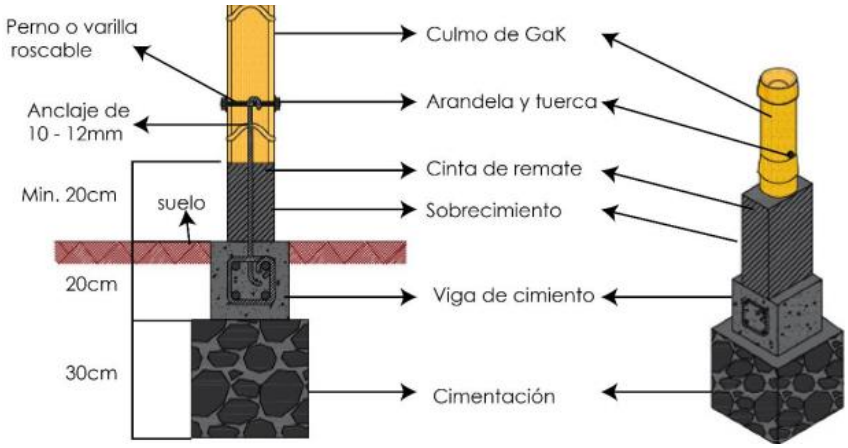


Ilustración 29: Anclaje de elementos GaK con la estructura de cimiento y sobrecimiento
Fuente: [7]

2.1.9.1 TIPOS DE ANCLAJES

Los culmos se pueden anclar a los sobrecimientos, por medio de: varillas corrugadas, pletinas, tubos de acero, elementos articuladores de acero, entre otros, de acuerdo a los requerimientos del diseño estructural que tenga el proyecto a construirse.

Anclaje mediante varillas de acero: Las varillas inician en el cimiento y sobresalen en la cabeza del sobrecimiento, para cumplir las funciones de anclaje o amarre entre el sobrecimiento y los culmos. El sistema hace posible el apoyo de, uno o más culmos, en la parte superior del sobrecimiento. Los culmos deben apoyarse a 20 o 30 mm por

abajo del nudo de la Gak y otros bambúes. Con la ayuda de una varilla se debe atravesar todo el largo del culmo con el objetivo de eliminar el diafragma interior de los nudos. Realizar una abertura de 25 mm de diámetro en el entrenudo del culmo a 30 cm del sobrecimiento. El diámetro de los anclajes que penetran en los culmos de GaK y otros bambúes, está en función de la altura de las columnas, no deben ser menores a 10 mm (3/8”), ni mayores a 18 mm (3/4“). Los anclajes que sobresalen del zócalo o pedestal deben ser de no menos de 30 cm de longitud. [4]

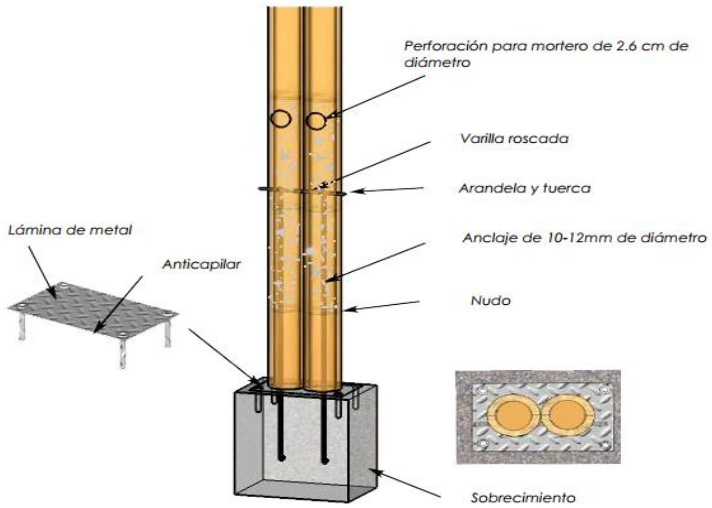


Ilustración 30: Anclaje de elementos Gak al sobrecimiento mediante Varillas corrugadas de acero Fuente: [7]

Anclaje mediante pletinas de acero: Este sistema permite asegurar uno o más culmos al sobrecimiento, sin necesidad de introducir morteros al interior del culmo. Las dos pletinas metálicas de 40 mm de ancho y 5 mm de espesor deben sobresalir de sobrecimiento. Las dos pletinas se pueden anclar desde el cimiento o desde el sobrecimiento y sobresalir no menos de 250 mm de la cabeza del pedestal o zócalo. Para asegurar la alineación de las pletinas pueden estar previamente perforadas y atravesadas con dos pernos de 10 mm asegurados con tuercas y arandelas, mientras dure el endurecimiento del cimiento y sobrecimiento. Las platinas deben ser lo suficientemente anchas para colocar los pernos para que no se encuentren alineados en la misma cara, sino, opuestos, para minimizar el efecto de corte a las fibras paralelas de la GaK y otros bambúes. La separación entre las dos pletinas será de acuerdo al diámetro de los culmos disponibles. Cuando el secado ha finalizado, se extraen las tuercas, se coloca el culmo y se lo perfora en dirección de los agujeros de las dos pletinas y se colocan con los pernos y arandelas. Todos los elementos metálicos deben

ser limpiados de óxido, grasa, cemento, polvo, entre otros, antes de empezar la instalación. Pintar con anticorrosivo las pletinas y los elementos metálicos vistos como tuercas, anillos, extremos de los pernos. [7]

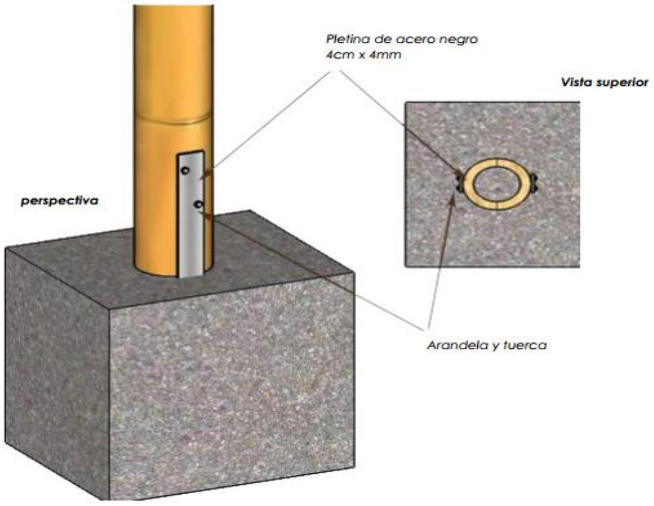


Ilustración 31: Anclaje mediante pletinas de acero
Fuente: [7]

2.2 HIPÓTESIS

El uso de los programas Revit, Robot y ETABS, permitirá realizar el análisis, diseño estructural y diseño geométrico, así como, la óptima representación gráfica, de una "Cubierta Tipo" de Bambú, para canchas de uso múltiple.

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Los programas Revit, Robot y ETABS

2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Análisis y diseño estructural de una "Cubierta Tipo" de Bambú, para canchas de uso múltiple.

2.3.3. TÉRMINO DE RELACIÓN

Permitirá

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

INVESTIGACIÓN APLICADA

La presenten investigación tiene como objetivo resolver la actual necesidad global para modelar estructuras de bambú, asumiendo una confiabilidad que demuestre sismo resistencia, mediante el análisis estructural comparativo de una de cubierta de GaK (Guadua Angustifolia Kunt) entre los programas ETABS y ROBOT y además realizar el diseño geométrico y detallamiento de la estructura REVIT.

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

La parte experimental del presente estudio está enfocada en el análisis de la configuración estructural y geométrica óptima que debe presentar la estructura para cumplir con los parámetros de resistencia, chequeo de derivas y esfuerzos admisibles en cada uno de los elementos estructurales que la conforman en base a la NEC-SE-GUADUA y la norma colombiana NRS-10 capítulo G12. Además, de la creación de familias en el programa REVIT que representen adecuadamente la forma y características del material para su recreación tridimensional.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

El presente estudio tiene como objetivo determinar la metodología de análisis y diseño de una cubierta Tipo de Bambú o Gak, dirigido hacia la toda de ingenieros y arquitectos, así como, a la comunidad deportiva y cultural que considere a las estructuras eco amigables como alternativa factible, segura y sustentable para la ejecución de proyectos de cubiertas para canchas de uso múltiple.

3.3.2 MUESTRA

Se ha considerado como muestra a todas las estructuras de cubierta realizadas con GaK a nivel mundial, sudamericano, pero principalmente todas las realizadas dentro del Ecuador, las mismas que se encuentran ubicadas a lo largo nuestra región costera, en la Amazonía y en menor porcentaje en la región andina. Es pertinente recalcar que dicha muestra ha sido probada sísmicamente en el pasado terremoto ocurrido el 16 abril del 2016.

La estructura de cubierta de la presente investigación también se ha considerado como muestra ya que también busca cumplir parámetros de sismo resistencia.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

Variable Independiente: Los programas Revit, Robot Strutural Analysis y ETABS

Concepto	Dimisiones	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
Los programas ETABS y Robot, son herramientas que permiten realizar el análisis estructural de edificaciones y se caracterizan por el poseer una extensa base de datos de normas y características de materiales y estructuras, así como, por la factibilidad de permitir a los usuarios ingresar características de materiales que no consten dentro de dichos programas. Revit es un programa especializado en el diseño arquitectónico que permite representar de forma tridimensional las estructuras mediante la creación de familias.	Análisis Estructural Comparativo	Robot Structural Analysis (programa especializado) ETABS (programa especializado)	¿Cómo utilizar correctamente los programas especializados Robot Structural Analysis y ETABS para generar resultados coherentes y parecidos de la estructura en ambos programas?	Investigación Bibliográfica y Experimental Análisis y comparación de resultados
	Dibujo y Modelación	Revit (programa especializado)	¿Cómo utilizar correctamente el programa especializado Revit para realizar una adecuada representación virtual de la estructura?	Investigación Bibliográfica y Experimental

Tabla 4: Operacionalización de la variable Independiente
Fuente: El Autor

3.3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

Variable Independiente: Análisis y diseño estructural de una "Cubierta Tipo" de Bambú, para canchas de uso múltiple.

Concepto	Dimensiones	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
Análisis y diseño estructural de una "Cubierta Tipo" de Bambú, para canchas de uso múltiple, significa que en base a las dimensiones de una cancha de uso múltiple se realiza la configuración geométrica de la estructura, para posteriormente modelarla e ingresar los valores de esfuerzos admisibles y características del Bambú en los programas de análisis y finalmente realizar el diseño de los elementos estructurales como sugieren las normas NEC 15 y NRS-10 en base a los valores de esfuerzos arrojado por los programas análisis estructural.	Configuración Geométrica	Geometría y arquitectura de la estructura de cubierta	¿Cuáles son las dimensiones y el tipo de configuración estructural requeridos para modelar la estructura de cubierta para canchas de uso múltiple?	Investigación Bibliográfica y Experimental
	Edificación	Fuerzas actuantes	¿Cuáles son las fuerzas que actúan en la estructura de cubierta para un correcto análisis y diseño estructural y pueda ser considerada sismo resistente?	Investigación Bibliográfica
	Dibujo y Modelación	Seguridad y Confiabilidad	¿Qué proceso de modelación y diseño es el más favorable para representar de manera tridimensional la estructura mencionada de tal manera que ésta brinde seguridad y confiabilidad?	Investigación Bibliográfica y Experimental

Tabla 5: Operacionalización de la variable Dependiente
Fuente: El Autor

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se realizó un estudio previo de documentos técnicos y diferentes bibliografías de investigaciones sobre estructuras elaboradas con Guadua GaK y otros tipos de Bambúes, de las que se obtuvo los lineamientos iniciales para ejecutar el estudio, además de, investigar si se podía modelar este tipo de estructuras en los programas análisis. También, se revisó la normativa de países vecinos, así como, la normar ecuatoriana NEC-15 referente al diseño de estructuras de Guadua GaK. Con el conocimiento de estos documentos se ejecutó el estudio requerido, con el fin de diseñar una estructura de cubierta sismo resistente y sustentable.

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.5.1 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

- Análisis crítico y técnico de toda la información recolectada.
- Interpretación de datos de acuerdo a las variables de la hipótesis
- Representación de los resultados

3.5.1 PLAN DE ANÁLISIS

- Realizar la configuración geométrica de la estructura
- Análisis, interpretación y comparación de resultados emitidos por los programas de Análisis estructural
- Tabulación de datos acorde a las variables de la hipótesis
- Verificación de la hipótesis
- Formulación de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

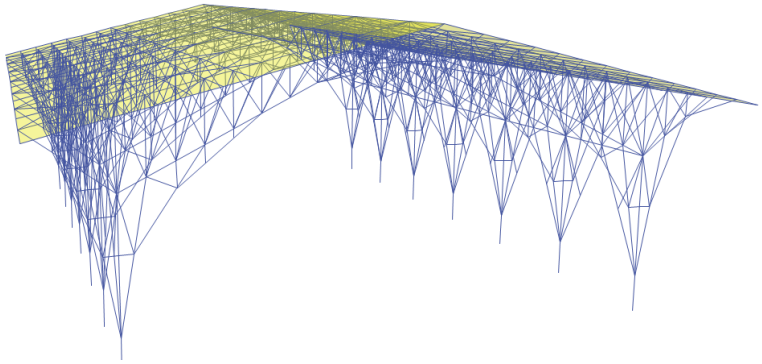


Ilustración 32: Modelación ETABS
Fuente :El autor

La estructura de cubierta en investigación, se puede denominar como “estructura mixta sustentable” debido a que la mayor parte de elementos estructurales están diseñados con Guadua Angustifolia Kunt (GaK), que es una variedad de bambú cuyas propiedades físico-mecánicas cumplen con los requisitos para ser denominado un material estructural y dados y cimentaciones de hormigón armado. Teniendo en cuenta que la estructura servirá como cubierta para canchas de uso múltiple, cuyas dimensiones son (19x32) m, entonces, se propone que la estructura sea de (27x35) m, con una altura interior en el centro de 9.95m y una altura total en su punto más alto igual a 12.00m.

La estructura está conformada por seis pórticos cerchados que distan entre sí 5.00m. Cada columna del pórtico descansa sobre un dado de hormigón armado de (0.5x0.8x1.5) m., cabe recalcar que no se trata de un apoyo “empotrado” sino de un apoyo “articulado” ya que este tipo de estructuras de bambú se diseñan de este modo, como lo determina el NEC-SE-GUADUA y el NSR-10-G12, es decir que los culmos de bambú no están embebidos en el dado de hormigón, sino que están anclados por medio de varillas y pernos.

La cubierta inclinada está conformada por correas separadas 1.00 m entre sí, sobre las que se apoya el techo de “Galvalume” que es una aleación entre aluminio y Zinc.

Este tipo de cubierta puede ser construida en cualquier parte del país, siempre y cuando se tenga en cuenta las características del suelo, riesgo sísmico del lugar, condiciones climáticas y que además el bambú esté protegido contra el ataque de hongos e insectos.

Esta investigación tiene como finalidad, servir como guía para que a futuro se pueda diseñar y construir estructuras de bambú, pero bajo un sustento científico y no únicamente empírico como se ha hecho durante mucho tiempo a lo largo de todo el país. La estructurase ha diseñado tomando en cuenta las condiciones sísmicas y de suelo de la provincia de Tungurahua, es decir zona sísmica V: (Z= 0.40), presión admisible del suelo 15 tonf/m^2.

4.1.2 MATERIALES

Guadua GaK:

Peso Específico	**Pe =** (750-900)kg/m^3 [9]
Diámetro ext. culmo	**D =** 10 cm
Espesor	**e =** 1 cm

Esfuerzos Admisible:

Flexión	**Fb =** 15 MPa
Tracción	**Ft =** 19 MPa
Compresión paralela a la fibra	**Fc =** 14 MPa
Compresión perpendicular a la fibra	**Fp* =** 1.4 MPa
Corte	**Fv =** 1.2 Mpa

Hormigón Armado:

Peso específico	**Pe** = 2400 kg/cm^3
Resistencia a los 28 días de edad	**f'c** = 210 kg/cm^2
Límite de fluencia del acero	**fy** = 4200 kg/cm^2

Galvalume:

Espesor	**e** = 0.40mm (catálogo Ipac)
Peso Aproximado	**Pa** = 3.83 kg/m^2 (catálogo Ipac)

4.1.3. TIPOS DE CARGAS

Carga Muerta: D



$D1 := 10\ cm$

$D2 := 8\ cm$

$A_{GaK} := \frac{(D1^2 - D2^2)}{4} \cdot \pi$ — Área transversal Gak

$A_{GaK} = 28.274\ cm^2$

$Vol := A_{GaK} \cdot (100\ cm)$ — Volumen GaK por metro lineal

$Vol = 0.003\ m^3$

$p := 750\ \frac{kgf}{m^3}$ — peso específico de la guadua

$PesoGak := p \cdot Vol$ peso GaK por metro lineal

$PesoGak = 2.121\ kgf$

Para determinar el peso propio aproximado de la estructura es necesario multiplicar el peso por metro linel de la guadua por el numero de cerchas y por la sumatoria de longitudes de los elementos q conforman una cercha incluyendo correas y diagonales transversales

CMA: 0.15 kN/m^2 (Incluye peso propio de Galvalume, intalaciones eléctricas)

Carga viva: L

para cubiertas **0.70 kN/m^2** (tabla 9 NEC-SE-Cargas Sísmicas) [18]

Cargas de viento: W

$$Barlovento = 0.5 * DA * (\sqrt{Vv * \sigma}) * Ce * Cfbar$$

Ecuación 10: Carga Barlovento(+) [18]

$$Sotavento = 0.5 * DA * (\sqrt{Vv * \sigma}) * Ce * Cfsot$$

Ecuación 11: Carga Sotavento (-) [18]

CARGAS DE VIENTO NEC 15			
	VALORES	**UNIDADES**	**OBSERVACIONES**
ALTURA DE LA ESTRUCTURA	12	m	
VELOCIDAD DEL VIENTO Vv	21	m/s	VER NEC-SE-CG
COEFICIENTE DE CORRECCION σ	0.97	adim	(VER TABLA 5 NEC-SE-CG)
DENSIDAD DEL AIRE DA	1.25	kg/m^3	
COEFICIENTE DE FORMA **Cf**			
Barlovento(+) Cfbar	0.7	adim	(VER TABLA 6 NEC-SE-CG)
Sotavento(-) Cfsot	-0.6	adim	(VER TABLA 6 NEC-SE-CG)

COEFICIENTE DE ENTORNO/ALTURA Ce	2.42	adim	FUENTE: [19]
PRESION		Pa	
Barlovento(+)	**439.319**	Pa	
Sotavento(-)	**-376.555**	Pa	
Barlovento(+)	**43.93**	kg/m^2	
Sotavento(-)	**-37.65**	kg/m^2	

Tabla 6: Cargas de Viento
Fuente: El autor

Cargas Sísmica: Estáticas (Ex, Ey), Dinámicas (EQx, EQy)

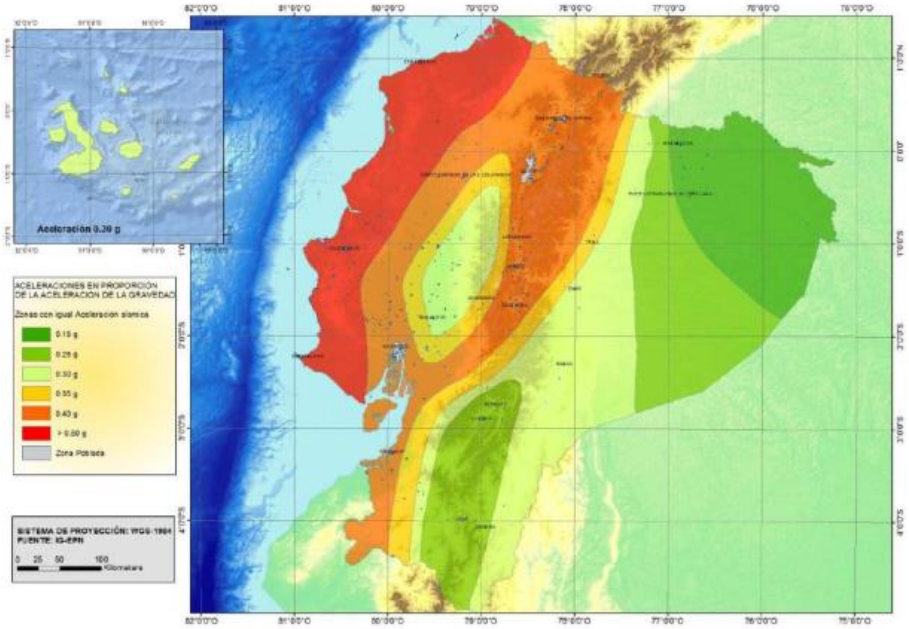


Ilustración 33: Mapa para diseño sísmico
Fuente: [20]

$$V = \frac{I\,S_a}{R\,\emptyset_P\emptyset_E}W \quad [20]$$

$$C_{CB} = \frac{I * Sa}{R * \emptyset_P * \emptyset_E} \quad [20]$$

Ecuación 12: Corte Basal [20]

Donde:

I = Coeficiente de importancia. Tabla 6. [20]

W = Carga reactiva [20]

Sa = aceleración espectral correspondiente al espectro de respuesta elástico para diseño [20]

R = Factor de reducción de respuesta estructural [20]

$\emptyset_p$ $\emptyset_e$ = Factor de configuración en planta y en elevación [20]

C_{CB} = Coeficiente de cortante basal de diseño [20]

***Nota:** El programa de análisis ETABS 2016 dispone de gran variedad de normas entre la las que se encuentra la Norma Ecuatoriana de construcción NEC-15, y nos permite generar directamente el espectro de diseño únicamente ingresando algunos factores entre los que se encuentran:*

Zona Sísmica = V (Tungurahua) [20]

Factor **Z** = 0.40 [20]

Tipo de perfil del suelo = **D** [20]

Fa = 1.2 [20]

Fd = 1.19 [20]

Fs = 1.28

Factor de importancia **I** = 1.3 [20]

Coeficiente **η** = 2.48 (provincias de la sierra , Esmeraldas y Galápagos) [20]

Factor de reducción de respuesta estructural para Guadua GaK **R** = 2 [4]

4.1.4. COMBINACIONES DE CARGA PARA EL DISEÑO

1	D
2	D + L
3	D + 0.75 L + 0.525 Ex
4	D + 0.75 L - 0.525 Ex
5	D + 0.75 L + 0.525 Ey
6	D + 0.75 L - 0.525 Ey
7	D + 0.7 Ex
8	D - 0.7 Ex
9	D + 0.7 Ey
10	D - 0.7 Ey
11	D + 0.75 L + 0.525 EQx
12	D + 0.75 L - 0.525 EQx
13	D + 0.75 L + 0.525 EQy
14	D + 0.75 L - 0.525 EQy
15	D + 0.7 EQx
16	D - 0.7 EQx
17	D + 0.7 EQy
18	D - 0.7 EQy

Tabla 7: Combinaciones de carga
Fuente: [4]

Combinación 19 = D+L+W

***Nota:** Pese a que en las normas NEC-SE-GUADUA y NSR-10 Cap. G12 no incluyan la acción de la carga de viento y tampoco una combinación de carga, para muestra estructura se ha decidido incluir una carga de viento, así como, una combinación de carga, con el fin de que el análisis estructural esté más pegado a la realidad y brinde mejores resultados para realizar el diseño de los elementos.*

4.2. DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA ESTRUCTURA

Para definir el diseño geométrico de la estructura de cubierta ideal, se ensayó con varios pórticos de diferente geometría y configuración estructural, los que fueron modelados tanto en el programa Robot como en el programa ETABS, incluyendo las características físico – mecánicas de la Guadua GaK, casos de carga, combinaciones de carga, y definición de masas participativas, para de esta manera, obtener mejores resultados en el análisis estructural.

Es importante recalcar que la estructura modelada en ambos programas de análisis estructural, fue diseñada con una configuración unifilar, es decir que todos los elementos que conformaban la estructura constaban de un solo culmo.

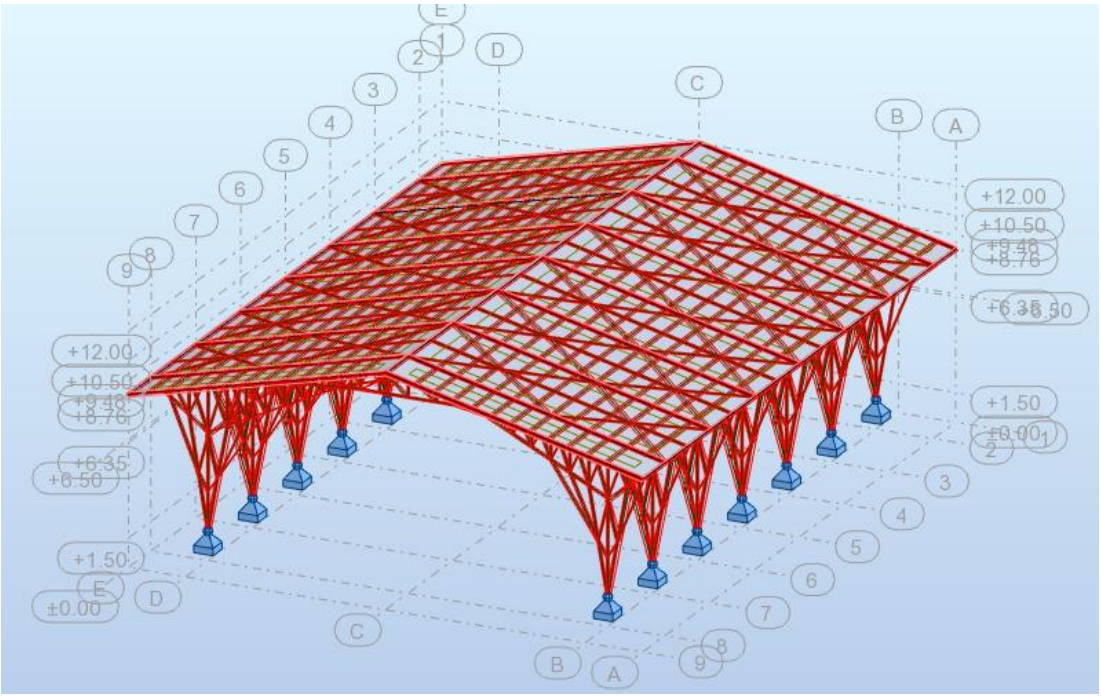


Ilustración 34: Modelación unifilar 3D de la estructura en el programa Robot Structure Analysis
Fuente: El autor

4.2.1. PRE-DISEÑO GEOMÉTRICO DEL PÓRTICOS EN “X”, “Y”

4.2.1.1 PÓRTICO EN EL SENTIDO X

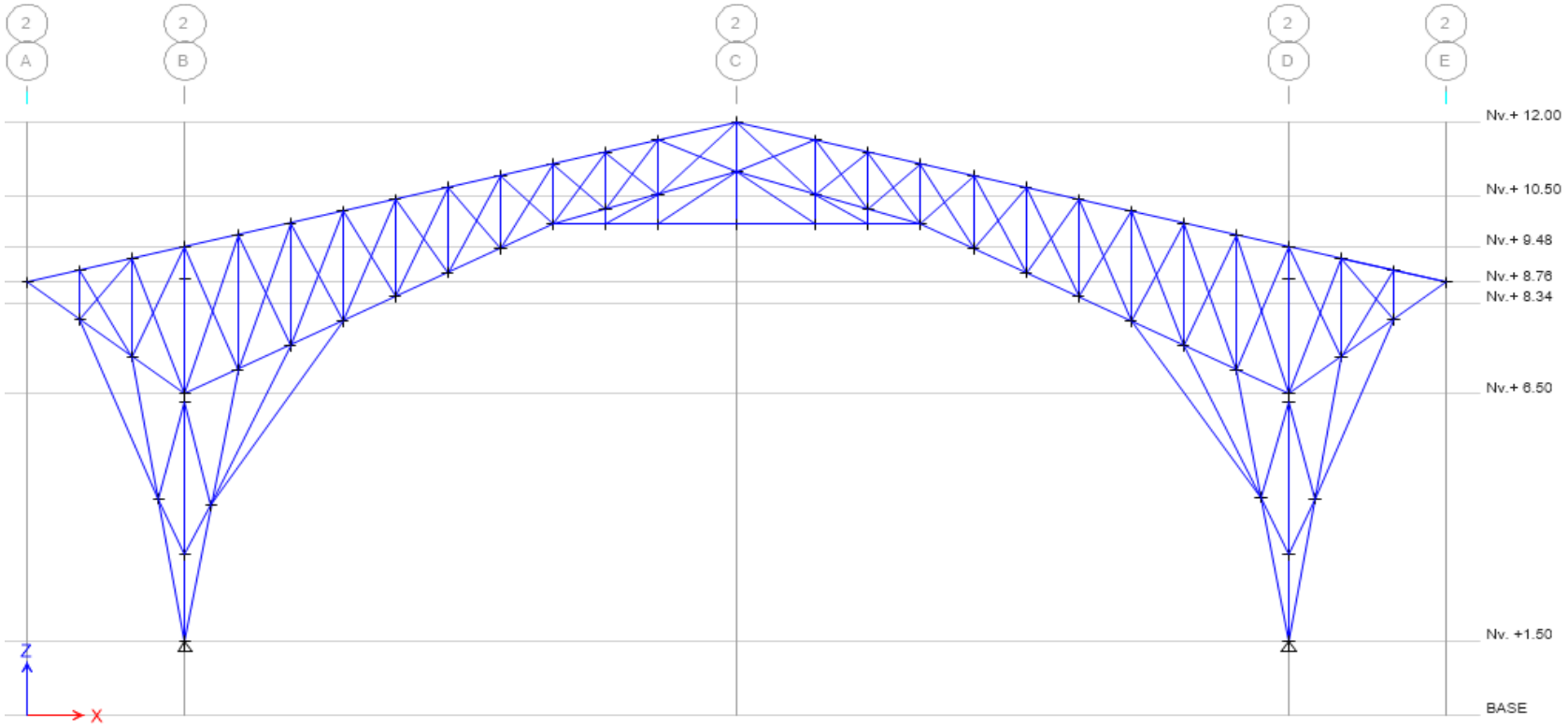


Ilustración 35: Pórtico en el sentido X (ETABS)
Fuente: El autor

4.2.1.2 PÓRTICO EN EL SENTIDO Y

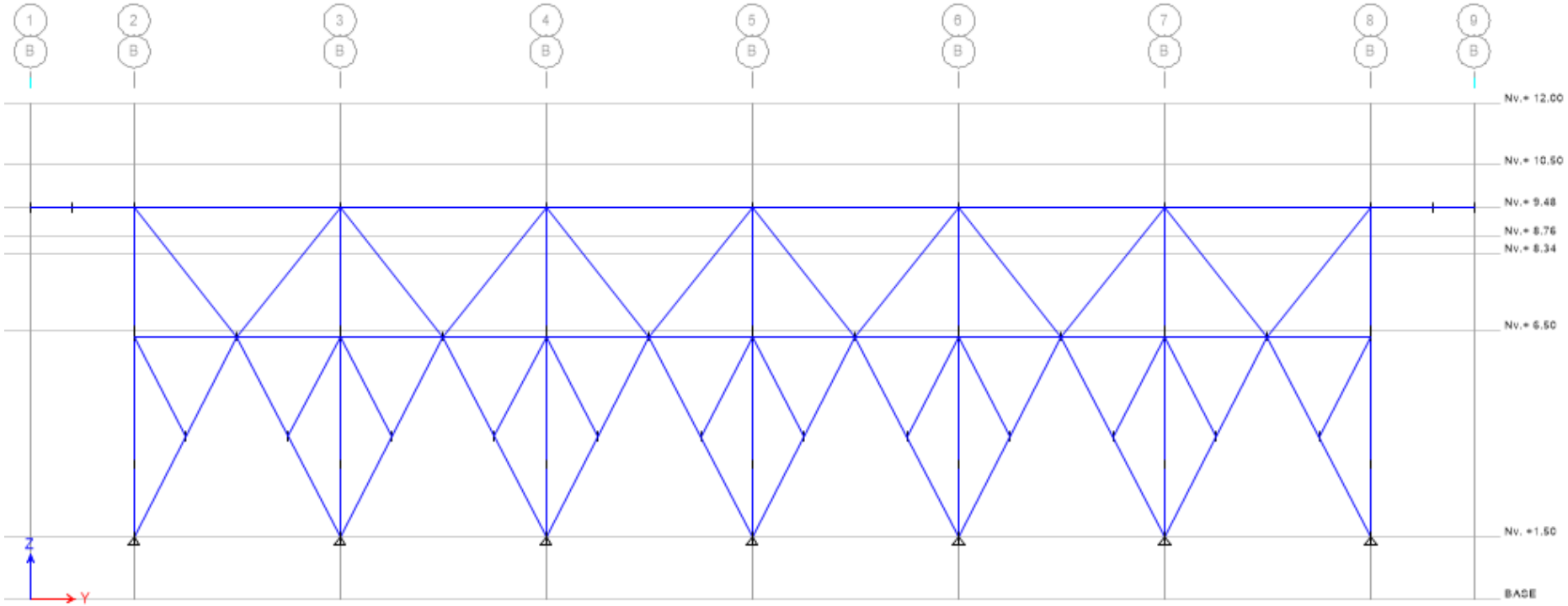


Ilustración 36: Pórtico en el sentido Y (ETABS)
Fuente: El autor

4.2.1.3 PREDISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE GUADUA

4.2.1.3.1 PREDISEÑO DE CORREAS

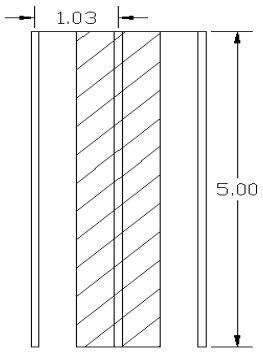


Ilustración 37: Área de aportación de cargas para correas
Fuente: El autor

$l1 := 1.03\ m$ distancia entre correas

$l2 := 5.00\ m$ Longitud de la correa

$Ai := l1 \cdot l2$ Área de aportación

$Ai = 5.15\ m^2$

CARGA VIVA

$Cv := 71.36\ \frac{kg}{m^2}$ Carga viva estimada (ver tabla 9 NEC-SE-CG)

$CV := Cv \cdot Ai \cdot 9.81\ \frac{m}{s^2}$

$CV = 3.605\ kN$

TIPO DE TECHADO = GALVALUME

$e := 0.40\ mm$ espesor del galvalume

$Pa := 3.83 \frac{kg}{m^2}$

Peso aproximado por metro cuadrado (IPAC)

$Cmt := Pa \cdot Ai \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}$

Carga muerta de techo

$Cmt = 0.193\ kN$

CARGA DE VIENTO

$Vv := 21 \frac{m}{s}$

Velocidad del viento (ver NEC-SE-CG)

$\sigma := 0.97$

Coeficiente de correción de viento para estructuras mayores a 10m de altura

$Vb := Vv \cdot \sigma$

Velocidad corregida del viento (ver Tabla 5 NEC-SE-CG)

$Vb = 20.37 \frac{m}{s}$

$\rho := 1.25 \frac{kg}{m^3}$

Densidad del aire (ver NEC-SE-CG)

$P := \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Vb^2$

Presión dinámica del viento (ver NEC-SE-CG)

$P = 259.336\ Pa$

$Cviento := P \cdot Ai$

$Cviento = 1.336\ kN$

PESO PROPIO DE LA CORREA

$PGaK := 2.21 \frac{kg}{m}$

Peso de la guadua por metro lineal (ver 4.1.3)

$Ppc := l2 \cdot PGaK \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}$

$Ppc = 0.108\ kN$

ADICIONAL DE CARGA MUERTA

$Cma := 0.1\ kN$

Carga muerta adicional

SUMATORIA DE CARGAS

$SCM := Cmt + Ppc + Cma + Cviento + CV$

$SCM = 5.343\ kN$

$Fp := 1.4\ MPa$

Esfuerzo admisible de compresión perpendicular al eje longitudinal

$Areq := \frac{SCM}{Fp}$

Área requerida

$Areq = 38.162\ cm^2$

$A1c := 28.28\ cm^2$

Área sección 1 culmo

$NC := 2$

Número de culmos requeridos

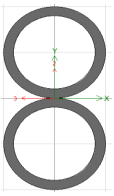


Ilustración 38: Sección de prediseño para correas

4.2.1.3.2 PREDISEÑO DE CERCHAS

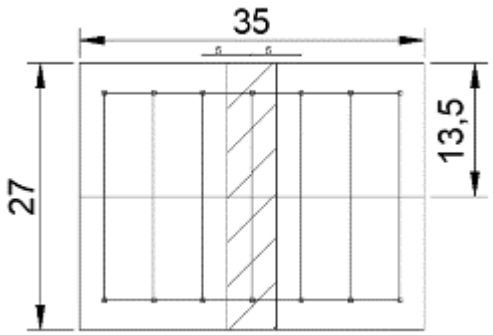


Ilustración 39: Área de aportación de cargas para cerchas
Fuente: El autor

$Lcs := 13.88\ m$ Longitud cordón supeiro de la cercha

$\alpha := 13.5°$ Ángulo de pendiente de la cubierta

$Dc := 5\ m$ Distancia entre cerchas

$Ai := 2 \cdot Lcs \cdot Dc$ Área de aportación

$Ai = 138.8\ m^2$

CARGA VIVA

$Cv := 71.36\ \frac{kg}{m^2}$ Carga viva estimada (ver tabla 9 NEC-SE-CG)

$CV := Cv \cdot Ai \cdot 9.81\ \frac{m}{s^2}$

$CV = 97.166\ kN$

TIPO DE TECHADO = GALVALUME

$e := 0.40\ mm$ espesor del galvalume

$$Pa := 3.83 \ \frac{kg}{m^2}$$

Peso aproximado por metro cuadrado

$$Cmt := Pa \cdot Ai \cdot 9.81 \ \frac{m}{s^2}$$

Carga propio de techo

$$Cmt = 5.215 \ kN$$

CARGA DE VIENTO

$$Vv := 21 \ \frac{m}{s}$$

Velocidad del viento (ver NEC-SE-CG)

$$\sigma := 0.97$$

Coeficiente de correción de viento para estructuras mayores a 10m de altura

$$Vb := Vv \cdot \sigma$$

Velocidad corregida del viento (ver Tabla 5 NEC-SE-CG)

$$Vb = 20.37 \ \frac{m}{s}$$

$$\rho := 1.25 \ \frac{kg}{m^3}$$

Densidad del aire (ver NEC-SE-CG)

$$P := \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Vb^2$$

Presión dinámica del viento

$$P = 259.336 \ Pa$$

$$Cviento := P \cdot Ai$$

$$Cviento = 35.996 \ kN$$

PESO PROPIO DE LA CORREA

$PGaK := 2.21\ \frac{kg}{m}$ Peso de la guadua por metro lineal

$NCC := 2$ Número de culmos por correa

$Nc := 28$ Número total de correas en la cercha

$Lc := 5\ m$ Longitud de aportación de cada correa

$Ppc := Lc \cdot NCC \cdot Nc \cdot PGaK \cdot 9.81\ \frac{m}{s^2}$ Peso cuerto de las correas

$Ppc = 6.07\ kN$

PESO PROPIO DE LA CERCHA

$PGaK := 2.21\ \frac{kg}{m}$ Peso de la guadua por metro lineal

$LT := 214.8\ m$ Sumatoria de las longitudes de todos los elementos de la cercha

$Ppch := LT \cdot PGaK \cdot 9.81\ \frac{m}{s^2}$ Peso cuerto de las correas

$Ppch = 4.657\ kN$

ADICIONAL DE CARGA MUERTA

$Cma := 0.1\ kN$ Carga muerta adicional

SUMATORIA DE CARGAS

$SCM := Cmt + Ppc + Ppch + Cma + Cviento + CV$

$SCM = 149.204\ kN$

DISTRIBUCION DE CARGAS A LOS NODOS

$$W := \frac{SCM}{27-1}$$

$W = 5.739\ kN$

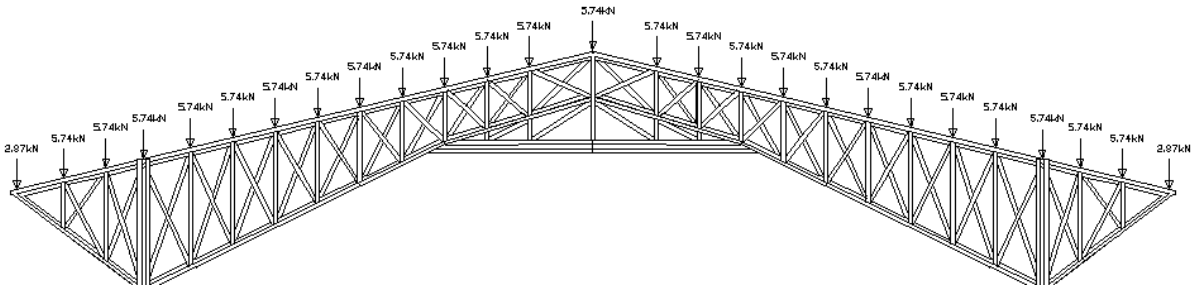


Ilustración 40: Cargas distribuidas en los nodos a lo largo de la cercha
Fuente: El autor

$Fb := 1.5\ MPa$ Esfuerzo admisible de compresión perpendicular al eje longitudinal

$$Areq := \frac{W}{Fb}$$ Área requerida

$Areq = 38.257\ cm^2$

$A1c := 28.28\ cm^2$ Área seción 1 culmo

$NC := 2$ Número de culmos requeridos

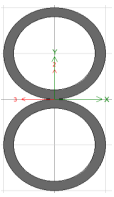


Ilustración 41: Sección de prediseño para cordones, montantes y diagonales ede la cercha
Fuente: El autor

4.2.1.3.3 PREDISEÑO DE COLUMNAS

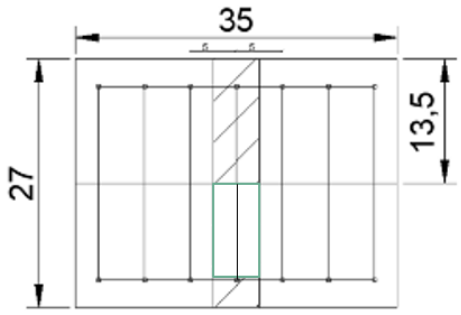


Ilustración 42: Área de aportación de cargas para columnas
Fuente: El autor

$Lcs := 13.88\ m$ Longitud cordón supeiro de la cercha

$Dc := 5\ m$ Distancia entre cerchas

$Ai := Lcs \cdot Dc$ Área de aportación

$Ai = 69.4\ m^2$

CARGA VIVA

$Cv := 71.36\ \frac{kg}{m^2}$ Carga viva estimada (ver tabla 9 NEC-SE-CG)

$CV := Cv \cdot Ai \cdot 9.81\ \frac{m}{s^2}$

$CV = 48.583\ kN$

TIPO DE TECHADO = GALVALUME

$e := 0.40\ mm$ espesor del galvalume

$Pa := 3.83\ \frac{kg}{m^2}$ Peso aproximado por metro cuadrado

$$Cmt := Pa \cdot Ai \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}$$

Carga muerta de techo

$$Cmt = 2.608\ kN$$

CARGA DE VIENTO

$$Vv := 21 \frac{m}{s}$$

Velocidad del viento (ver NEC-SE-CG)

$$\sigma := 0.97$$

Coeficiente de correción de viento para estructuras mayores a 10m de altura

$$Vb := Vv \cdot \sigma$$

Velocidad corregida del viento (ver Tabla 5 NEC-SE-CG)

$$Vb = 20.37 \frac{m}{s}$$

$$\rho := 1.25 \frac{kg}{m^3}$$

Densidad del aire (ver NEC-SE-CG)

$$P := \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Vb^2$$

Presión dinámica del viento

$$P = 259.336\ Pa$$

$$Cviento := P \cdot Ai$$

$$Cviento = 17.998\ kN$$

PESO PROPIO DE LA CORREA

$$PGaK := 2.21 \frac{kg}{m}$$

Peso de la guadua por metro lineal

$NCC := 2$ Número de culmos por correa

$Nc := 14$ Número total de correas en la cercha

$Lc := 5\ m$ Longitud de aportación de cada correa

$Ppc := Lc \cdot NCC \cdot Nc \cdot PGaK \cdot 9.81\ \frac{m}{s^2}$ Peso propio de las correas

$Ppc = 3.035\ kN$

PESO PROPIO DE LA CERCHA

$PGaK := 2.21\ \frac{kg}{m}$ Peso de la guadua por metro lineal

$LT = 214.8\ m$

$LM := \frac{LT}{2}$ Sumatoria de las longitudes de todos los elementos de la mitad de la cercha

$LM = 107.4\ m$

$Ppch := LM \cdot PGaK \cdot 9.81\ \frac{m}{s^2}$ Peso cuerto de las correas

$Ppch = 2.328\ kN$

PESO PROPIO DE LA COLUMNA

$PGaK := 2.21\ \frac{kg}{m}$ Peso de la guadua por metro lineal

$LC := 36.62\ m$

Sumatoria de las longitudes de todos los elementos de la columna

$Pc := LC \cdot PGaK \cdot 9.81\ \frac{m}{s^2}$

Peso propio de las columnas

$Pc = 0.794\ kN$

ADICIONAL DE CARGA MUERTA

$Cma := 0.1\ kN$

Carga muerta adicional

SUMATORIA DE CARGAS

$SCM := Cmt + Ppc + Ppch + Pc + Cma + Cviento + CV$

$SCM = 75.446\ kN$

$Fb := 14\ MPa$

Esfuerzo admisible de compresión perpendicular al eje longitudinal

$Areq := \frac{SCM}{Fb}$

Área requerida

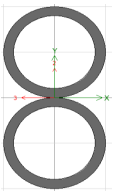
$Areq = 53.89\ cm^2$

$A1c := 28.28\ cm^2$

Área seción 1 culmo

$NC := 2$

Número de culmos requeridos



4.3. ANÁLISIS COMPARATIVOS DE RESULTADOS

4.3.1. CHEQUEOS DE LA ESTRUCTURA

4.3.1. CHEQUEO DEL PERÍODO DE VIBRACIÓN Y EL PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN DE MASAS

- Resultados obtenidos del programa ETABS

Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
1	0.496	0.9725	0	0	0.9725	0	0	0	0.0105	0	0	0.0105	0
2	0.397	8.60E-06	1.09E-06	0	0.9725	1.09E-06	0	0	1.27E-05	0.1427	0	0.0105	0.1427
3	0.386	0.0168	0	0	0.9893	1.15E-06	0	0	0.0373	0.0001	0	0.0478	0.1427
4	0.362	0	0.0171	0	0.9893	0.0171	0	0.0001	2.83E-06	1.56E-05	0.0001	0.0478	0.1428
5	0.36	1.03E-06	0.0003	0	0.9893	0.0173	0	6.20E-07	4.12E-06	1.40E-05	0.0001	0.0478	0.1428
6	0.345	0	0.2413	0	0.9893	0.2587	0	0.0001	0	6.37E-06	0.0001	0.0478	0.1428
7	0.333	0	1.66E-06	0	0.9893	0.2587	0	0	0	0.6747	0.0001	0.0478	0.8175
8	0.297	0	4.13E-05	0	0.9893	0.2587	0	5.07E-06	0	0.0009	0.0001	0.0478	0.8183
9	0.263	0.0074	0	0	0.9967	0.2587	0	0	0.0081	1.51E-06	0.0001	0.0559	0.8183
10	0.255	0	0.6796	0	0.9967	0.9383	0	0.1261	0	0	0.1262	0.0559	0.8183
11	0.242	0	8.61E-06	0	0.9967	0.9383	0	1.51E-06	0	0.1454	0.1262	0.0559	0.9638
12	0.236	1.73E-05	0	0	0.9967	0.9383	0	0	0.0002	0	0.1262	0.0561	0.9638
13	0.236	0	0.0013	0	0.9967	0.9395	0	0.0004	0	0.0024	0.1266	0.0561	0.9661
14	0.235	1.93E-05	0	0	0.9968	0.9395	0	0	0.0002	0	0.1266	0.0563	0.9661
15	0.235	0	0.0005	0	0.9968	0.9401	0	0.0002	0	0.003	0.1268	0.0563	0.9691

Tabla 8: Participación de masas afectadas por el período de fibración
Fuente: El autor

Sentido	Valor %	Chequeo (Sum U> 90%)
X	99.68	Ok
Y	94.01	OK

Tabla 9: Comprobación de chequeo de porcentaje de participación de las masas
Fuente: El autor

Resultados obtenidos del programa ROBOT STRUCTURE ANALYSIS

Caso/ Modo	**Frecuencia (Hz)**	**Período (sec)**	**. UX (%)**	**. UY (%)**	**Masas corr. UX (%)**	**Masas corr. UY (%)**	**Total masas UX (kg)**	**Total masas UY (kg)**
1	1.89	0.53	98.99	0	98.99	0	23040.37	23040.35
2	3.14	0.32	98.99	61.89	0	61.89	23040.37	23040.35
3	3.31	0.3	99.03	63.84	0.04	1.95	23040.37	23040.35
4	3.59	0.28	99.05	64.14	0.02	0.31	23040.37	23040.35
5	5.39	0.19	99.1	64.16	0.06	0.02	23040.37	23040.35
6	5.54	0.18	99.11	64.25	0.01	0.09	23040.37	23040.35
7	5.6	0.18	99.11	64.31	0	0.06	23040.37	23040.35
8	5.69	0.18	99.11	64.32	0	0.01	23040.37	23040.35
9	5.8	0.17	99.11	64.32	0	0	23040.37	23040.35
10	5.84	0.17	99.12	64.48	0.01	0.16	23040.37	23040.35
11	5.99	0.17	99.12	65.46	0	0.98	23040.37	23040.35
12	6.22	0.16	99.12	67.18	0	1.72	23040.37	23040.35
13	6.32	0.16	99.12	94.82	0	27.64	23040.37	23040.35
14	6.38	0.16	99.12	94.84	0	0.02	23040.37	23040.35
15	6.47	0.15	99.12	94.87	0	0.04	23040.37	23040.35

Tabla 10: Porcentaje de participación de masas afectadas por el modo de vibración
Fuente: El Autor

Sentido	Valor %	Chequeo (Sum U> 90%)
X	99.12	Ok
Y	94.87	OK

Tabla 11: Comprobación de chequeo de porcentaje de participación de las masas
Fuente: El Autor

Comparativa de resultados: El período de vibración en ambos programas es inferior a 1 segundo, sin embargo, el programa Robot Structure Analysis presenta una diferencia de 0.03 segundos respecto al resultado que presenta el programa ETABS.

El porcentaje de participación de masas tanto en “X” como en “Y”, es mayor al 90% por lo tanto se cumple el chequeo de participación de masas en ambos programas, además los valores son bastante similares casi sin diferencia significativa como se muestra en las tablas

4.3.2. CHEQUEO DERIVAS MÁXIMAS

- Derivas máximas para carga sísmica estática EX (ETABS)

DERIVAS ELASTICAS									
STORY	LOAD CASE/ COMBO	DIERECTION	DRIFT	LABEL	X	Y	Z	FACTOR	< 2%
			Δ_E		m	m	m	R	
Nv.+ 12.00	EX	X	0.003	63	13.5	35	12	2	0.39%
Nv.+ 9.48	EX	X	0.008	16	24	2.5	9.48	2	1.24%
Nv.+ 8.76	EX	X	0.003	13	-2.50E-05	2.5	8.76	2	0.47%

Tabla 12: Derivas máximas producidas por EX
Fuente: El Autor

- **Derivas máximas para carga sísmica estática EY (ETABS)**

DERIVAS ELASTICAS									
STORY	LOAD CASE /COMBO	DIERECTION	DRIFT	LABEL	X	Y	Z	FACTOR	< 2%
			Δ_E		m	m	m	R	
Nv.+ 12.00	EY	Y	0.000	63	13.5	35	12	2	0.04%
Nv.+ 9.48	EY	Y	0.003	28	3	12.5	9.48	2	0.50%
Nv.+ 8.76	EY	Y	0.001	105	2.70E+01	17.5	8.76	2	0.16%
Nv.+ 6.50	EY	Y	0.005	56	3	32.5	6.5	2	0.73%

Tabla 13: Derivas máximas producidas por EY
Fuente: El Autor

- **Derivas máximas para carga sísmica dinámica EQx (ETABS)**

DERIVAS ELASTICAS									
STORY	LOAD CASE /COMBO	DIERECTION	DRIFT	LABEL	X	Y	Z	FACTOR	< 2%
			ΔE		m	m	m	R	
Nv.+ 12.00	EQX Max	X	0.003	63	13.5	35	12	2	0.38%
Nv.+ 9.48	EQX Max	X	0.008	16	24	2.5	9.48	2	1.24%

Nv.+ 8.76	EQX Max	X	0.003	13	-2.50E-05	2.5	8.76	2	0.46%
Nv.+ 6.50	EQX Max	X	0.011	16	24	2.5	6.5	2	1.70%

Tabla 14: Derivas máximas producidas por EQx
Fuente: El Autor

- Derivas máximas para carga sísmica dinámica EQy (ETABS)

DERIVAS ELASTICAS									
STORY	LOAD CASE /COMBO	DIERECTION	DRIFT	LABEL	X	Y	Z	FACTOR	< 2%
			Δ_E		m	m	m	R	
Nv.+ 12.00	EQY Max	Y	0.000	63	13.5	35	12	2	0.02%
Nv.+ 9.48	EQY Max	Y	0.003	30	24	12.5	9.48	2	0.45%
Nv.+ 8.76	EQY Max	Y	0.001	105	27	17.5	8.76	2	0.13%
Nv.+ 6.50	EQY Max	Y	0.005	16	24	2.5	6.5	2	0.68%

Tabla 15: Derivas máximas producidas por EQy
Fuente: El Autor

- Derivas máximas para carga sísmica estática EX (Robot)

	CARGA ACTUANTE	RESULTADO OBTENIDO (ΔME)	R	ΔM=0.75*R*ΔME	DERIVA %	CHEQUEO (ΔM≤ 2%)
	Ex	0.012	2	0.018	1.80%	ok

Tabla 16: Derivas máximas producidas por EX
Fuente: El Autor

- Derivas máximas para carga sísmica dinámica EY (Robot)

CARGA ACTUANTE	RESULTADO OBTENIDO (ΔME)	R	ΔM=0.75*R*ΔME	DERIVA %	CHEQUEO (ΔM≤ 2%)
Ey	0.0056	2	0.0084	0.84%	ok

Tabla 17: Derivas máximas producidas por EY
Fuente: El Autor

- Derivas máximas para carga sísmica dinámica EQx (Robot)

CARGA ACTUANTE	RESULTADO OBTENIDO (ΔME)	R	ΔM=0.75*R*ΔME	DERIVA %	CHEQUEO (ΔM≤ 2%)
Espectral en X	0.0122	2	0.0183	1.83%	ok

Tabla 18: Derivas máximas producidas por EQx
Fuente: El Autor

- Derivas máximas para carga sísmica estática EQy (Robot)

CARGA ACTUANTE	RESULTADO OBTENIDO (ΔME)	R	ΔM=0.75*R*ΔME	DERIVA %	CHEQUEO (ΔM≤ 2%)
Espectral en Y	0.0067	2	0.01005	1.01%	ok

Tabla 19: Derivas máximas producidas por EQy
Fuente: El Autor

Comparativa de resultados: Los porcentajes de derivas máximas en los casos de carga sísmica estática, así como, en los casos de carga sísmica dinámicos no exceden del 2%, por lo tanto, la estructura cumple con el chequeo de derivas en ambos programas especializados.

4.3.3. VALIDACIÓN DEL ANÁLISIS ESTÁTICO- DINÁMICO

- ETABS

Cortante Estático EX

Story	Load Case /Combo	Location	P	VX	VY	T	MX	MY
			tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Nv.+1.50	EX	Top	0.0023	12.19	0.0002	-213.42	0.0078	31.919
Nv.+ 1.50	EX	Bottom	0.048	12.06	0.0016	1.09	0.2792	-1.2908

Tabla 20: Análisis corte estático EX (ETABS)
Fuente: El Autor

Cortante Dinámico EQx

Story	Load Case/Combo	Location	P	VX	VY	T	MX	MY
			tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Nv.+ 1.50	EQX Max	Top	0.0021	11.65	0.0016	211.44	0.0008	31.81
Nv.+ 1.50	EQX Max	Bottom	0.0401	11.50	0.0021	0.87	0.2321	1.07

Tabla 21: Análisis corte estático EQx (ETABS)
Fuente: El Autor

Carga actuante	Cortante Vx	Porcentaje %	Vx Dinámico≥ 85% Vx Estático
EX	12.19	100	ok
EQX	11.65	95.57	

Tabla 22: Comparativa de cortante entre EX y EQx
Fuente: El Autor

Cortante Estático EY

Story	Load Case /Combo	Location	P	VX	VY	T	MX	MY
			tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Nv.+ 1.50	EY	Top	-0.0007	0.0004	-16.11	-217.46	-0.83	0.0157
Nv.+ 1.50	EY	Bottom	-0.0206	0.0872	-15.95	-0.07	-0.019	0.5567

Tabla 23: Análisis corte estático EY (ETABS)
Fuente: El Autor

Cortante Dinámico EQy

Story	Load Case/Combo	Location	P	VX	VY	T	MX	MY
			tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Nv.+ 9.48	EQY Max	Top	0.0006	0.0011	14.034	189.511	0.66	0.014
Nv.+ 9.48	EQY Max	Bottom	0.0198	0.0828	13.80	0.1047	0.026	0.534

Tabla 24: Análisis corte estático EQy (ETABS)
Fuente: El Autor

Carga actuante	Cortante Vx	Porcentaje %	Vx Dinámico≥ 85% Vx Estático
EY	-16.1074	100	ok
EQY	14.034	87.13	

Tabla 25: Comparativa de cortante entre EY y EQy (ETABS)
Fuente: El Autor

- Robot Structure Analysis

No se puede obtener valores ni tablas referentes a este chequeo debido a la configuración del programa.

Comparativa de resultados: Los valores de análisis estático y dinámico obtenidos en el programa ETABS fueron favorables, es decir, que la estructura cumple con el chequeo de validación estático – dinámico, lamentablemente no se pudo obtener valores referentes a este análisis en el programa Robot Structure Analysis es por esto, que no es posible realizar una comparativa de resultados entre los dos programas.

4.3.3. REACCIONES EN LOS APOYOS DE LA ESTRUCTURA

- ETABS

Load Case/Combo	FX	FY	FZ
	tonf	tonf	tonf
D+L	1.30	0.12	7.11
D+L	-1.30	0.12	7.10
D+L	1.11	-0.03	6.04
D+L	-1.11	-0.04	6.05
D+L	1.07	0.01	6.44
D+L	-1.07	0.01	6.45
D+L	1.07	0.00	6.38
D+L	-1.08	0.00	6.39
D+L	1.07	-0.01	6.44
D+L	-1.07	-0.01	6.45
D+L	1.11	0.04	6.06
D+L	-1.12	0.03	6.05
D+L	1.30	-0.12	7.10
D+L	-1.30	-0.12	7.10
		Ssuma final	91.1509

Tabla 26: Reacciones producidas por la combinación D+L
Fuente: El autor

- Robot Structure Analysis

Load Case/Combo	FX (tf)	FY (tf)	FZ (tf)
D+L	2.11	0.2	7.12
D+L	-2.19	0.17	7.1
D+L	1.86	0.02	6.22
D+L	-1.46	-0.05	5.8
D+L	1.88	0.06	6.63
D+L	-1.96	0	6.72
D+L	1.81	0.03	6.55
D+L	-1.88	-0.03	6.62
D+L	1.8	0.02	6.52
D+L	-1.86	-0.04	6.59
D+L	1.77	0.04	6.45
D+L	-1.83	-0.01	6.52
D+L	2.01	-0.18	6.82
D+L	-2.04	-0.21	6.94
Caso 7 (C)	D+L		
Suma final	0	0	92.59
Suma de esfuerzos	0	0	-92.59
Precisión:	4.51E-12	2.50E-26	

Tabla 27: Reacciones Comb. D+L (Robot Structure Analysis)
Fuente: El autor

Comparativa de resultados: Los valores de las reacciones en los apoyos son muy similares en ambos programas, sin embargo, se puede apreciar una diferencia de 1.44 toneladas entre las sumatorias de reacciones.

4.3.4. MODELO ESTRUCTURAL

El sistema general resiste a cargas gravitacionales (verticales) y cargas eventuales (sismos, vientos), estará soportado por una configuración de cerchas, en las que, se liberan los momentos tanto en montantes como diagonales de la misma.

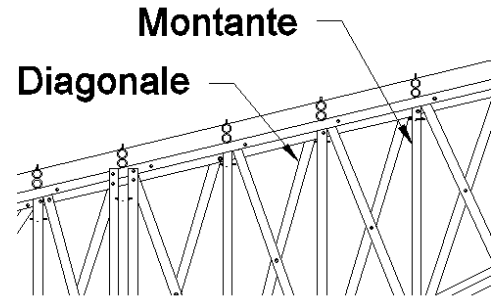


Ilustración 43: Montante y Diagonal de la cercha
Furnte: El autor

En tanto qué el Cordón Superior e Inferior son elementos que resistirán momentos de flexion, esto debido a que absorverán los esfuerzos verticales porvinientes de las correas y techo.

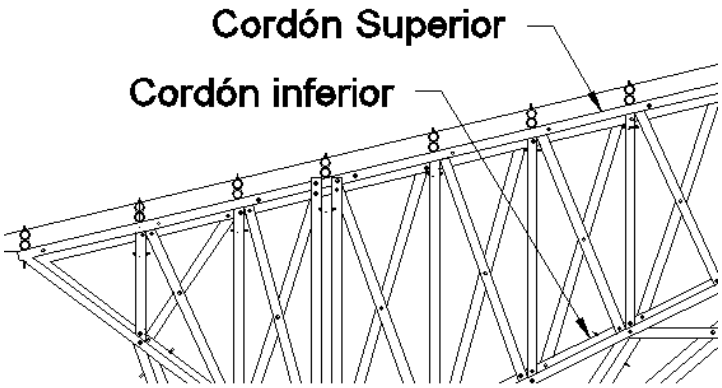


Ilustración 44: Cordón Superior e inferior de la cercha
Fuente: El autor

Por último, las columnas de GaK resistirán cargas a flexo-compresión pro las fuerzas tranmitidas desde las cerchas, riostras y elementos conectores entre pórticos principales.

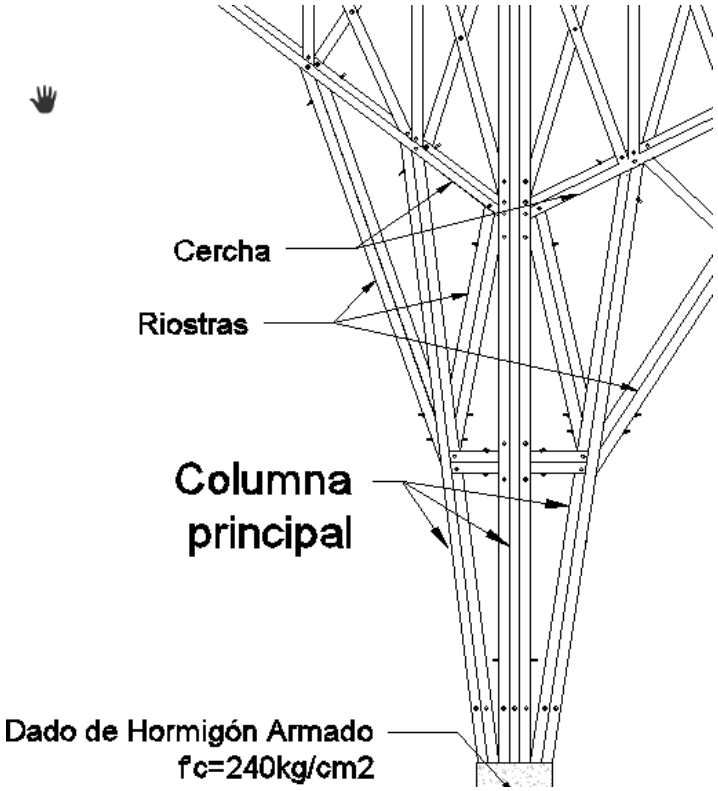


Ilustración 45: Columna principal
Fuente: El autor

4.4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

El diseño de secciones definitivas para la estructura se realiza mediante las ecuaciones y sistema de cálculo proporcionadas por las normas NEC-SE-GUADUA y NSR-10.

Para emplear dicho sistema de cálculo es necesario saber los esfuerzos de compresión, tracción, momento y cortante que se produce en los elementos de la estructura.

Estos valores se obtienen del análisis estructural realizado en los programas ETABS y Robot Analysis Structure, pero para nuestra estructura tomaremos los valores que nos proporciona el programa ETABS ya que el período de vibración y las derivas de piso presentan valores menores con respecto a los valores obtenidos en el programa ROBOT.

4.4.1. PROPIEDADES DE LA GUADUA REQUERIDAS EN EL DISEÑO DE ELEMENTOS

Módulo de elasticidad promedio

$E0.5 := 12000\ MPa$ (Tabla 3)

Módulo de elasticidad percentil

$E0.05 := 7500\ MPa$ (Tabla 3)

Módulo de elasticidad mínimo

$Emin := 4000\ MPa$ (Tabla 3)

Esf. admisible a flexión

$Fb := 15\ MPa$ (Tabla 1)

Esf. admisible a tracción

$Ft := 18\ MPa$ (Tabla 1)

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fc := 14\ MPa$ (Tabla 1)

Esf. admisible a compresión perpendicular al eje longitudinal

$Fp := 1.4\ MPa$ (Tabla 1)

Esf. admisible a corte

$Fv := 1.2\ MPa$ (Tabla 1)

4.4.2. COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Con base en los valores de esfuerzos admisibles de la Tabla 1 y los módulos de elasticidad de la Tabla 3, afectados por los coeficientes de modificación a que haya lugar por razón del tamaño, nudos, grietas, contenido de humedad, duración de carga, esbeltez y cualquier otra condición modificatoria, se determinan las solicitaciones admisibles de todo miembro estructural, según las prescripciones de los numerales siguientes, con los esfuerzos admisibles modificados.

Por duración de carga:

Se considera que la duración normal de una carga son 10 años, cuando un elemento estructural está sometido a duraciones de carga diferentes, se debe multiplicar los valores de la Tabla 28 por los valores de la Tabla 1 [4]

Duración de carga	Flexión	Tracción	Compresión ∥	Compresión ⊥	Corte	Carga de diseño
Permanente	0.90	0.90	0.9	0.9	0.90	Muerta
Diez años	1.00	1.00	1.0	0.9	1.00	Viva
Dos meses	1.15	1.15	1.15	0.9	1.15	Construcción
7 días	1.25	1.25	1.25	0.9	1.25	
Diez minutos	1.60	1.60	1.6	0.9	1.60	Viento y Sismo
impacto	2.00	2.00	2.0	0.9	2.00	Impacto

Tabla 28: Coeficientes de modificación por duración de carga
Fuente: [17]

Por contenido de humedad:

La guadua al igual que la madera pierde resistencia y rigidez, a medida que aumenta su contenido de humedad, por esta razón y tomando en cuenta que los valores de esfuerzos admisibles de la tabla 1 fueron calculados con un contenido de humedad del 12%, es necesario ajustar estos valores multiplicándolos por un coeficiente. Los valores de los coeficientes se determinan en la tabla 29. [4]

Esfuerzos		CH ≤ 12%	CH = 13%	CH = 14%	CH = 15%	CH = 16%	CH = 17%	CH = 18%	CH ≥ 19%
Flexión	F_b	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Tracción	F_t	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Compresión paralela	F_c	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Compresión perpendicular	F_p	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Corte	F_v	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Modulo de elasticidad	$E_{0.5}$ / $E_{0.05}$ / E_{min}	1.0	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90

Tabla 29; Coeficientes de modificación por Contenido de Humedad
Fuente: [17]

Por temperatura:

Cuando los elementos estructurales de guadua estén sometidos a altas temperaturas, los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de las Tablas 1 y 3, deben ser multiplicados por coeficientes de la tabla 30, según la condición de temperatura a la cual estén expuestos los elementos. [4]

Esfuerzos		Condiciones de servicio	(C_t)		
			T ≤ 37°C	37°C ≤ T ≤ 52°C	52°C ≤ T ≤ 65°C
Flexión	F_b	Húmedo	1.0	0.60	0.40
		Seco		0.85	0.60
Tracción	F_t	Húmedo		0.85	0.80
		Seco		0.90	
Compresión paralela	F_c	Húmedo		0.65	0.40
		Seco		0.80	0.60
Compresión perpendicular	F_p	Húmedo		0.80	0.50
		Seco		0.90	0.70
Corte	F_v	Húmedo		0.65	0.40
		Seco		0.80	0.60
Modulo de elasticidad	E	Húmedo		0.80	0.80
		Seco		0.90	

Tabla 30: Coeficientes de modificación por temperatura
Fuente: [17]

4.4.3 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN

En el diseño de miembros o elementos de guadua sometidos a flexión se deben verificar los siguientes efectos y en ningún caso pueden sobrepasar los esfuerzos admisibles modificados para cada solicitación.

a) Deflexiones
b) Cortante paralelo a la fibra.
c) Flexión, incluyendo estabilidad lateral en vigas compuestas.
d) Aplastamiento (compresión perpendicular a la fibra)

4.4.3.1 DEFLEXIONES:

Para el cálculo de la deflexión en vigas simplemente apoyadas se utilizan las formulas presentadas a continuación:

Carga Puntual en el centro de la luz: $$\Delta = \frac{Pl^3}{48\,EI}\,K$$ [17]

Carga distribuida: $$\Delta = \frac{5}{384} * \frac{wl^3}{E_{0.05} * I} K$$ [17]

Calculo de **W** para deflexiones y cálculo de sección:

Condición	CH ≤ 19% t ≤ 37°C Clima constante	CH ≥ 19% t ≤ 37°C Clima variable
Calculo de sección (w)	2.0 D + L	2.0 D + L
Deflexiones inmediatas (W_{-i})	D + L	D + L
Deflexiones diferidas (W_{-f})	2.8 D + 1.3 L	3.8 D + 1.4 L

Tabla 31: Cálculo de sección y deflexiones
Fuente: [17]

Para nuestra estructura calcularemos las deflexiones inmediatas.

Deflexiones admisibles δ (mm), nota3

Condición de servicio	Cargas vivas (l/k)	Viento o Granizo (l/k)	Cargas totales (l/k) Nota 2
Elementos de techo / Cubiertas			
Cubiertas inclinadas			
Cielo rasos de pañete o yeso	l/360	l/360	l/240
Otros cielo rasos	l/240	l/240	l/180
Sin cielo raso	l/240	l/240	l/180
Techos planos	Nota 1	Nota 1	l/300
Techos industriales	-	-	l/200
Entrepisos			
Elementos de entrepiso	l/360	-	l/240
Entrepisos rígidos	-	-	l/360
Muros exteriores			
Con acabados frágiles	-	l/240	-
Con acabados flexibles	-	l/120	-

Tabla 32: Deflexiones admisibles
Fuente: [17]

4.4.3.2. CORTANTE:

El esfuerzo cortante paralelo a las fibras actuante (f ‘v) sobre cualquier sección de guadua rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo cortante admisible (Fv) paralelo a las fibras, modificado por los coeficientes correspondientes, de acuerdo a la fórmula:

$$f_v = \frac{2V}{3A}\left(\frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2}\right) \le F'_v \quad [17]$$

Donde:

fv = esfuerzo cortante paralelo a las fibras actuante

A = área de la sección transversal del elemento de guadua rolliza, en mm2

D = diámetro externo promedio de la sección de guadua rolliza, en mm

t = espesor promedio de la sección de guadua rolliza, en mm

F’v= esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras, modificado por los coeficientes a que haya lugar

v = fuerza cortante en la sección considerada

$$\mathbf{F'V = Fv^* Cc^*CD^*Cm^*Ct} \quad [17]$$

- **Coeficiente por efecto del cortante Cc:** Si *le/D >15 entonces, Cc = 1.* Para los elementos con relación de *le/D ≤ 15,* se debe realizar una corrección por cortante de acuerdo a la siguiente tabla

le/D	C_c
5	0.70
7	0.75
9	0.81
11	0.86
13	0.91
15	0.93

Tabla 33: Valores de Cc cuando 1e/D ≤ 15
Fuente: [17]

4.4.3.3. FLEXIÓN:

Esfuerzo admisible modificado F'$_b$ afectado por los coeficientes de modificación

$$\mathbf{F'_b = Fb*CF*CD*Cm*Ct} \quad [17]$$

- **Coeficiente de forma CF:** Cuando el elemento estructural, poste o pilote exceda en diámetro **D > 34mm,** entonces: (Ver NSR-10 –G.4.6.2-8)

$$\boldsymbol{CF}: \left(\frac{\mathbf{340}}{\boldsymbol{D}}\right)^{\mathbf{1/9}} \qquad [17]$$

Momento resistente a flexión: de Los esfuerzos máximos de tensión y compresión producidos por flexión serán calculados para la sección de máximo momento.

$$fb = \frac{Ms}{S} \leq F'b \qquad [17]$$

Donde:

fb = esfuerzo a flexión actuante

Mf = momento actuante sobre el elemento

F'b = esfuerzo admisible modificado

S = módulo de sección

$$S = \frac{\pi\left(D_e^4 - \left[D_e - 2t\right]^4\right)}{32\, D_e} \qquad [17]$$

Donde:

S = módulo de sección en cm^3

REDe = diámetro promedio exterior del culmo en mm

t = espesor promedio de la pared del culmo en mm

El esfuerzo admisible de flexión estará afectado por los coeficientes que se muestran a continuación.

- Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas:

En vigas o viguetas conformadas por una sola guadua el coeficiente modificación será *CL* = 1. Para vigas de sección compuesta por dos o más guaduas se debe reducir el esfuerzo admisible a flexión (Fb), por el valor de CL de la Tabla 31.

d/b	C_L
1	1.00
2	0.98
3	0.95
4	0.91
5	0.87

Tabla 34: Coeficientes CL para diferentes relaciones d/b
Fuente: [17]

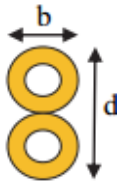


Ilustración 46; Relación d/b para vigas compuestas

- Si d/b = 2 no se requiere soporte lateral
- Si d/b = 3 se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos
- Si d/b = 4 se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos y del borde en compresión mediante correas o viguetas

- Si d/b = 5 se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos y proveer soporte continuo del borde en compresión mediante un entablado.

4.4.3.4 APLASTAMIENTO:

Esfuerzo admisible de tensión axial **F'p** afectado por los coeficientes de modificación

$$\mathbf{F'p = Fp*Cp*CD*Cm*Ct} \quad [17]$$

Los esfuerzos de compresión perpendicular a las fibras (fp), deben verificarse especialmente en los apoyos y lugares en los que haya cargas concentradas en áreas pequeñas.

$$f_p = \frac{3RD_e}{2t^2 l} \leq F'_p \quad [17]$$

Donde:

F'p = esfuerzo admisible en compresión perpendicular a la fibra, modificado por los coeficientes a que haya lugar

fp = esfuerzo actuante en compresión perpendicular a la fibra

De = diámetro externo promedio de la sección de guadua rolliza

t = espesor promedio de la sección de guadua rolliza

l = longitud de apoyo

R = Fuerza aplicada en el sentido perpendicular a las fibras.

***** Todas las uniones que estén sometidas a esfuerzos de compresión perpendicular a la fibra, deben estar rellenos de mortero de cemento. Se debe reducir el valor del esfuerzo admisible a la cuarta parte (F'p/4) en caso de que se quiera evitar colocar mortero de cemento en las uniones.

4.4.4 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FUERZA AXIAL

4.4.4.1 ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN AXIAL

Esfuerzo admisible de tensión axial **F't** afectado por los coeficientes de modificación

$$\mathbf{F't = Ft*CL*CD*Cm*Ct} \quad [17]$$

CL: Definido en 4.4.3.3

El esfuerzo de tensión axial actuante (f_t) para cualquier sección de guadua, no debe ser mayor al valor de F't de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$f_t = \frac{T}{A_n} \leq F_t' \quad [17]$$

Donde:

ft = esfuerzo a tensión actuante

T = fuerza de tensión axial aplicada

Ft = esfuerzo de tensión admisible, modificado por los coeficientes a que haya lugar.

An = área neta del elemento

4.4.4.2 ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESIÓN AXIAL

4.4.4.2.1. LONGITUD EFECTIVA:

$$\boldsymbol{Le = lu * k}$$

Donde:

lu = longitud no soportada lateralmente del elemento

k = coeficiente de longitud efectiva, según las restricciones en los apoyos

Le = longitud efectiva

Condición de los apoyos	k
Ambos extremos articulados (Ambos extremos del elemento deben estar restringidos al desplazamiento perpendicular a su eje longitudinal)	1.0
Un extremo con restricción a la rotación y al desplazamiento y el otro libre	2.1

Tabla 35: Coeficiente de longitud efectiva
Fuente: [17]

4.4.4.2.2. ESBELTEZ:

$$\lambda = \frac{Le}{rt} \qquad [17]$$

Donde:

λ= relación esbeltez del elemento

Le = longitud efectiva del elemento

r = radio de giro de la sección

El radio de giro ***r*** constituido por un solo culmo se calcula con la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sqrt{D^2+(D-2t^2)}}{4} \qquad [17]$$

Donde:

D = diámetro externo promedio de la sección de guadua rolliza, en mm

t = espesor promedio de la sección de guadua rolliza, en mm

r = radio de giro de la sección

para elementos constituidos por (2) o más culmos el radio de giro **r,** se calcula con la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{r = \sqrt{\frac{It}{An}}} \qquad [17]$$

Donde:

I = inercia de la sección calculada

An = área de la sección transversal

r = Radio de giro de la sección

Esfuerzo admisible compresión paralela al a fibra **F'c** afectado por los coeficientes de modificación

$$\mathbf{F'c = Fc^{*}Cp^{*}CD^{*}Cm^{*}Ct} \quad [17]$$

- **Coeficiente de estabilidad de columna Cp:** El coeficiente de estabilidad de columnas, debe ser calculado según la fórmula:

$$C_p = \frac{1+\left(F_{CE}/F_c^{*}\right)}{2C} - \sqrt{\left(\frac{1+\left(F_{CE}/F_c^{*}\right)}{2C}\right)^2 - \frac{F_{CE}/F_c^{*}}{C}} \quad [17]$$

Donde:

Fc* = Esfuerzo admisible de compresión paralelo al grano, multiplicado por todos los factores de modificación, excepto Cp

$$\mathbf{Fc^{*} = CD^{*}Cm^{*}Ct}$$

C = Coeficiente Valorizado

FCE = Esfuerzo Crítico

λ= Relación de esbeltez

	Madera aserrada			Madera rolliza	Madera laminada
Sección			Cualquier sección		Laminada
C	0.80	0.80	0.80	0.85	0.90
F_{CE}	$\frac{0.822E'_{min}}{\lambda^2}$	$\frac{0.822E'_{min}}{\lambda_{1.2}^2}$	$\frac{\pi^2 E'_{min}}{(\ell_e/r)^2}$	$\frac{0.822E'_{min}}{\lambda^2}$	$\frac{0.822E'_{y\,min}}{\lambda^2}$

Tabla 36: Valores de C y FCE según el tipo de sección
Fuente: [17]

4.4.4.2.3 CLASIFICACIÓN DE COLUMNAS:

Según la relación de esbeltez, las columnas e guadua GaK se clasifican en cortas, intermedias y largas de acuerdo a la tabla

Columna	Esbeltez
Corta	$\lambda < 30$
Intermedia	$30 < \lambda < C_k$
Larga	$C_k < \lambda < 150$

Tabla 37: Clasificación de Columnas por esbeltez
Fuente: [17]

$$C_k = 2.565\sqrt{\frac{E_{0.05}}{F'_c}} \quad [17]$$

Donde:

C_k = límite entre columna intermedia y columna larga

F'c = esfuerzo admisible en compresión paralela a las fibras, modificado

E0.05 = módulo de elasticidad percentil 5

Bajo ninguna circunstancia es aceptable trabajar con elementos de columna que tengan esbeltez mayor de 150.

- Columna Corta:
- Si $\lambda<30$:

$$f_c = \frac{N}{A_n} \leq F'_c \quad [17]$$

Donde:

fc = esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante

N = fuerza de compresión paralela a la fibra actuante

An = área neta de la sección transversal

Fc = esfuerzo de compresión paralela a la fibra admisible, modificado

- Columnas Intermedias
- Si 30 < λ < 30:

$$f_c = \frac{N}{A_n\left(1-\frac{2}{5}\left[\frac{\lambda}{C_K}\right]^3\right)} \leq F_c' \quad [17]$$

Donde:

fc = esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante

N = fuerza de compresión paralela a la fibra actuante

An = área neta de la sección transversal, en mm2

Fc = esfuerzo de compresión paralela a la fibra admisible, modificado

λ = relación de esbeltez

Ck = esbeltez que marca el límite entre columnas intermedias y largas

- Columnas Intermedias
- Si Ck < λ < 150:

$$f_c = 3.3\frac{E_{0.05}}{\lambda^2} \leq F_c' \quad [17]$$

Donde:

fc = esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante

Fc = esfuerzo de compresión paralela a la fibra admisible, modificado

λ = relación de esbeltez

E0.05 = módulo de elasticidad del percentil 5

4.4.5. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FUERZA AXIAL

4.4.5.1. ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXIÓN CON TENSIÓN AXIAL

Los elementos de la estructura que se encuentren sometidos a fuerzas de tensión axial y flexión al mismo tiempo, deben ser diseñados para cumplir con el siguiente parámetro:

$$\frac{f_t}{F'_t} + \frac{f_b}{F'_b} \leq 1.0 \qquad [17]$$

Donde:

ft = esfuerzo a tensión actuante

F't = esfuerzo de tensión admisible, modificado por los coeficientes a que haya lugar

Fb = esfuerzo a flexión actuante

F'b = esfuerzo a flexión admisible modificado

4.4.5.2. ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXO – COMPRESIÓN

Los elementos de la estructura que se encuentren sometidos a fuerzas compresión y flexión al mismo tiempo, deben ser diseñados para cumplir con el siguiente parámetro:

$$\frac{f_c}{F'_c} + \frac{k_m f_b}{F'_b} \leq 1.0 \qquad [17]$$

Donde:

fc = esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante

F'c = esfuerzo admisible modificado de compresión paralela a la fibra

fb = esfuerzo a flexión actuante

F'b = esfuerzo a flexión admisible modificado

Km = coeficiente de magnificación de momentos

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5\left(N_a / N_{cr}\right)} \qquad [17]$$

Donde:

Km = coeficiente de magnificación de momentos

Na = carga de compresión actuante

Ncr = carga critica de Euler

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{0.05} I}{\ell_e^2} \qquad [17]$$

Donde:

Ncr = carga critica de Euler

E0.05 = módulo de elasticidad del percentil 5

I = momento de inercia de la sección

le = longitud efectiva del elemento

4.4.6. DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE GaK SEGÚN LA SOLICITACIÓN

4.4.6.1 DISEÑO DE COLUMNAS:

Elemento: columna Pórtico 2, eje B

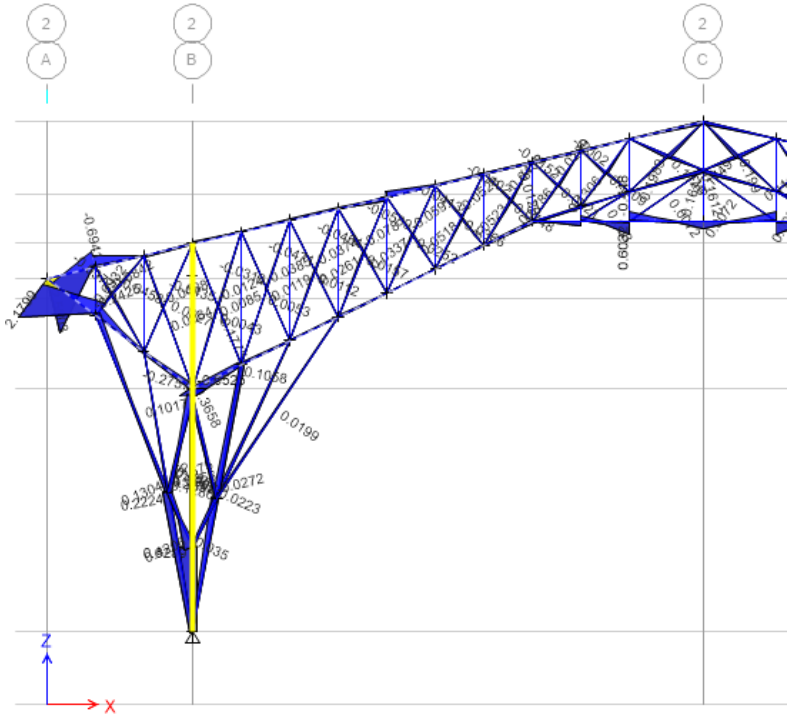


Ilustración 47: Columna con la mayor solicitación (ETABS)
Fuente: El Autor

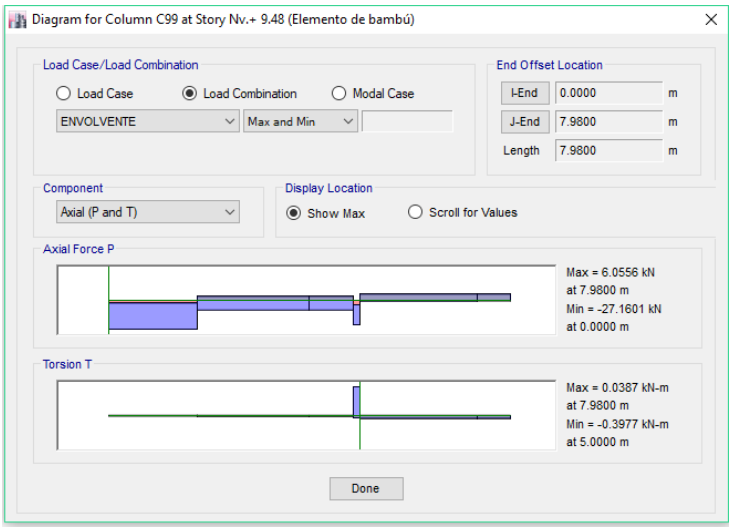


Ilustración 48: Solicitación a compresión y tensión (ETABS)
Fuente: El Autor

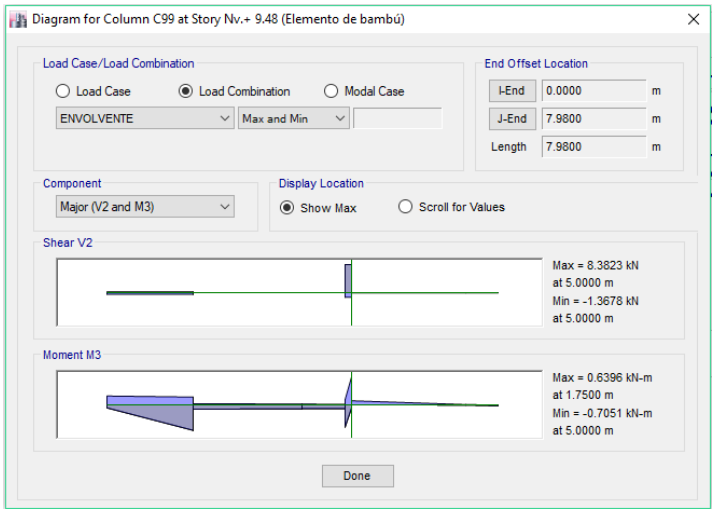


Ilustración 49: Momento de flexión (ETABS)
Fuente: El Autor

Tipo de solicitación a la que está sometida el elemento: Flexo – Compresión

Longitud del elemento: 8.00m

Longitud diseño *le*

La longitud de diseño será hasta donde el elemento presente un arriostramiento

$$le := 1.75\ m$$

Solicitación a compresión

$$N := 27.26\ kN$$ (ETABS)

Solicitación a tensión

$$T := 6.05\ kN$$ (ETABS)

Solicitación a flexión

$$Mf := 0.7\ kN \cdot m$$ (ETABS)

Solicitación a corte

$$V := 8.51\ kN$$ (ETABS)

Sección del elemento

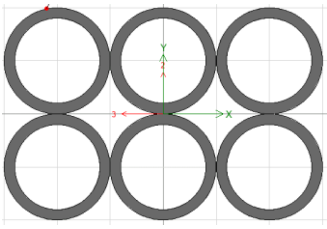


Ilustración 50: Sección transversal de la columna
Fuente: El Autor

$Nc := 6$ número de culmos

$D := 100\ mm$ diámetro externo

$d := 80\ mm$ diámetro interno

$t := 10\ mm$ espesor

$lu := le$ longitud no soportada lateralemente

$k := 1$ coeficiente longitud efectiva (ver tebla 35)

$Le := k \cdot lu$ longitud efectiva (ver 4.4.4.2.1)

$Le = 1.75\ m$

$$Iex := \frac{\pi \cdot D^4}{64}$$ [17] inercia exterior

$Iex = (4.909 \cdot 10^{-6})\ m^4$

$$Iint := \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$ [17] inercia interior

$Iint = (2.011 \cdot 10^{-6})\ m^4$

$I := Iex - Iint$ [17] inercia del bambú un solo culmo

$I = 289.812\ cm^4$

$It := I \cdot Nc$ [17] inercia total

$It := 13048.6\ cm^4$ (I22)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 42

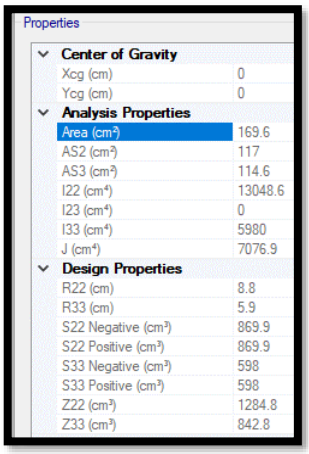


Ilustración 51: Propiedades de la sección (ETABS)
Fuente: El autor

$An := \frac{\pi}{4}\left(D^2 - (D - 2\,t)^2\right)$ [17]

$An = 28.274\ cm^2$ Área neta de la sección 1 culmo

$At := An \cdot Nc$ [17]

$At = 169.646\ cm^2$ Área total de la sección

$r := \sqrt[2]{\frac{I}{An}}$ radio de giro (ver 4.4.4.2.2)

$r = 3.202\ cm$

$rt := \sqrt[2]{\frac{It}{At}}$ radio de giro total (ver 4.4.4.2.2)

$rt = 8.77\ cm$ (R22)

$S := \frac{\pi \cdot \left(D^4 - (D - 2\ t)^4\right)}{32\ D}$ Módulo de sección (ver 4.4.3.3)

$S := 869.9\ cm^3$ (S22)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 42

$\lambda := \frac{Le}{rt}$ esbeltez (ver 4.4.4.2.2)

$\lambda = 19.954$

PROPIEDADES DE LA GUADUA

$E0.5 := 12000\ MPa$ módulo de elasticidad promedio

$E0.05 := 7500\ MPa$ módulo de elasticidad percentil

$Emin := 4000\ MPa$ módulo de elasticidad mínimo

$Fb := 15\ MPa$ Esf. admisible a flexión

$Ft := 18\ MPa$ Esf. admisible a tracción

$Fc := 14\ MPa$ Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fv := 1.2\ MPa$ Esf. admisible a corte

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Por duración de carga CD

$$CD := 0.9$$ (ver Tabla 28)

Por contenido de humedad Cm

$$Cm := 1$$ (ver Tabla 29)

Por temperatura Ct

$$Ct := 1$$ (ver Tabla 30)

Por estabilidad lateral de vigas CL

$$CL := 1$$ (ver 4.4.3.3)

Por forma CF

D > 34mm, entonces:

$$CF := \left(\frac{340}{D}\right)^{\frac{1}{9}}$$ (ver 4.4.3.3)

$$CF := 1.145$$

Por cortante Cc

$$rel := \frac{Le}{D}$$

$$rel = 17.5$$

le/D > 15mm, entonces:

$$Cc := 1$$ (ver 4.4.2.2)

Por estabilidad de columnas Cp

$C := 0.85$ (ver tabla 36)

$$FCE := \frac{(0.822 \cdot Emin)}{\lambda}$$ (ver Tabla 36)

$FCE = 164.78\ MPa$

$Fc'c := Fc \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$

$Fc'c = 12.6\ MPa$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C}\right)^2 - \frac{\left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{C}}$$ (ver 4.4.4.2.2)

$Cp = 0.988$

PROPIEDADES DEL MATERIAL AFECTADOS POR LOS COEFICIENTES

Esf. admisible de flexión afectado por los coeficientes de modificación

$F'b := Fb \cdot CF \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$ (ver 4.4.3.3)

$F'b = 15.458\ MPa$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$F't := Ft \cdot CL \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$ (ver 4.4.4.1)

$F't = 16.2\ MPa$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c := Fc'c \cdot Cp$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$F'c = 12.447\ MPa$$

Esf. admisible a corte afectado por los coeficientes de modificación

$$F'v := Fv \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct \cdot Cc$$ (ver 4.4.3.2)

$$F'v = 1.08\ MPa$$

ck = el valor del límite entre las columnas intermedias y las columnas largas

$$ck := 2.565 \cdot \sqrt{\frac{E0.05}{Fc}}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$ck = 59.368$$

Si $\lambda < 30 \rightarrow$ *columna corta (ver tabla 37)*

REVISIÓN POR COMPRESIÓN AXIAL

COLUMNAS CORTAS

Esfuerzo a compresión paralela a la fibra actuante

$$fc := \frac{N}{At}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$fc = 1.607\ MPa$$

$$F'c = 12.447\ MPa$$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

Si $fc \leq F'c \rightarrow$ cumple con el chequeo a compresión

ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN

REVISION POR FLEXOCOMPRESION

$Na := N$ fuerza de compresión actuante

$Ma := Mf$ Solicitación a Flexión

Esfuerzo actuante de Flexión

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$fb = 0.805\ MPa$

$$Ncr := \frac{\pi^2 \cdot E0.05 \cdot It}{Le^2}$$ Carga crítica de Euler (ver 4.4.4.2)

$Ncr = 3153.907\ kN$

$$km := \frac{1}{1 - 1.5 \cdot \frac{Na}{Ncr}}$$ Coeficiente de magnificación de momentos (ver 4.4.4.2)

$km = 1.013$

- Los elementos de la estructura que estén sometidos a fuerzas de flexión y compresión debe cumplir con la siguiente fórmula de chequeo:

Esfuerzo actuante de compresión paralelo a la fibra

$fc = 1.607\ MPa$

$F'c = 12.447\ MPa$

$$re := \frac{fc}{F'c} + \frac{km \cdot fb}{F'b} \quad \leq 1.0$$ (ver 4.4.5.2)

$re = 0.182$

Si $re \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a flexo- compresión

REVISIÓN POR TENSION AXIAL

Esfuerzo actuante de Tensión

$$ft := \frac{T}{At}$$ (ver 4.4.4.1)

$ft = 0.357\ MPa$

$F't = 16.2\ MPa$ Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

Si $ft \leq F't$ → cumple con el chequeo a tensión

CHEQUEO A FLEXIÓN

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$fb = 0.805\ MPa$

$F'b = 15.458\ MPa$ Esf. admisible de Flexión afectado por los coeficientes de modificación

Si $fb \leq F'b$ → cumple con el chequeo a flexión

CHEQUEO A CORTE

$$fv := \frac{2 \cdot V}{3 \cdot At} \cdot \left(\frac{3 \cdot (D)^2 - (4 \cdot D \cdot t) + 4 \cdot (t)^2}{(D^2) - (2 \cdot D \cdot t) + 2 \cdot (t)^2} \right)$$

$$fv = 1.077 \ MPa$$

$$F'v = 1.08 \ MPa$$

Esf. admisible de Corte afectado por los coeficientes de modificación

Si $fv \leq F'v \rightarrow$ cumple con el chequeo acorte

Elemento: Columna inclinada interior Pórtico 2, eje B

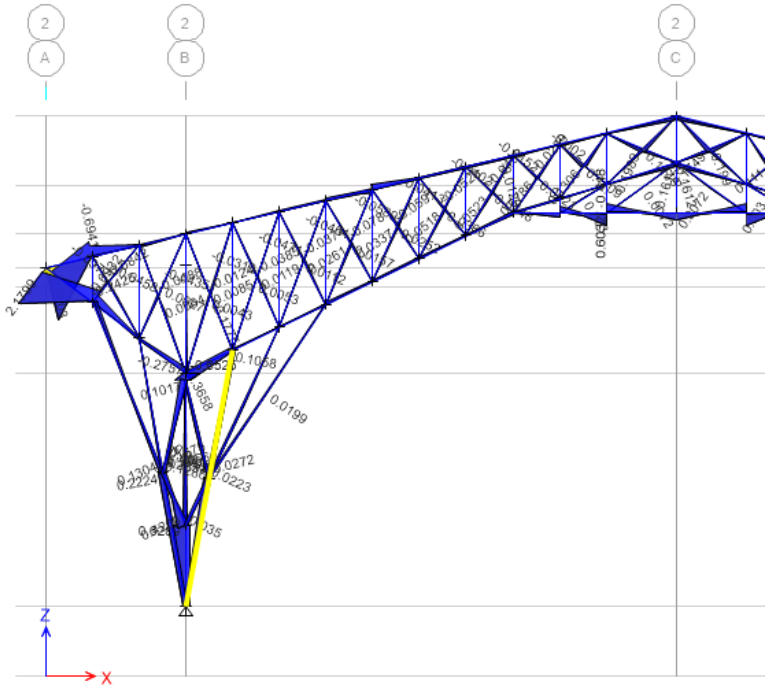


Ilustración 52:Columna inclinada interior con la mayor solicitación (ETABS)

Fuente: El Autor

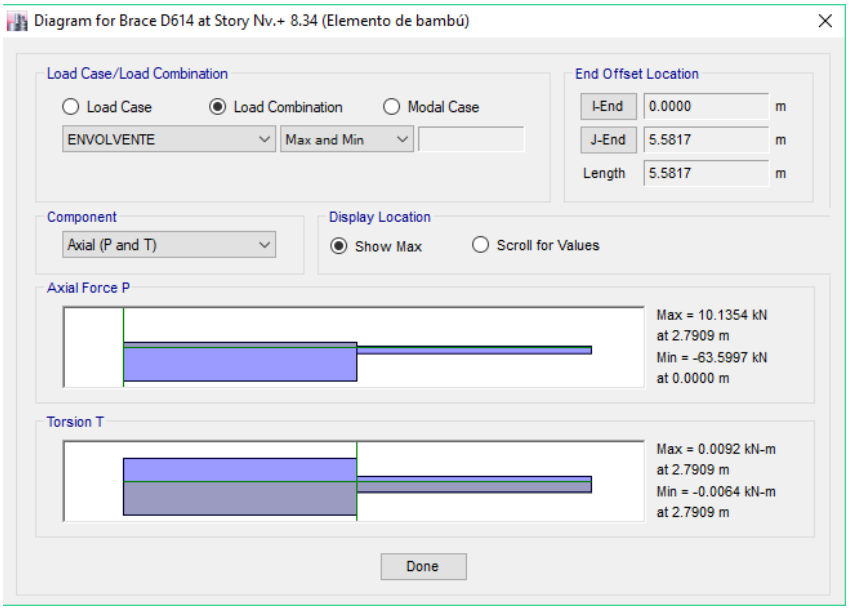


Ilustración 53: Solicitación a compresión y tensión (ETABS)

Fuente: El Autor

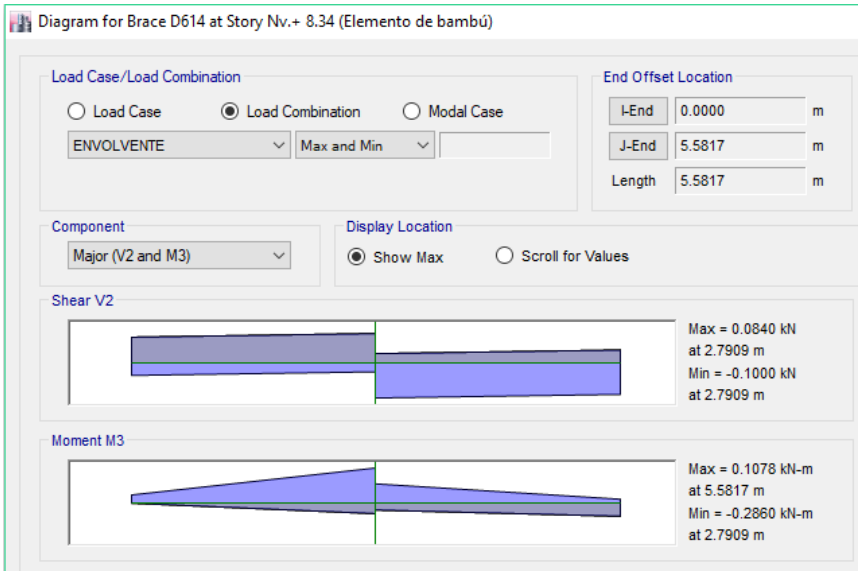


Ilustración 54: Momento de flexión (ETABS)
Fuente: El Autor

Tipo de solicitación a la que está sometida el elemento: Flexo – Compresión

Longitud del elemento: 5.55m

Longitud diseño *le*

$$le := 2.8\ m$$

Solicitación a compresión

$$N := 63.60\ kN$$

Solicitación a tensión

$$T := 10.14\ kN$$

Solicitación a flexión

$$Mf := 0.29\ kN \cdot m$$

Solicitación a corte

$$V := 0.10\ kN$$

Sección del elemento

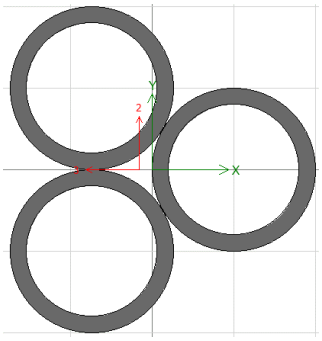


Ilustración 55:Sección transversal de la columna

Fuente: El Autor

$Nc := 3$ número de culmos

$D := 100\ mm$ diámetro externo

$d := 80\ mm$ diámetro interno

$t := 10\ mm$ espesor

$lu := le$ longitud no soportada lateralemente

$k := 1$ coeficiente longitud efectiva (ver tebla 35)

$Le := k \cdot lu$ longitud efectiva

$Le = 2.8\ m$

$Iex := \frac{\pi \cdot D^4}{64}$ [17] inercia exterior

$Iex = \left(4.909 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$

$Iint := \frac{\pi \cdot d^4}{64}$ [17] inercia interior

$$Iint = \left(2.011 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$$

$$I := Iex - Iint$$

[17] inercia del bambú un solo culmo

$$I = 289.812\ cm^4$$

$$It := I \cdot Nc$$

[17] inercia total

$$It := 2296.2\ cm^4$$

(I22)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 47

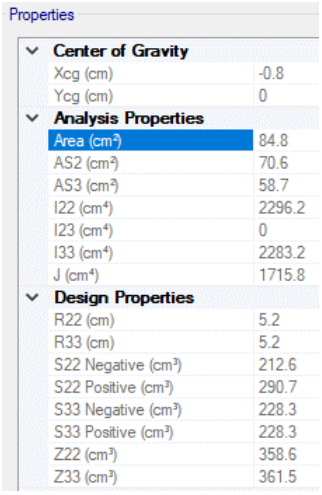


Ilustración 56: Propiedades de la sección
Fuente: El autor

$$An := \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)$$

[17] Área neta de la sección

$$An = 28.274\ cm^2$$

$$At := An \cdot Nc$$

[17] Área total de la sección

$$At = 84.823\ cm^2$$

$$r := \sqrt[2]{\frac{I}{An}}$$ radio de giro (ver 4.4.4.2.2)

$$r = 3.202\ cm$$

$$rt := \sqrt[2]{\frac{It}{At}}$$ radio de giro total de la sección (ver 4.4.4.2.2)

$$rt = 5.203\ cm$$ (R22)

$$S := \frac{\pi \cdot \left(D^4 - (D - 2\ t)^4\right)}{32\ D}$$ Módulo de sección (ver 4.4.3.3)

$$S := 290.7\ cm^3$$

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 47

$$\lambda := \frac{Le}{rt}$$ (ver 4.4.4.2.2)

esbeltez

$$\lambda = 53.816$$

PROPIEDADES DE LA GUADUA

$$E0.5 := 12000\ MPa$$ módulo de elasticidad promedio

$$E0.05 := 7500\ MPa$$ módulo de elasticidad percentil

$$Emin := 4000\ MPa$$ módulo de elasticidad mínimo

$$Fb := 15\ MPa$$ Esf. admisible a flexión

$$Ft := 18\ MPa$$ Esf. admisible a tracción

$Fc := 14\ MPa$ Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fv := 1.2\ MPa$ Esf. admisible a corte

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Por duración de carga CD

$CD := 0.9$ (ver Tabla 28)

Por contenido de humedad Cm

$Cm := 1$ (ver Tabla 29)

Por temperatura Ct

$Ct := 1$ (ver Tabla 30)

Por estabilidad lateral de vigas CL

$CL := 1$ (ver 4.4.3.3)

Por forma CF

D > 34mm, entonces:

$$CF := \left(\frac{340}{D}\right)^{\frac{1}{9}}$$ (ver 4.4.3.3)

$CF := 1.145$

Por cortante Cc

$$rel := \frac{Le}{D}$$

$$rel = 28$$

le/D > 15mm, entonces:

$$Cc := 1$$ (ver 4.4.2.2)

Por estabilidad de columnas Cp

$$C := 0.85$$ (ver tabla 36)

$$FCE := \frac{(0.822 \cdot Emin)}{\lambda}$$ (ver Tabla 36)

$$FCE = 61.097\ MPa$$

$$Fc'c := Fc \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$

$$Fc'c = 12.6\ MPa$$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C}\right)^2 - \frac{\left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{C}}$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$Cp = 0.964$$

PROPIEDADES DEL MATERIAL AFECTADOS POR LOS COEFICIENTES

Esf. admisible de flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b := Fb \cdot CF \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.3.3)

$$F'b = 15.458\ MPa$$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$$F't := Ft \cdot CL \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.4.1)

$$F't = 16.2\ MPa$$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c := Fc'c \cdot Cp$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$F'c = 12.148\ MPa$$

Esf. admisible a corte afectado por los coeficientes de modificación

$$F'v := Fv \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct \cdot Cc$$ (ver 4.4.3.2)

$$F'v = 1.08\ MPa$$

ck = el valor del límite entre las columnas intermedias y las columnas largas

$$ck := 2.565 \cdot \sqrt{\frac{E0.05}{Fc}}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$ck = 59.368$$

Si $30 < \lambda < ck \rightarrow$ *columna intermedia (ver tabla 37)*

REVISIÓN POR COMPRESIÓN AXIAL

COLUMNAS INTERMEDIAS

Esfuerzo a compresión paralela a la fibra actuante

$$fc := \frac{N}{At \cdot \left(1 - \frac{2}{5} \cdot \left(\frac{\lambda}{ck}\right)^3\right)}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$fc = 10.68\ MPa$$

F'c= Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$F'c = 12.148\ MPa$

Si $fc \leq F'c$ → cumple con el chequeo a compresión

ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN

REVISION POR FLEXOCOMPRESION

$Na := N$ fuerza de compresión actuante

$Ma := Mf$ Solicitación a Flexión

$ck = 59.368$

$fc := 10.68\ MPa$

Esfuerzo actuante de Flexión

$fb := \frac{Mf}{S}$ (ver 4.4.3.3)

$fb = 0.998\ MPa$

$Ncr := \frac{\pi^2 \cdot E0.05 \cdot It}{Le^2}$ Carga crítica de Euler (ver 4.4.4.2)

$Ncr = 216.798\ kN$

$km := \frac{1}{1 - 1.5 \cdot \frac{Na}{Ncr}}$ Coeficiente de magnificación de momentos (ver 4.4.4.2)

$km = 1.786$

- Los elementos de la estructura que estén sometidos a fuerzas de flexión y compresión debe cumplir con la siguiente fórmula de chequeo:

Esfuerzo actuante de compresión paralelo a la fibra

$fc = 10.68\ MPa$

$$re := \frac{fc}{F'c} + \frac{km \cdot fb}{F'b} \leq 1.0$$ (ver 4.4.5.2)

$re = 0.994$

Si $re \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a flexo-compresión

REVISIÓN POR TENSION AXIAL

Esfuerzo actuante de Tensión

$$ft := \frac{T}{At}$$

$ft = 1.195\ MPa$

F't= Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$F't = 16.2\ MPa$

Si $ft \leq F't$ → cumple con el chequeo a tensión

CHEQUEO A FLEXIÓN

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$fb = 0.998\ MPa$

F'b= Esf. admisible de Flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b = 15.458\ MPa$$

Si $fb \leq F'b$ → cumple con el chequeo a flexión

CHEQUEO A CORTE

$$fv := \frac{2 \cdot V}{3 \cdot At} \cdot \left(\frac{3\,(D)^2 - (4 \cdot D \cdot t) + 4 \cdot (t)^2}{(D^2) - (2 \cdot D \cdot t) + 2 \cdot (t)^2} \right)$$ (ver 4.4.3.2)

$$fv = 0.025\ MPa$$

F'v= Esf. admisible de Corte afectado por los coeficientes de modificación

$$F'v = 1.08\ MPa$$

Si $fv \leq F'v$ → cumple con el chequeo a corte

Elemento: Columna inclinada exterior Pórtico 2, eje B

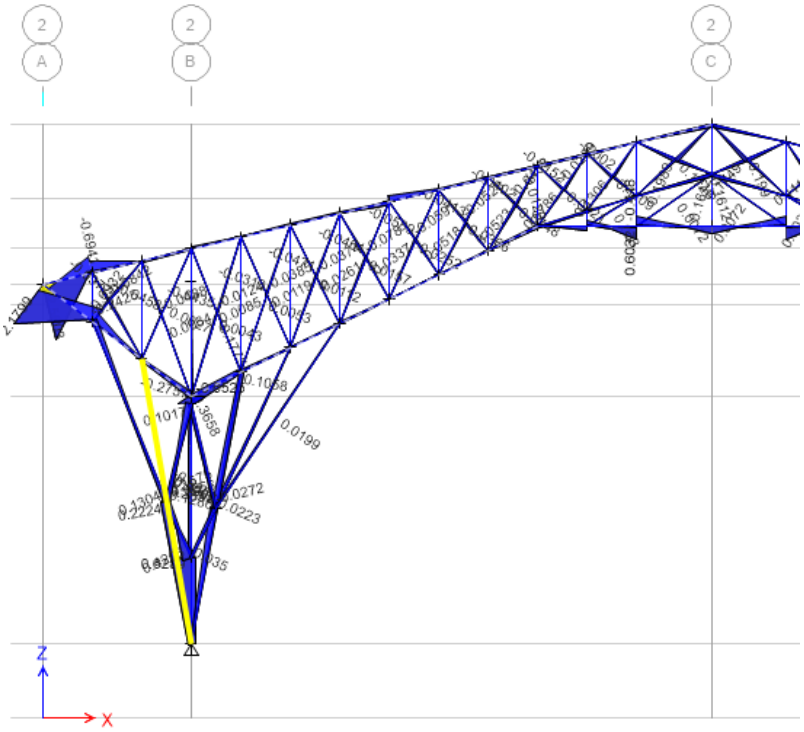


Ilustración 57:Columna inclinada exterior con la mayor solicitación (ETABS)

Fuente: El Autor

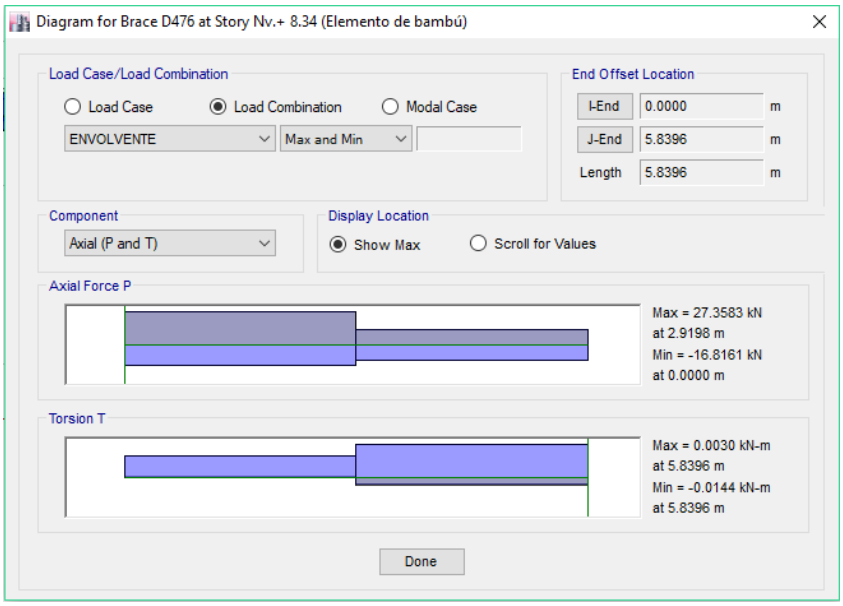


Ilustración 58: Solicitación a compresión y tensión (ETABS)

Fuente: El Autor

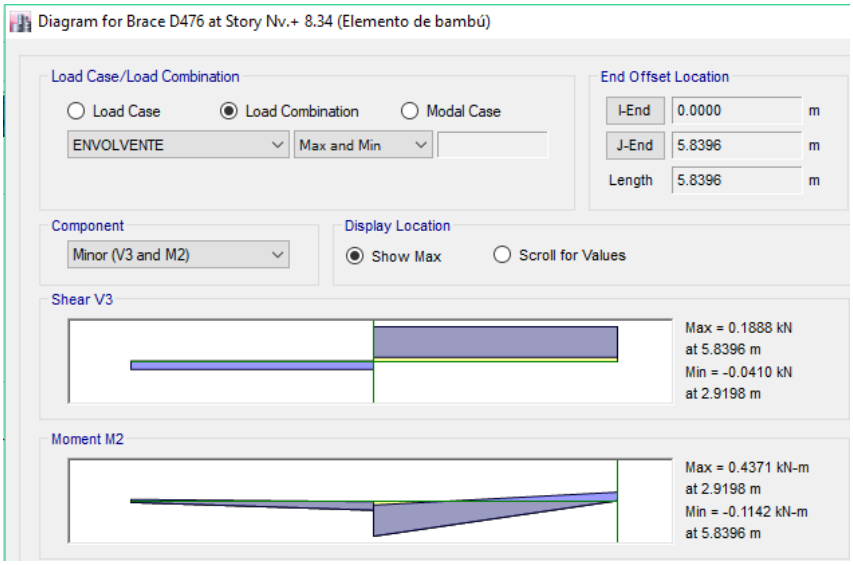


Ilustración 59: Momento de flexión y corte (ETABS)
Fuente: El Autor

Tipo de solicitación a la que está sometida el elemento: Flexo – Compresión

Longitud del elemento: 5.85m

Longitud diseño *le*

$$le := 2.9\ m$$

Solicitación a compresión

$$N := 16.82\ kN$$

Solicitación a tensión

$$T := 27.36\ kN$$

Solicitación a flexión

$$Mf := 0.44\ kN \cdot m$$

Solicitación a corte

$$V := 0.19\ kN$$

Sección del elemento

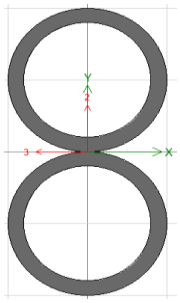


Ilustración 60: Sección transversal del elemento
Fuente: El autor

$Nc := 2$ número de culmos

$D := 100\ mm$ diámetro externo

$d := 80\ mm$ diámetro interno

$t := 10\ mm$ espesor

$lu := le$ longitud no soportada lateralemente

$k := 1$ coeficiente longitud efectiva (ver tebla 35)

$Le := k \cdot lu$ longitud efectiva (ver 4.4.4.2.1)

$Le = 2.9\ m$

$$Iex := \frac{\pi \cdot D^4}{64}$$ [17] inercia exterior

$Iex = \left(4.909 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$

$$Iint := \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$ [17] inercia interior

$$Iint = (2.011 \cdot 10^{-6})\ m^4$$

$$I := Iex - Iint$$ [17] inercia del bambú un solo culmo

$$I = 289.812\ cm^4$$

$$It := I \cdot Nc$$ [17] inercia total

$$It := 1993.2\ cm^4$$ (I22)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 52

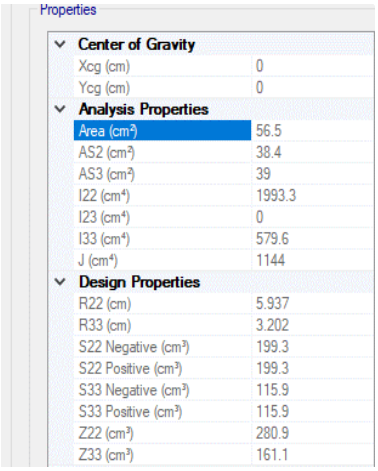


Ilustración 61: Propiedades de la sección
Fuente: El autor

$$An := \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)$$ [17] Área neta de la sección

$$An = 28.274\ cm^2$$

$$At := An \cdot Nc$$ [17] Área total de la sección

$At = 56.549\ cm^2$

$r := \sqrt[2]{\frac{I}{An}}$ radio de giro (ver 4.4.4.2.2)

$r = 3.202\ cm$

$rt := \sqrt[2]{\frac{It}{At}}$ radio de giro total de la sección (ver 4.4.4.2.2)

$rt = 5.937\ cm$ (R22)

$S := \frac{\pi \cdot \left(D^4 - (D - 2\ t)^4\right)}{32\ D}$ Módulo de sección (ver 4.4.3.3)

$S := 199.3\ cm^3$ (S22)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 52

$\lambda := \frac{Le}{rt}$ esbeltez (ver 4.4.4.2.2)

$\lambda = 48.847$

PROPIEDADES DE LA GUADUA

$E0.5 := 12000\ MPa$ módulo de elasticidad promedio

$E0.05 := 7500\ MPa$ módulo de elasticidad percentil

$Emin := 4000\ MPa$ módulo de elasticidad mínimo

$Fb := 15\ MPa$ Esf. admisible a flexión

$Ft := 18\ MPa$ Esf. admisible a tracción

$Fc := 14\ MPa$ Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fv := 1.2\ MPa$ Esf. admisible a corte

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Por duración de carga CD

$CD := 0.9$ (ver Tabla 28)

Por contenido de humedad Cm

$Cm := 1$ (ver Tabla 29)

Por temperatura Ct

$Ct := 1$ (ver Tabla 30)

Por estabilidad lateral de vigas CL

$CL := 1$ (ver 4.4.3.3)

Por forma CF

D > 34mm, entonces:

$$CF := \left(\frac{340}{D}\right)^{\frac{1}{9}}$$ (ver 4.4.3.3)

$CF := 1.145$

Por cortante Cc

$$rel := \frac{Le}{D}$$

$$rel = 29$$

le/D > 15mm, entonces:

$$Cc := 1$$ (ver 4.4.2.2)

Por estabilidad de columnas Cp

$$C := 0.85$$ (ver tabla 36)

$$FCE := \frac{(0.822 \cdot Emin)}{\lambda}$$ (ver Tabla 36)

$$FCE = 67.313\ MPa$$

$$Fc'c := Fc \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$

$$Fc'c = 12.6\ MPa$$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C}\right)^2 - \frac{\left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{C}}$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$Cp = 0.968$$

PROPIEDADES DEL MATERIAL AFECTADOS POR LOS COEFICIENTES

Esf. admisible de flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b := Fb \cdot CF \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.3.3)

$F'b = 15.458\ MPa$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$F't := Ft \cdot CL \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$ (ver 4.4.4.1)

$F't = 16.2\ MPa$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$F'c := Fc'c \cdot Cp$ (ver 4.4.4.2.2)

$F'c = 12.195\ MPa$

Esf. admisible a corte afectado por los coeficientes de modificación

$F'v := Fv \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct \cdot Cc$ (ver 4.4.3.2)

$F'v = 1.08\ MPa$

ck = el valor del límite entre las columnas intermedias y las columnas largas

$$ck := 2.565 \cdot \sqrt{\frac{E0.05}{Fc}}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$ck = 59.368$

Si $30 < \lambda < ck \rightarrow$ *columna intermedia (ver tabla 37)*

REVISIÓN POR COMPRESIÓN AXIAL

COLUMNAS INTERMEDIAS

Esfuerzo a compresión paralela a la fibra actuante

$$fc := \frac{N}{At \cdot \left(1 - \frac{2}{5} \cdot \left(\frac{\lambda}{ck}\right)^3\right)}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$fc = 3.827\ MPa$$

F'c= Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c = 12.195\ MPa$$

Si $fc \leq F'c$ → cumple con el chequeo a compresión

ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN

REVISION POR FLEXOCOMPRESION

$Na := N$ fuerza de compresión actuante

$Ma := Mf$ Solicitación a Flexión

$ck = 59.368$

$fc := 3.827\ MPa$

colocar el valor según corresponda al tipo de columna

Esfuerzo actuante de Flexión

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$fb = 2.208\ MPa$

$$Ncr := \frac{\pi^2 \cdot E0.05 \cdot It}{Le^2}$$

Carga crítica de Euler (ver 4.4.4.2)

$Ncr = 175.444\ kN$

$$km := \frac{1}{1 - 1.5 \cdot \frac{Na}{Ncr}}$$

Coeficiente de magnificación de momentos (ver 4.4.4.2)

$km = 1.168$

- Los elementos de la estructura que estén sometidos a fuerzas de flexión y compresión debe cumplir con la siguiente fórmula de chequeo:

Esfuerzo actuante de compresión paralelo a la fibra

$fc := 3.827\ MPa$

$$re := \frac{fc}{F'c} + \frac{km \cdot fb}{F'b} \leq 1.0$$

(ver 4.4.5.2)

$re = 0.481$

Si $re \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a flexo-compresión

REVISIÓN POR TENSION AXIAL

Esfuerzo actuante de Tensión

$$ft := \frac{T}{At}$$

$ft = 4.838\ MPa$

$F't = 16.2\ MPa$ Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

Si $ft \leq F't$ → cumple con el chequeo a tensión

Elementos solicitados a flexión con tensión axial

$$che := \frac{ft}{F't} + \frac{fb}{F'b} \leq 1.0$$ (ver 4.4.5.1)

$che = 0.441$

Si $che \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a corte

CHEQUEO A FLEXIÓN

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$fb = 0.221\ MPa$

Esf. admisible de Flexión afectado por los coeficientes de modificación

$F'b = 15.458\ MPa$

Si $fb \leq F'b$ → cumple con el chequeo a flexión

CHEQUEO A CORTE

$$fv := \frac{2 \cdot V}{3 \cdot At} \cdot \left(\frac{3\,(D)^2 - (4 \cdot D \cdot t) + 4 \cdot (t)^2}{(D^2) - (2 \cdot D \cdot t) + 2 \cdot (t)^2} \right)$$ (ver 4.4.3.2)

$fv = 0.072\ MPa$

$F'v = 1.08\ MPa$

Si $fv \leq F'v$ → cumple con el chequeo a corte

Elemento: Columna inclinada Pórtico D, eje 5-6

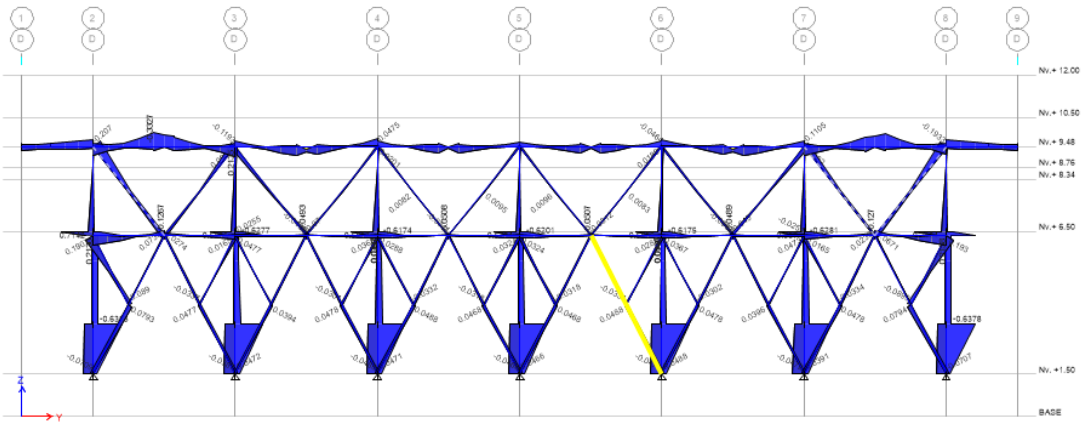


Ilustración 62:Columna inclinada entre pórticos con la mayor solicitación (ETABS)

Fuente: El Autor

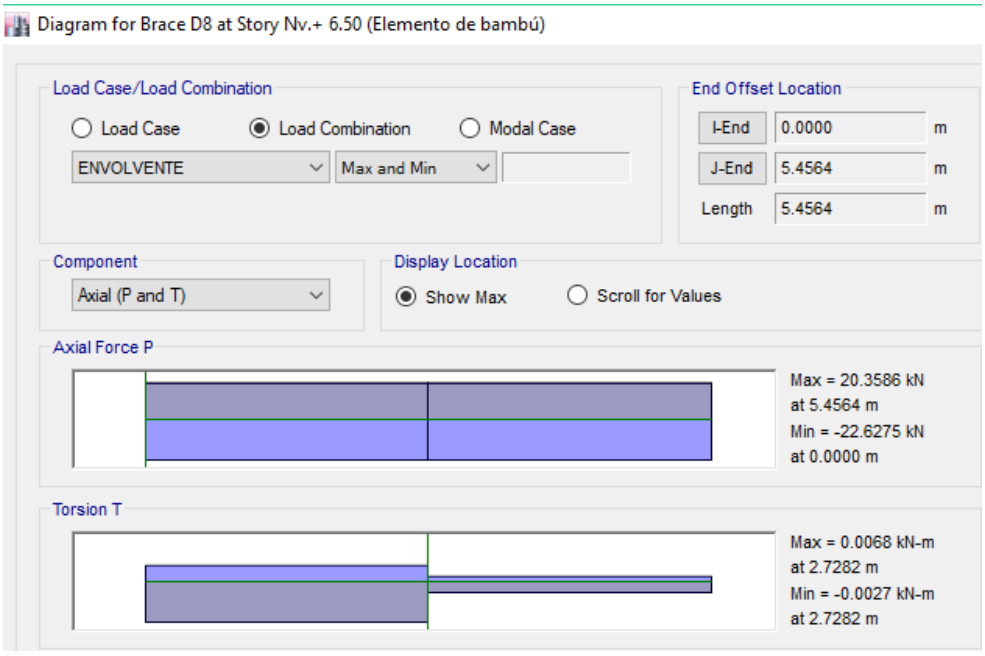


Ilustración 63: Solicitación a compresión y tensión (ETABS)

Fuente: El Autor

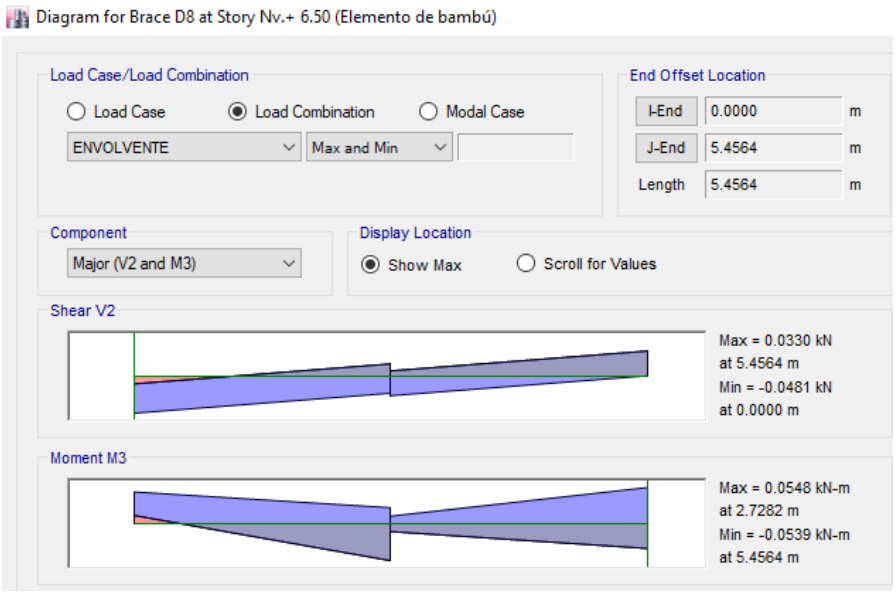


Ilustración 64: Momento de flexión y corte (ETABS)
Fuente: El Autor

Tipo de solicitación a la que está sometida el elemento: Flexo – Compresión

Longitud del elemento: 5.85m

Longitud diseño *le*

$$le := 2.75\ m$$

Solicitación a compresión

$$N := 22.63\ kN$$

Solicitación a tensión

$$T := 20.36\ kN$$

Solicitación a flexión

$$Mf := 0.055\ kN \cdot m$$

Solicitación a corte

$$V := 0.05\ kN$$

Sección del elemento

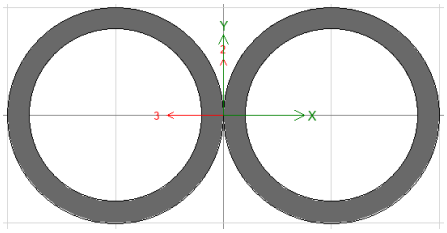


Ilustración 65: Sección transversal del elemento
Fuente: El autor

$Nc := 2$ número de culmos

$D := 100\ mm$ diámetro externo

$d := 80\ mm$ diámetro interno

$t := 10\ mm$ espesor

$lu := le$ longitud no soportada lateralemente

$k := 1$ coeficiente longitud efectiva (ver tebla 35)

$Le := k \cdot lu$ longitud efectiva (ver 4.4.4.2.1)

$Le = 2.75\ m$

$$Iex := \frac{\pi \cdot D^4}{64}$$ inercia exterior

$Iex = \left(4.909 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$

$$Iint := \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$ inercia interior

$Iint = \left(2.011 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$

$I := Iex - Iint$ inercia del bambú un solo culmo

$I = 289.812\ cm^4$

$It := I \cdot Nc$ inercia total

$It := 579.6\ cm^4$ (I33)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 57

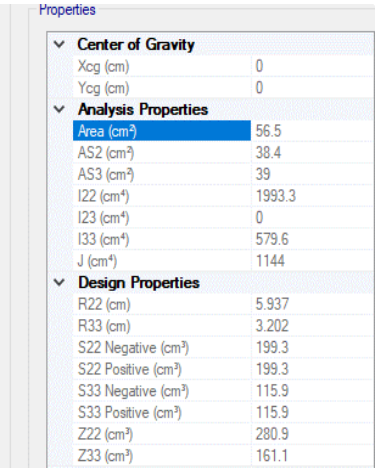


Ilustración 66: Propiedades de la sección
Fuente: El autor

$An := \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)$ Área neta de la sección

$An = 28.274\ cm^2$

$At := An \cdot Nc$ Área total de la sección

$At = 56.549\ cm^2$

$r := \sqrt[2]{\frac{I}{An}}$ radio de giro (ver 4.4.4.2.2)

$r = 3.202\ cm$

$rt := \sqrt[2]{\frac{It}{At}}$ radio de giro total de la sección (ver 4.4.4.2.2)

$rt = 3.201\ cm$ (R33)

$S := \frac{\pi \cdot \left(D^4 - (D - 2\ t)^4\right)}{32\ D}$ Módulo de sección (ver 4.4.3.3)

$S := 115.9\ cm^3$ (S33)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 57

$\lambda := \frac{Le}{rt}$ esbeltez (ver 4.4.4.2.2)

$\lambda = 85.897$

PROPIEDADES DE LA GUADUA

$E0.5 := 12000\ MPa$ módulo de elasticidad promedio

$E0.05 := 7500\ MPa$ módulo de elasticidad percentil

$Emin := 4000\ MPa$ módulo de elasticidad mínimo

$Fb := 15\ MPa$ Esf. admisible a flexión

$Ft := 18\ MPa$ Esf. admisible a tracción

$Fc := 14\ MPa$ Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fv := 1.2\ MPa$ Esf. admisible a corte

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Por duración de carga CD

$CD := 0.9$ (ver Tabla 28)

Por contenido de humedad Cm

$Cm := 1$ (ver Tabla 29)

Por temperatura Ct

$Ct := 1$ (ver Tabla 30)

Por estabilidad lateral de vigas CL

$CL := 1$ (ver 4.4.3.3)

Por forma CF

D > 34mm, entonces:

$$CF := \left(\frac{340}{D}\right)^{\frac{1}{9}}$$ (ver 4.4.3.3)

$CF := 1.145$

Por cortante Cc

$$rel := \frac{Le}{D}$$

$rel = 27.5$

le/D > 15mm, entonces:

$$Cc := 1$$ (ver 4.4.2.2)

Por estabilidad de columnas Cp

$$C := 0.85$$ (ver tabla 36)

$$FCE := \frac{(0.822 \cdot Emin)}{\lambda}$$ (ver Tabla 36)

$$FCE = 38.278\ MPa$$

$$Fc'c := Fc \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$

$$Fc'c = 12.6\ MPa$$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C}\right)^2 - \frac{\left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{C}}$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$Cp = 0.937$$

PROPIEDADES DEL MATERIAL AFECTADOS POR LOS COEFICIENTES

Esf. admisible de flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b := Fb \cdot CF \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.3.3)

$$F'b = 15.458\ MPa$$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$$F't := Ft \cdot CL \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.4.1)

$$F't = 16.2\ MPa$$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c := Fc'c \cdot Cp$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$F'c = 11.81\ MPa$$

Esf. admisible a corte afectado por los coeficientes de modificación

$$F'v := Fv \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct \cdot Cc$$ (ver 4.4.3.2)

$$F'v = 1.08\ MPa$$

ck = el valor del límite entre las columnas intermedias y las columnas largas

$$ck := 2.565 \cdot \sqrt{\frac{E0.05}{Fc}}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$ck = 59.368$$

Si $ck < \lambda < 150 \rightarrow$ *columna larga (ver tabla 37)*

REVISIÓN POR COMPRESIÓN AXIAL

COLUMNAS LARGAS

Esfuerzo a compresión paralela a la fibra actuante

$$fc := 3.3 \cdot \frac{E0.05}{\lambda^2}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$fc = 3.354\ MPa$$

F'c= Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$F'c = 11.81\ MPa$

Si $fc \leq F'c$ → cumple con el chequeo a compresión

ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN

REVISION POR FLEXOCOMPRESION

$Na := N$ fuerza de compresión actuante

$Ma := Mf$ Solicitación a Flexión

$ck = 59.368$

$fc := 3.354\ MPa$

Esfuerzo actuante de Flexión

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$fb = 0.475\ MPa$

$$Ncr := \frac{\pi^2 \cdot E0.05 \cdot It}{Le^2}$$ Carga crítica de Euler (ver 4.4.4.2)

$Ncr = 56.731\ kN$

$Na = 22.63\ kN$

$$km := \frac{1}{1 - 1.5 \cdot \frac{Na}{Ncr}}$$ Coeficiente de magnificación de momentos (ver 4.4.4.2)

$km = 2.49$

- Los elementos de la estructura que estén sometidos a fuerzas de flexión y compresión debe cumplir con la siguiente fórmula de chequeo:

Esfuerzo actuante de compresión paralelo a la fibra

$$fc = 3.354\ MPa$$

$$re := \frac{fc}{F'c} + \frac{km \cdot fb}{F'b} \leq 1.0 \qquad \text{(ver 4.4.5.2)}$$

$$re = 0.36$$

Si $re \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a flexo-compresión

REVISIÓN POR TENSION AXIAL

Esfuerzo actuante de Tensión

$$ft := \frac{T}{At}$$

$$ft = 3.6\ MPa$$

F't= Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$$F't = 16.2\ MPa$$

Si $ft \leq F't$ → cumple con el chequeo a tensión

Elementos solicitados a flexión con tensión axial

$$che := \frac{ft}{F't} + \frac{fb}{F'b} \leq 1.0 \qquad \text{(ver 4.4.5.1)}$$

$$che = 0.253$$

Si $che \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a corte

CHEQUEO A FLEXIÓN

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$$fb = 0.475\ MPa$$

F'b= Esf. admisible de Flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b = 15.458\ MPa$$

Si $fb \leq F'b$ → cumple con el chequeo a flexión

CHEQUEO A CORTE

$$fv := \frac{2 \cdot V}{3 \cdot At} \cdot \left(\frac{3\,(D)^2 - (4 \cdot D \cdot t) + 4 \cdot (t)^2}{(D^2) - (2 \cdot D \cdot t) + 2 \cdot (t)^2} \right)$$ (ver 4.4.3.2)

$$fv = 0.019\ MPa$$

F'v= Esf. admisible de Corte afectado por los coeficientes de modificación

$$F'v = 1.08\ MPa$$

Si $fv \leq F'v$ → cumple con el chequeo a corte

4.4.6.2 DISEÑO DE CORDÓN SUPERIOR E INFERIOR DE LA CERCHA

Elemento: Cordón inferior cercha Pórtico 2, eje B

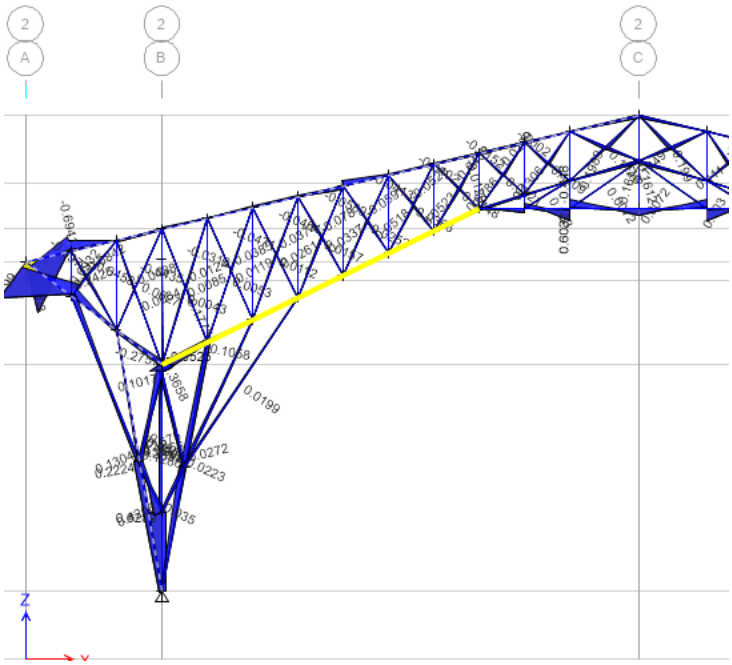


Ilustración 67: Cordón inferior con la mayor solicitación (ETABS)
Fuente: El Autor

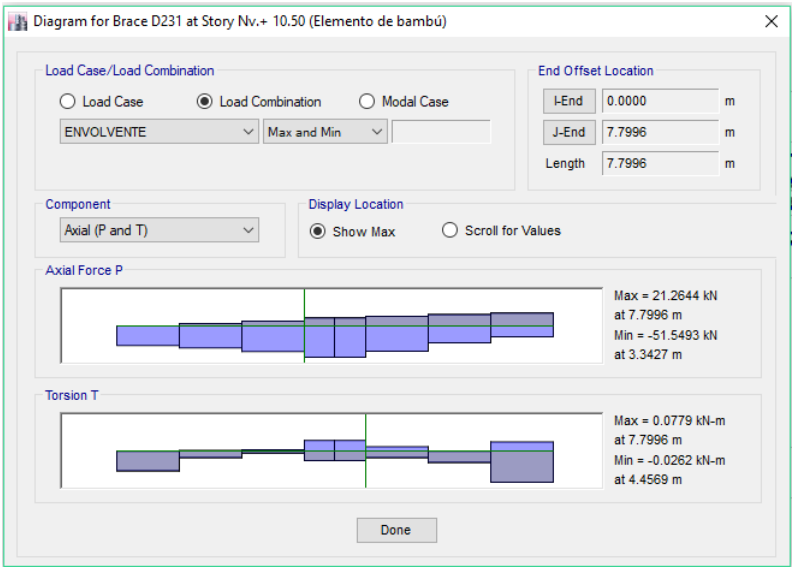


Ilustración 68:Solicitación a compresión y tensión (ETABS)
Fuente: El Autor

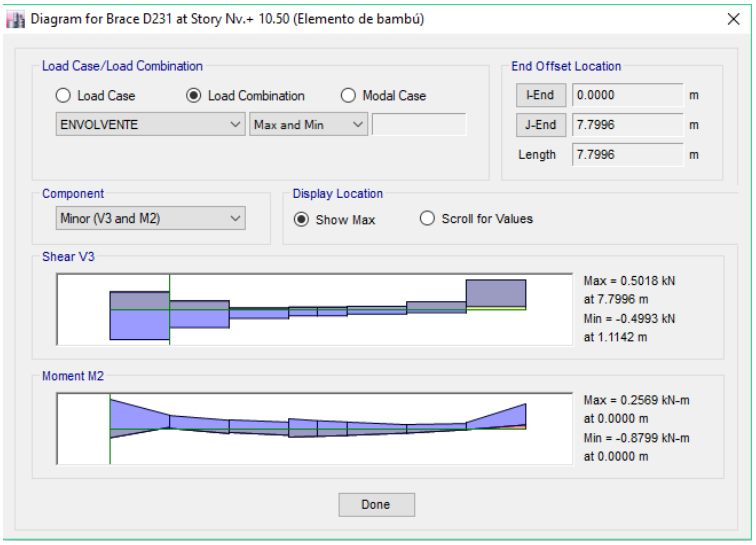


Ilustración 69: Momento de Flexión y corte (ETABS)
Fuente: El Autor

Tipo de solicitación a la que está sometida el elemento: Flexión

Longitud del elemento: 7.80m

Longitud diseño *le*

La longitud de diseño será hasta donde el elemento presente un arriostramiento

$$le := 1.12\ m$$

Solicitación a compresión

$$N := 51.55\ kN$$

Solicitación a tensión

$$T := 21.26\ kN$$

Solicitación a flexión

$$Mf := 0.88\ kN \cdot m$$

Solicitación a corte

$$V := 0.5\ kN$$

Sección del elemento

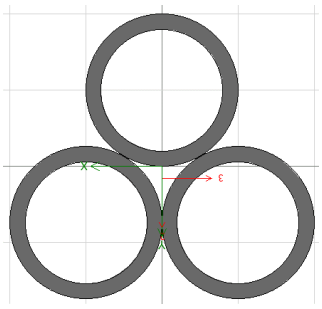


Ilustración 70: Sección transversal del elemento
Fuente: El autor

$Nc := 3$	número de culmos
$D := 100\ mm$	diámetro externo
$d := 80\ mm$	diámetro interno
$t := 10\ mm$	espesor
$lu := le$	longitud no soportada lateralemente
$k := 1$	coeficiente longitud efectiva (ver tebla 35)
$Le := k \cdot lu$	longitud efectiva
$Le = 1.12\ m$	
$It := I \cdot Nc$	[17] inercia total
$It := 2296.2\ cm^4$	(I33)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 62

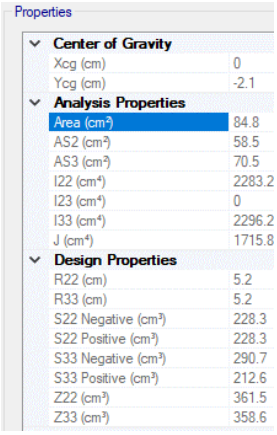


Ilustración 71: Propiedades de la sección

Fuente: El autor

$$An := \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right)$$

Área neta de la sección

$$An = 28.274 \ cm^2$$

$$At := An \cdot Nc$$

Área total de la sección

$$r := \sqrt[2]{\frac{I}{An}}$$

radio de giro (ver 4.4.4.2.2)

$$r = 3.202 \ cm$$

$$rt := \sqrt[2]{\frac{It}{At}}$$

radio de giro total de la sección (ver 4.4.4.2.2)

$$rt = 5.203 \ cm$$

(R22)

$$S := \frac{\pi \cdot \left(D^4 - (D - 2\ t)^4 \right)}{32\ D}$$

Módulo de sección (ver 4.4.3.3)

$$S := 290.7 \ cm^3$$

(S33)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 62

PROPIEDADES DE LA GUADUA

$E0.5 := 12000\ MPa$ módulo de elasticidad promedio

$E0.05 := 7500\ MPa$ módulo de elasticidad percentil

$Emin := 4000\ MPa$ módulo de elasticidad mínimo

$Fb := 15\ MPa$ Esf. admisible a flexión

$Ft := 18\ MPa$ Esf. admisible a tracción

$Fc := 14\ MPa$ Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fv := 1.2\ MPa$ Esf. admisible a corte

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Por duración de carga CD

$CD := 0.9$ (ver Tabla 28)

Por contenido de humedad Cm

$Cm := 1$ (ver Tabla 29)

Por temperatura Ct

$Ct := 1$ (ver Tabla 30)

Por estabilidad lateral de vigas CL

$$CL := 1$$ (ver 4.4.3.3)

Por forma CF

D > 34mm, entonces:

$$CF := \left(\frac{340}{D}\right)^{\frac{1}{9}}$$ (ver 4.4.3.3)

$$CF := 1.145$$

Por cortante Cc

$$rel := \frac{Le}{D}$$

$$rel = 11.2$$

le/D > 15mm, entonces:

$$Cc := 0.86$$ (ver 4.4.2.2)

Por estabilidad de columnas Cp

$$C := 0.85$$ (ver tabla 36)

$$FCE := \frac{(0.822 \cdot Emin)}{\lambda}$$ (ver Tabla 36)

$$FCE = 187.071\ MPa$$

$$Fc'c := Fc \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$

$$Fc'c = 12.6\ MPa$$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C}\right)^2 - \frac{\left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{C}}$$ (ver 4.4.4.2.2)

$Cp = 0.989$

PROPIEDADES DEL MATERIAL AFECTADOS POR LOS COEFICIENTES

Esf. admisible de flexión afectado por los coeficientes de modificación

$F'b := Fb \cdot CF \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$ (ver 4.4.3.3)

$F'b = 15.458\ MPa$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$F't := Ft \cdot CL \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$ (ver 4.4.4.1)

$F't = 16.2\ MPa$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$F'c := Fc'c \cdot Cp$ (ver 4.4.4.2.2)

$F'c = 12.466\ MPa$

Esf. admisible a corte afectado por los coeficientes de modificación

$F'v := Fv \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct \cdot Cc$ (ver 4.4.3.2)

$F'v = 0.929\ MPa$

ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN

REVISIÓN POR TENSION AXIAL

Esfuerzo actuante de Tensión

$$ft := \frac{T}{At}$$

$$ft = 3.701\ MPa$$

F't= Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$$F't = 16.2\ MPa$$

Si $ft \leq F't$ → cumple con el chequeo a tensión

Elementos solicitados a flexión con tensión axial

$$che := \frac{ft}{F't} + \frac{fb}{F'b} \leq 1.0$$ (ver 4.4.5.1)

$$che = 0.42$$

Si $re \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a corte

DISEÑO DE ELEMENTOS A FLEXIÓN

CHEQUEO DE DEFLEXIONES

CARGA DISTRIBUIDA

$$Dead := 0.75\ \frac{kN}{m}$$ Cargas muertas

$$Cl := 3.5\ \frac{kN}{m}$$ Cargas vivas

$$OC := 0\ \frac{kN}{m}$$ Otras cargas

$$Def := \frac{5 \cdot (Dead + Cl + OC) \cdot lu^4}{384 \cdot It \cdot E0.05}$$ (ver 4.4.3.1)

$$Def = 0.506\ mm$$

$$Dadm := \frac{lu}{360}$$ (ver 4.4.3.1)

$$Dadm = 3.111\ mm$$

Si $Def \leq Dadm$ → cumple con el chequeo de deflexiones

CHEQUEO A FLEXIÓN

$$fb := \frac{Mf}{S}$$

(ver 4.4.3.3)

$$fb = 2.958\ MPa$$

F'b= Esf. admisible de Flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b = 15.458\ MPa$$

Si $fb \leq F'b$ → cumple con el chequeo a flexión

CHEQUEO A CORTE

$$fv := \frac{2 \cdot V}{3 \cdot At} \cdot \left(\frac{3\ (D)^2 - (4 \cdot D \cdot t) + 4 \cdot (t)^2}{(D^2) - (2 \cdot D \cdot t) + 2 \cdot (t)^2} \right)$$ (ver 4.4.3.2)

$$fv = 0.19\ MPa$$

$F'v$= Esf. admisible de Corte afectado por los coeficientes de modificación

$$F'v = 0.929\ MPa$$

Si $fv \leq F'v$ $\rightarrow$ cumple con el chequeo a corte

Elemento: Cordón superior cercha Pórtico 2, eje B

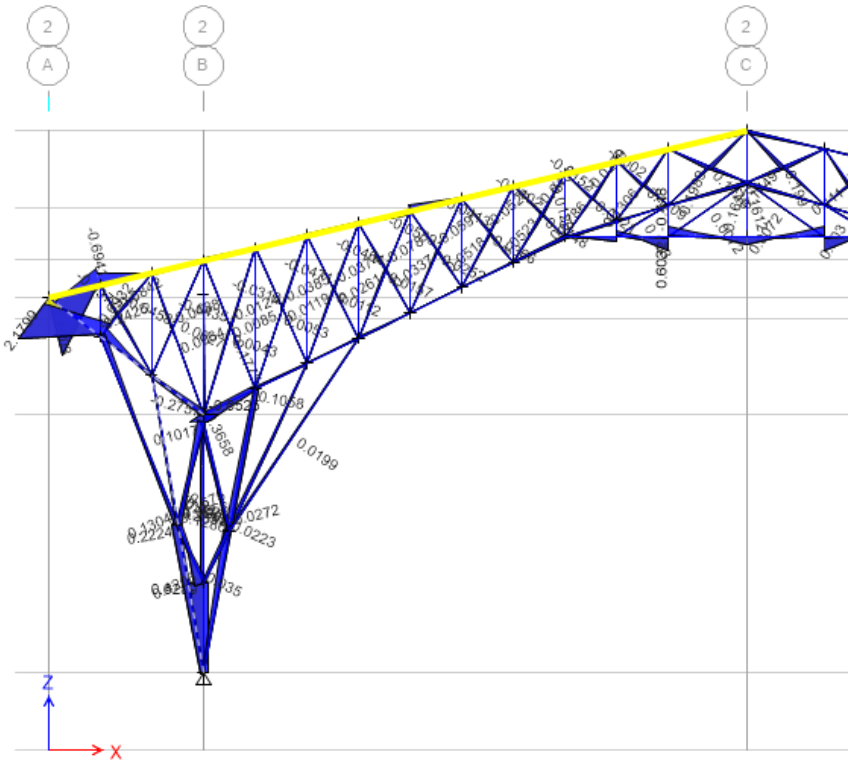


Ilustración 72: Cordón superior con la mayor solicitación
Fuente: El autor

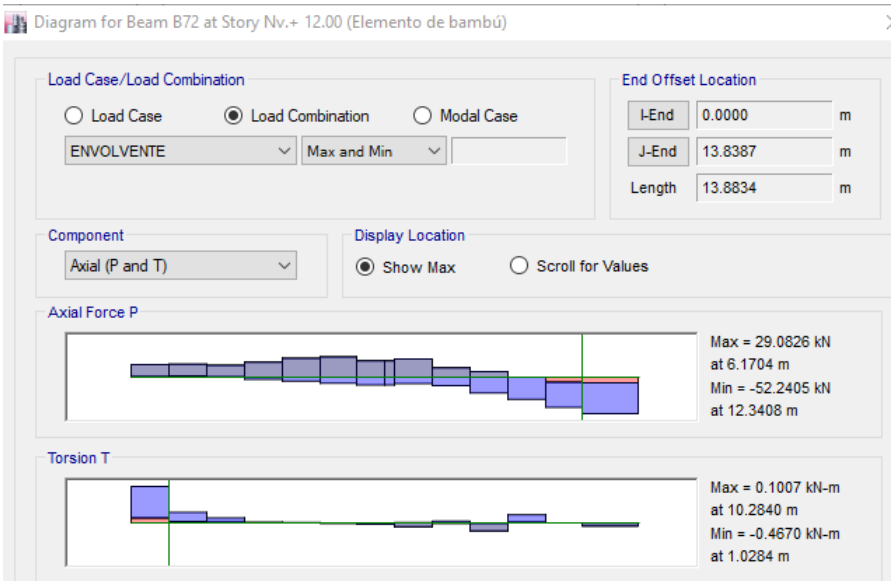


Ilustración 73:Solicitación a compresión y tensión (ETABS)
Fuente: El Autor

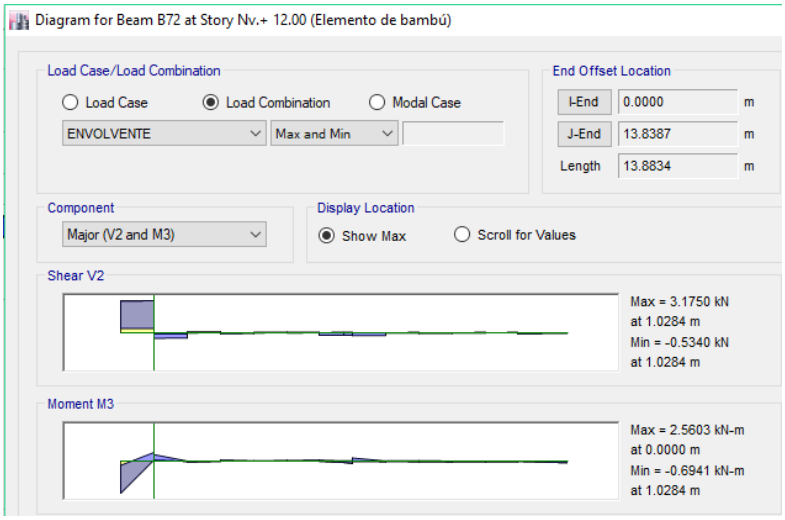


Ilustración 74: Momento de Flexión y corte (ETABS)
Fuente: El autor

Tipo de solicitación a la que está sometida el elemento: Flexo – Compresión

Longitud del elemento: 13.85m

Longitud diseño *le*

$$le := 1\ m$$

Solicitación a compresión

$$N := 52.24\ kN$$

Solicitación a tensión

$$T := 29.08\ kN$$

Solicitación a flexión

$$Mf := 2.56\ kN \cdot m$$

Solicitación a corte

$$V := 3.175\ kN$$

Sección del elemento

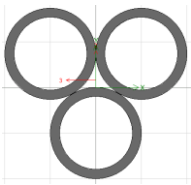


Ilustración 75: Sección transversal del elemento
Fuente: El autor

$Nc := 3$ número de culmos

$D := 100\ mm$ diámetro externo

$d := 80\ mm$ diámetro interno

$t := 10\ mm$ espesor

$lu := le$ longitud no soportada lateralemente

$k := 1$ coeficiente longitud efectiva (ver tebla 35)

$Le := k \cdot lu$ longitud efectiva

$Le = 1\ m$

$Iex := \frac{\pi \cdot D^4}{64}$ inercia exterior

$Iex = \left(4.909 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$

$Iint := \frac{\pi \cdot d^4}{64}$ inercia interior

$Iint = \left(2.011 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$

$I := Iex - Iint$ inercia del bambú un solo culmo

$I = 289.812\ cm^4$

$It := I \cdot Nc$ [17] inercia total

$It := 2296.2\ cm^4$ (I33)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 67

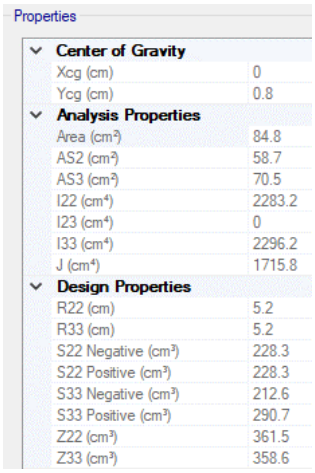


Ilustración 76: Propiedades de la sección

Fuente: El autor

$An := \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right)$ Área neta de la sección

$An = 28.274\ cm^2$

$At := An \cdot Nc$ Área total de la sección

$r := \sqrt[2]{\frac{I}{An}}$ radio de giro (ver 4.4.4.2.2)

$r = 3.202\ cm$

$rt := \sqrt[2]{\frac{It}{At}}$ radio de giro total de la sección (ver 4.4.4.2.2)

$rt = 5.203\ cm$ (R22)

$S := \frac{\pi \cdot \left(D^4 - (D - 2\ t)^4\right)}{32\ D}$ Módulo de sección (ver 4.4.3.3)

$S := 290.7\ cm^3$ (S33)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 67

PROPIEDADES DE LA GUADUA

$E0.5 := 12000\ MPa$ módulo de elasticidad promedio

$E0.05 := 7500\ MPa$ módulo de elasticidad percentil

$Emin := 4000\ MPa$ módulo de elasticidad mínimo

$Fb := 15\ MPa$ Esf. admisible a flexión

$Ft := 18\ MPa$ Esf. admisible a tracción

$Fc := 14\ MPa$ Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fv := 1.2\ MPa$ Esf. admisible a corte

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Por duración de carga CD

$CD := 0.9$ (ver Tabla 28)

Por contenido de humedad Cm

$$Cm := 1$$ (ver Tabla 29)

Por temperatura Ct

$$Ct := 1$$ (ver Tabla 30)

Por estabilidad lateral de vigas CL

$$CL := 1$$ (ver 4.4.3.3)

Por forma CF

D > 34mm, entonces:

$$CF := \left(\frac{340}{D}\right)^{\frac{1}{9}}$$ (ver 4.4.3.3)

$$CF := 1.145$$

Por cortante Cc

$$rel := \frac{Le}{D}$$

$$rel = 11.2$$

le/D > 15mm, entonces:

$$Cc := 0.86$$ (ver 4.4.2.2)

Por estabilidad de columnas Cp

$$C := 0.85$$ (ver tabla 36)

$$FCE := \frac{(0.822 \cdot Emin)}{\lambda}$$ (ver Tabla 36)

$$FCE = 187.071\ MPa$$

$$Fc'c := Fc \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$

$$Fc'c = 12.6\ MPa$$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C}\right)^2 - \frac{\left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{C}}$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$Cp = 0.989$$

PROPIEDADES DEL MATERIAL AFECTADOS POR LOS COEFICIENTES

Esf. admisible de flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b := Fb \cdot CF \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.3.3)

$$F'b = 15.458\ MPa$$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$$F't := Ft \cdot CL \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.4.1)

$$F't = 16.2\ MPa$$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c := Fc'c \cdot Cp$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$F'c = 12.466\ MPa$$

Esf. admisible a corte afectado por los coeficientes de modificación

$$F'v := Fv \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct \cdot Cc$$ (ver 4.4.3.2)

$$F'v = 0.929\ MPa$$

ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN

REVISIÓN POR TENSION AXIAL

Esfuerzo actuante de Tensión

$$ft := \frac{T}{At}$$

$$ft = 3.428\ MPa$$

F't= Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$$F't = 16.2\ MPa$$

Si $ft \leq F't$ → cumple con el chequeo a tensión

Elementos solicitados a flexión con tensión axial

$$che := \frac{ft}{F't} + \frac{fb}{F'b} \leq 1.0$$ (ver 4.4.5.1)

$$che = 0.781$$

Si $che \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a corte

DISEÑO DE ELEMENTOS A FLEXIÓN

CHEQUEO DE DEFLEXIONES

CARGA DISTRIBUIDA

$Dead := 0.75\ \frac{kN}{m}$ Cargas muertas

$Cl := 3.5\ \frac{kN}{m}$ Cargas vivas

$OC := 0\ \frac{kN}{m}$ Otras cargas

$Def := \frac{5 \cdot (Dead + Cl + OC) \cdot lu^4}{384 \cdot It \cdot E0.05}$ (ver 4.4.3.1)

$Def = 0.321\ mm$

$Dadm := \frac{lu}{360}$

$Dadm = 2.778\ mm$

Si $Def \leq Dadm$ → cumple con el chequeo de deflexiones

CHEQUEO A FLEXIÓN

$fb := \frac{Mf}{S}$ (ver 4.4.3.3)

$fb = 8.806\ MPa$

F'b= Esf. admisible de Flexión afectado por los coeficientes de modificación

$F'b = 15.458\ MPa$

Si $fb \leq F'b$ → cumple con el chequeo a flexión

CHEQUEO A CORTE

$$fv := \frac{2 \cdot V}{3 \cdot At} \cdot \left(\frac{3\,(D)^2 - (4 \cdot D \cdot t) + 4 \cdot (t)^2}{(D^2) - (2 \cdot D \cdot t) + 2 \cdot (t)^2} \right)$$ (ver 4.4.3.2)

$fv = 0.803\ MPa$

$F'v$= Esf. admisible de Corte afectado por los coeficientes de modificación

$F'v = 1.08\ MPa$

Si $fv \leq F'v$ → cumple con el chequeo a corte

Elemento: Cordón inferior exterior de la cercha Pórtico 2, eje B

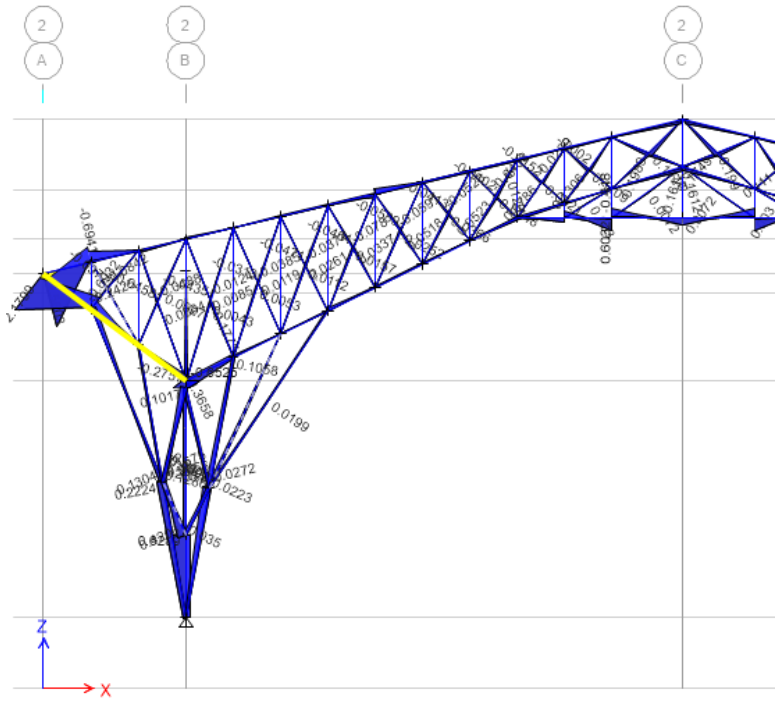


Ilustración 77: Cordón inferior exterior de la cercha con la mayor solicitación

Fuente: El autor

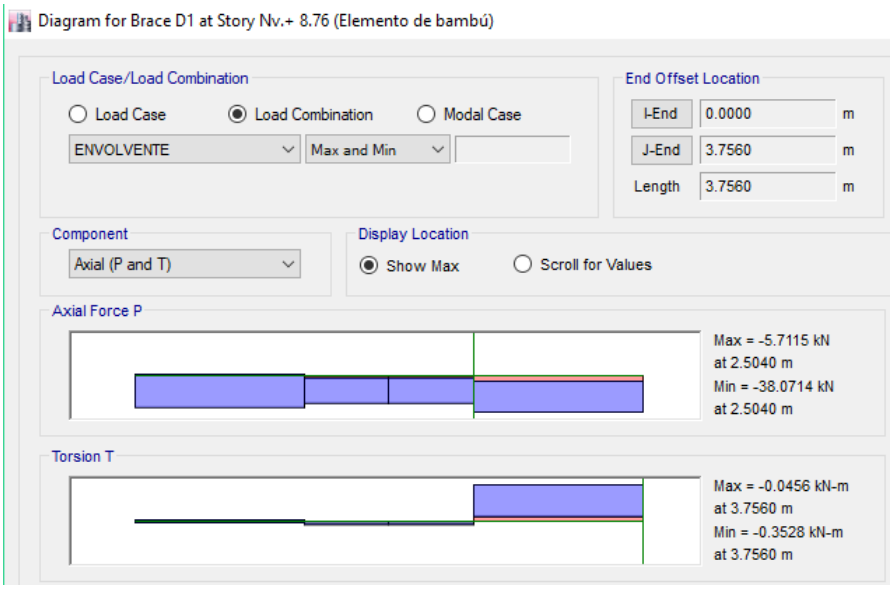


Ilustración 78: Solicitación a compresión y tensión (ETABS)

Fuente: El Autor

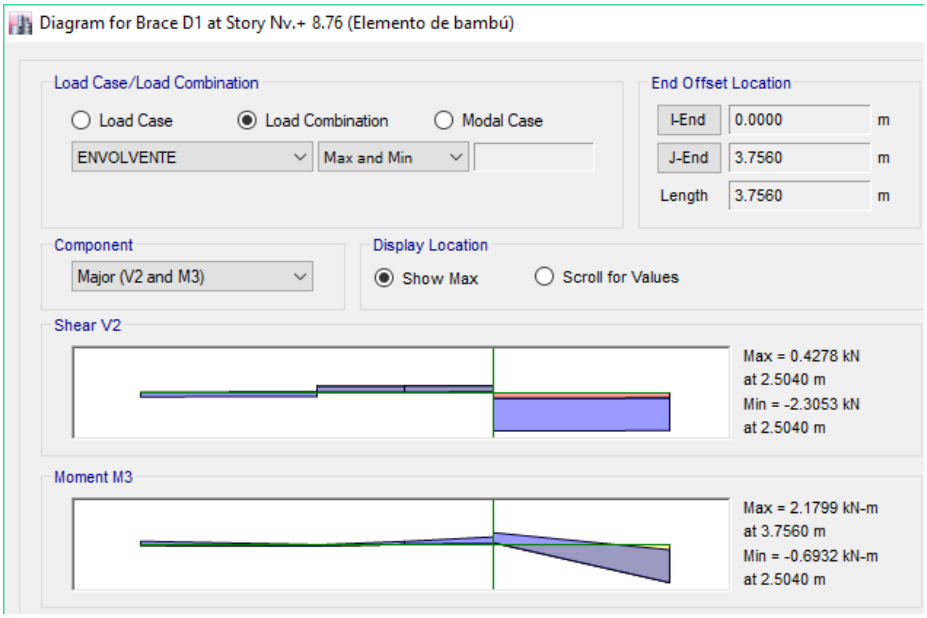


Ilustración 79: Momento de Flexión y corte (ETABS)

Fuente: El autor

Tipo de solicitación a la que está sometida el elemento: Flexo – Compresión

Longitud del elemento: 3.75m

Longitud diseño *le*

$$le := 1.25\ m$$

Solicitación a compresión

$$N := 38.07\ kN$$

Solicitación a tensión

$$T := 0\ kN$$

Solicitación a flexión

$$Mf := 2.18\ kN \cdot m$$

Solicitación a corte

$$V := 2.31\ kN$$

Sección del elemento

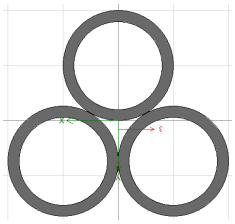


Ilustración 80: Sección transversal del elemento
Fuente: El autor

$Nc := 3$ número de culmos

$D := 100\ mm$ diámetro externo

$d := 80\ mm$ diámetro interno

$t := 10\ mm$ espesor

$lu := le$ longitud no soportada lateralemente

$k := 1$ coeficiente longitud efectiva (ver tebla 35)

$Le := k \cdot lu$ longitud efectiva (ver 4.4.4.2.1)

$Le = 1.25\ m$

$$Iex := \frac{\pi \cdot D^4}{64}$$ [17] inercia exterior

$Iex = (4.909 \cdot 10^{-6})\ m^4$

$$Iint := \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$ [17] inercia interior

$Iint = (2.011 \cdot 10^{-6})\ m^4$

$$I := Iex - Iint$$

[17] inercia del bambú un solo culmo

$$I = 289.812\ cm^4$$

$$It := I \cdot Nc$$

[17] inercia total

$$It := 2296.2\ cm^4$$

(I33)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 72

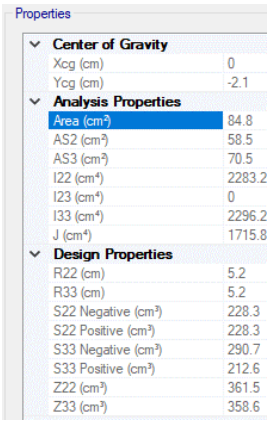


Ilustración 81: Propiedades de la sección
Fuente: El autor

$$An := \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right)$$

[17] Área neta de la sección

$$An = 28.274\ cm^2$$

$$At := An \cdot Nc$$

[17] Área total de la sección

$$At = 56.549\ cm^2$$

$$r := \sqrt[2]{\frac{I}{An}}$$

radio de giro (ver 4.4.4.2.2)

$$r = 3.202\ cm$$

$rt := \sqrt[2]{\frac{It}{At}}$ radio de giro total de la sección (ver 4.4.4.2.2)

$rt = 5.203\ cm$ (R33)

$S := \frac{\pi \cdot \left(D^4 - (D - 2\ t)^4\right)}{32\ D}$ Módulo de sección (ver 4.4.3.3)

$S := 290.7\ cm^3$ (S33)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 72

$\lambda := \frac{Le}{rt}$ esbeltez (ver 4.4.4.2.2)

$\lambda = 24.025$

PROPIEDADES DE LA GUADUA

$E0.5 := 12000\ MPa$ módulo de elasticidad promedio

$E0.05 := 7500\ MPa$ módulo de elasticidad percentil

$Emin := 4000\ MPa$ módulo de elasticidad mínimo

$Fb := 15\ MPa$ Esf. admisible a flexión

$Ft := 18\ MPa$ Esf. admisible a tracción

$Fc := 14\ MPa$ Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fv := 1.2\ MPa$ Esf. admisible a corte

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Por duración de carga CD

$$CD := 0.9$$ (ver Tabla 28)

Por contenido de humedad Cm

$$Cm := 1$$ (ver Tabla 29)

Por temperatura Ct

$$Ct := 1$$ (ver Tabla 30)

Por estabilidad lateral de vigas CL

$$CL := 1$$ (ver 4.4.3.3)

Por forma CF

D > 34mm, entonces:

$$CF := \left(\frac{340}{D}\right)^{\frac{1}{9}}$$ (ver 4.4.3.3)

$$CF := 1.145$$

Por cortante Cc

$$rel := \frac{Le}{D}$$

$$rel = 12.5$$

le/D > 15mm, entonces:

$$Cc := 0.91$$ (ver 4.4.2.2)

Por estabilidad de columnas Cp

$C := 0.85$ (ver tabla 36)

$$FCE := \frac{(0.822 \cdot Emin)}{\lambda}$$ (ver Tabla 36)

$FCE = 136.858\ MPa$

$Fc'c := Fc \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$

$Fc'c = 12.6\ MPa$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C}\right)^2 - \frac{\left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{C}}$$ (ver 4.4.4.2.2)

$Cp = 0.985$

PROPIEDADES DEL MATERIAL AFECTADOS POR LOS COEFICIENTES

Esf. admisible de flexión afectado por los coeficientes de modificación

$F'b := Fb \cdot CF \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$ (ver 4.4.3.3)

$F'b = 15.458\ MPa$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$F't := Ft \cdot CL \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$ (ver 4.4.4.1)

$F't = 16.2\ MPa$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c := Fc'c \cdot Cp$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$F'c = 12.414\ MPa$$

Esf. admisible a corte afectado por los coeficientes de modificación

$$F'v := Fv \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct \cdot Cc$$ (ver 4.4.3.2)

$$F'v = 0.983\ MPa$$

ck **=** el valor del límite entre las columnas intermedias y las columnas largas

$$ck := 2.565 \cdot \sqrt{\frac{E0.05}{Fc}}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$ck = 59.368$$

Si λ < *30 →columna corta (ver tabla 37)*

REVISIÓN POR COMPRESIÓN AXIAL

COLUMNAS CORTAS

Esfuerzo a compresión paralela a la fibra actuante

$$fc := \frac{N}{At}$$

(ver 4.4.4.2.3)

$$fc = 4.488\ MPa$$

F'c= Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c = 12.414\ MPa$$

Si $fc \leq F'c$ → cumple con el chequeo a compresión

ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN

REVISION POR FLEXOCOMPRESION

$Na := N$ fuerza de compresión actuante

$Ma := Mf$ Solicitación a Flexión

$ck = 59.368$

$fc := 4.488\ MPa$

Esfuerzo actuante de Flexión

$fb := \frac{Mf}{S}$ (ver 4.4.3.3)

$fb = 7.499\ MPa$

$Ncr := \frac{\pi^2 \cdot E0.05 \cdot It}{Le^2}$ Carga crítica de Euler (ver 4.4.4.2)

$Ncr = 1087.804\ kN$

$km := \frac{1}{1 - 1.5 \cdot \frac{Na}{Ncr}}$ Coeficiente de magnificación de momentos (ver 4.4.4.2)

$km = 1.055$

- Los elementos de la estructura que estén sometidos a fuerzas de flexión y compresión debe cumplir con la siguiente fórmula de chequeo:

$$fc := 4.488\ MPa$$

$$re := \frac{fc}{F'c} + \frac{km \cdot fb}{F'b} \leq 1.0 \qquad \text{(ver 4.4.5.2)}$$

$$re = 0.874$$

Si $re \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a flexo-compresión

CHEQUEO A FLEXIÓN

$$fb := \frac{Mf}{S} \qquad \text{(ver 4.4.3.3)}$$

$$fb = 7.499\ MPa$$

$F'b$= Esf. admisible de Flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b = 15.458\ MPa$$

Si $fb \leq F'b$ → cumple con el chequeo a flexión

CHEQUEO A CORTE

$$fv := \frac{2 \cdot V}{3 \cdot At} \cdot \left(\frac{3\,(D)^2 - (4 \cdot D \cdot t) + 4 \cdot (t)^2}{(D^2) - (2 \cdot D \cdot t) + 2 \cdot (t)^2} \right) \qquad \text{(ver 4.4.3.2)}$$

$$fv = 0.585\ MPa$$

$F'v$= Esf. admisible de Corte afectado por los coeficientes de modificación

$$F'v = 0.983\ MPa$$

Si $fv \leq F'v$ → cumple con el chequeo a corte

4.4.6.3 DISEÑO DE CORDÓN CENTRAL DE LA CERCHA

Elemento: Cordón central cercha Pórtico 2, eje B

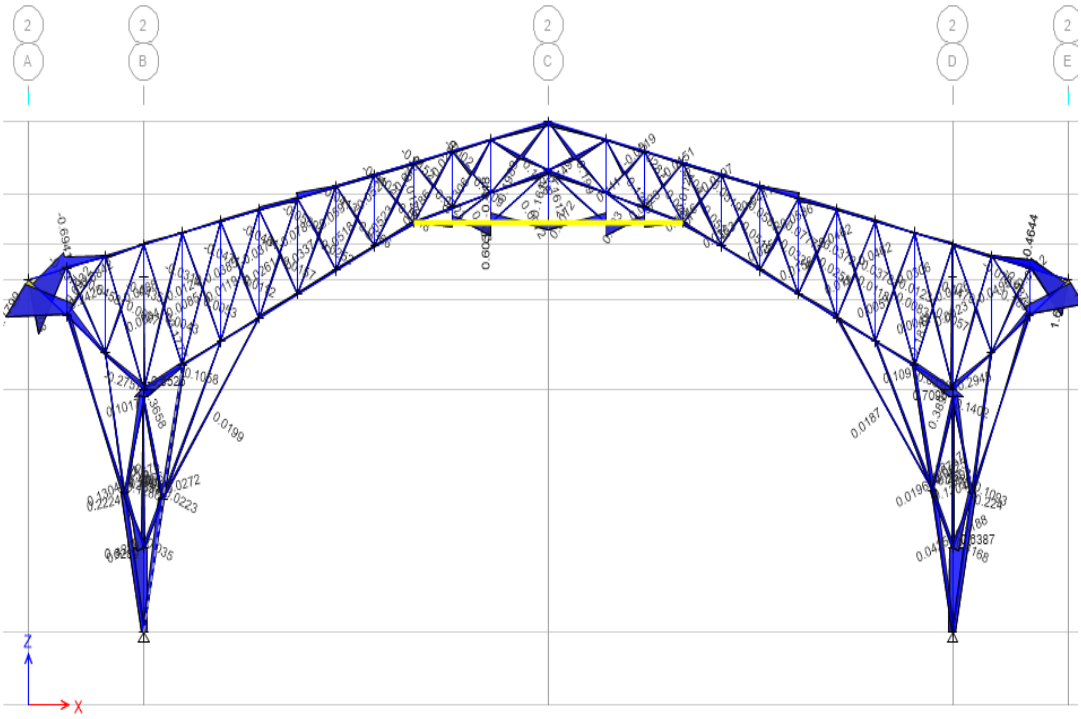


Ilustración 82: Cordón Central con la mayor solicitación

Fuente: El autor

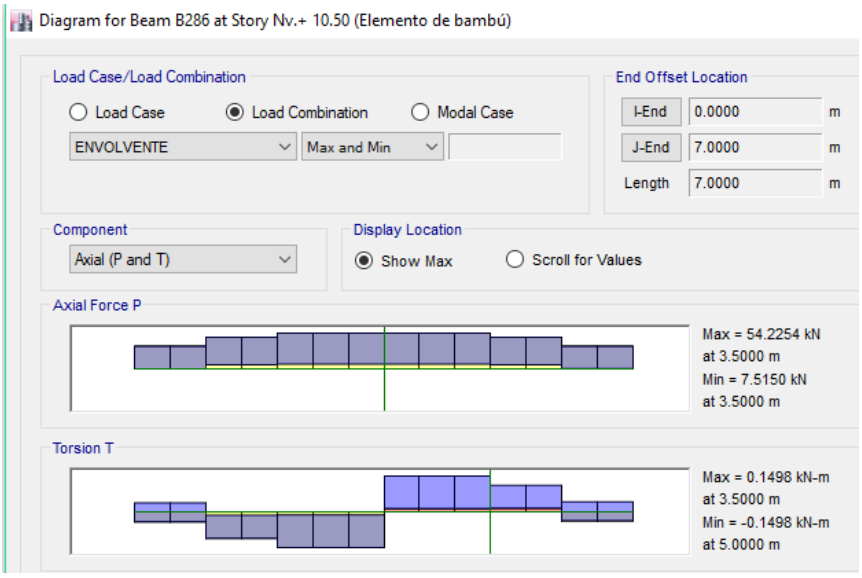


Ilustración 83: Solicitación a compresión y tensión (ETABS)

Fuente: El Autor



Ilustración 84: Momento de Flexión y corte (ETABS)

Fuente: El autor

Tipo de solicitación a la que está sometida el elemento: Flexo – Compresión

Longitud del elemento: 7.00m

Longitud diseño *le*

$le := 1\ m$

Solicitación a compresión

$N := 0\ kN$

Solicitación a tensión

$T := 54.22\ kN$

Solicitación a flexión

$Mf := 5.91\ kN \cdot m$

Solicitación a corte

$V := 4.81\ kN$

Sección del elemento

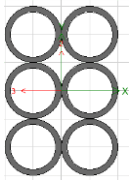


Ilustración 85: Sección transversal del elemento

Fuente: El autor

$Nc := 6$ número de culmos

$D := 100\ mm$ diámetro externo

$d := 80\ mm$ diámetro interno

$t := 10\ mm$ espesor

$lu := le$ longitud no soportada lateralemente

$k := 1$ coeficiente longitud efectiva (ver tebla 35)

$Le := k \cdot lu$ longitud efectiva

$Le = 1\ m$

$$Iex := \frac{\pi \cdot D^4}{64}$$ inercia exterior

$Iex = \left(4.909 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$

$$Iint := \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$ inercia interior

$Iint = (2.011 \cdot 10^{-6})\ m^4$

$I := Iex - Iint$ inercia del bambú un solo culmo

$I = 289.812\ cm^4$

$It := I \cdot Nc$ [17] inercia total

$It := 13048.6\ cm^4$ (I33)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 77

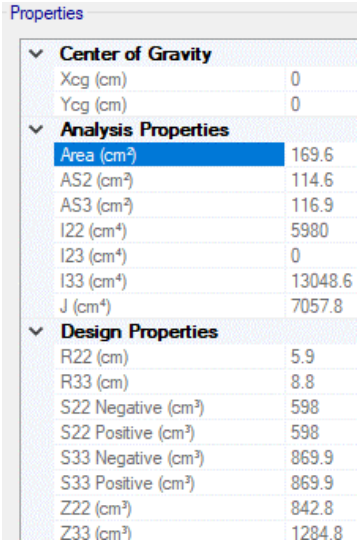


Ilustración 86: Propiedades de la sección
Fuente: El autor

$An := \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)$ Área neta de la sección

$An = 28.274\ cm^2$

$At := An \cdot Nc$ Área total de la sección

$At = 169.646\ cm^2$

$$r := \sqrt[2]{\frac{I}{An}}$$ radio de giro (ver 4.4.4.2.2)

$r = 3.202\ cm$

$$rt := \sqrt[2]{\frac{It}{At}}$$ radio de giro total de la sección (ver 4.4.4.2.2)

$rt = 8.77\ cm$ (R33)

$$S := \frac{\pi \cdot \left(D^4 - (D - 2\ t)^4\right)}{32\ D}$$ Módulo de sección (ver 4.4.3.3)

$S := 869.9\ cm^3$ (S33)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 77

PROPIEDADES DE LA GUADUA

$E0.5 := 12000\ MPa$ módulo de elasticidad promedio

$E0.05 := 7500\ MPa$ módulo de elasticidad percentil

$Emin := 4000\ MPa$ módulo de elasticidad mínimo

$Fb := 15\ MPa$ Esf. admisible a flexión

$Ft := 18\ MPa$ Esf. admisible a tracción

$Fc := 14\ MPa$ Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fv := 1.2\ MPa$ Esf. admisible a corte

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Por duración de carga CD

$$CD := 0.9$$ (ver Tabla 28)

Por contenido de humedad Cm

$$Cm := 1$$ (ver Tabla 29)

Por temperatura Ct

$$Ct := 1$$ (ver Tabla 30)

Por estabilidad lateral de vigas CL

$$CL := 1$$ (ver 4.4.3.3)

Por forma CF

D > 34mm, entonces:

$$CF := \left(\frac{340}{D}\right)^{\frac{1}{9}}$$ (ver 4.4.3.3)

$$CF := 1.145$$

Por cortante Cc

$$rel := \frac{Le}{D}$$

$$rel = 11.2$$

le/D > 15mm, entonces:

$$Cc := 0.86$$ (ver 4.4.2.2)

Por estabilidad de columnas Cp

$C := 0.85$ (ver tabla 36)

$$FCE := \frac{(0.822 \cdot Emin)}{\lambda}$$ (ver Tabla 36)

$FCE = 187.071\ MPa$

$Fc'c := Fc \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$

$Fc'c = 12.6\ MPa$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C}\right)^2 - \frac{\left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{C}}$$ (ver 4.4.4.2.2)

$Cp = 0.989$

PROPIEDADES DEL MATERIAL AFECTADOS POR LOS COEFICIENTES

Esf. admisible de flexión afectado por los coeficientes de modificación

$F'b := Fb \cdot CF \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$ (ver 4.4.3.3)

$F'b = 15.458\ MPa$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$F't := Ft \cdot CL \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$ (ver 4.4.4.1)

$F't = 16.2\ MPa$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c := Fc'c \cdot Cp$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$F'c = 12.466\ MPa$$

Esf. admisible a corte afectado por los coeficientes de modificación

$$F'v := Fv \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct \cdot Cc$$ (ver 4.4.3.2)

$$F'v = 0.929\ MPa$$

ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN

REVISIÓN POR TENSION AXIAL

Esfuerzo actuante de Tensión

$$ft := \frac{T}{At}$$

$$ft = 3.196\ MPa$$

F't= Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$$F't = 16.2\ MPa$$

Si $ft \leq F't$ → cumple con el chequeo a tensión

Elementos solicitados a flexión con tensión axial

$$che := \frac{ft}{F't} + \frac{fb}{F'b} \leq 1.0$$ (ver 4.4.5.1)

$$che = 0.637$$

Si $re \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a corte

DISEÑO DE ELEMENTOS A FLEXIÓN

CHEQUEO DE DEFLEXIONES

CARGA DISTRIBUIDA

$Dead := 0.75\ \frac{kN}{m}$ Cargas muertas

$Cl := 3.5\ \frac{kN}{m}$ Cargas vivas

$OC := 0\ \frac{kN}{m}$ Otras cargas

$Def := \frac{5 \cdot (Dead + Cl + OC) \cdot lu^4}{384 \cdot It \cdot E0.05}$ (ver 4.4.3.1)

$Def = 0.057\ mm$

$Dadm := \frac{lu}{360}$

$Dadm = 2.778\ mm$

Si $Def \leq Dadm$ → cumple con el chequeo de deflexiones

CHEQUEO A FLEXIÓN

$fb := \frac{Mf}{S}$ (ver 4.4.3.3)

$fb = 6.794\ MPa$

F'b= Esf. admisible de Flexión afectado por los coeficientes de modificación

$F'b = 15.458\ MPa$

Si $fb \leq F'b$ → cumple con el chequeo a flexión

CHEQUEO A CORTE

$$fv := \frac{2 \cdot V}{3 \cdot At} \cdot \left(\frac{3\,(D)^2 - (4 \cdot D \cdot t) + 4 \cdot (t)^2}{(D^2) - (2 \cdot D \cdot t) + 2 \cdot (t)^2} \right)$$ (ver 4.4.3.2)

$fv = 0.609\ MPa$

$F'v$= Esf. admisible de Corte afectado por los coeficientes de modificación

$F'v = 1.08\ MPa$

Si $fv \leq F'v$ → cumple con el chequeo a corte

4.4.6.4 DISEÑO DE RIOSTRAS DIAGONALES INTERIORES Y EXTERIORES

Elemento: Riostra 1 interior Pórtico 2, eje B

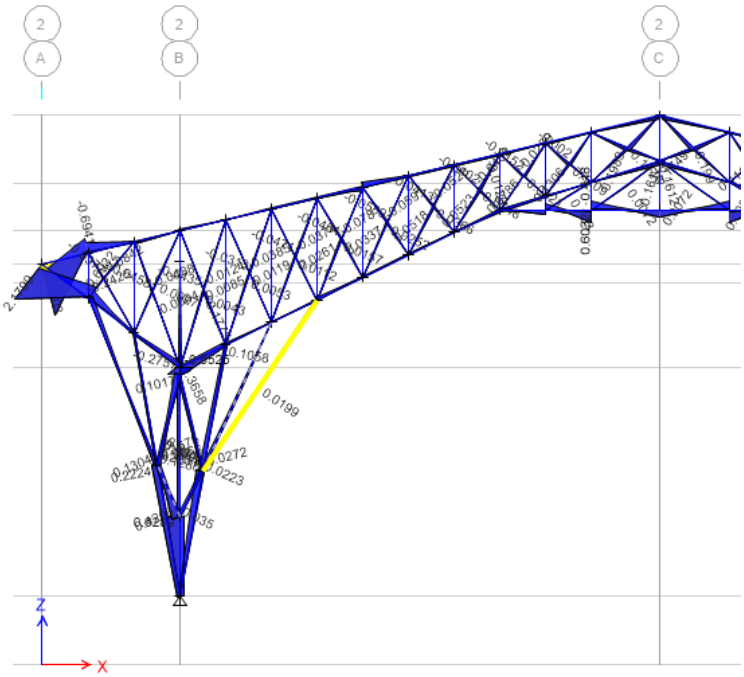


Ilustración 87: Columna riostra interior con la mayor solicitación

Fuente: El autor

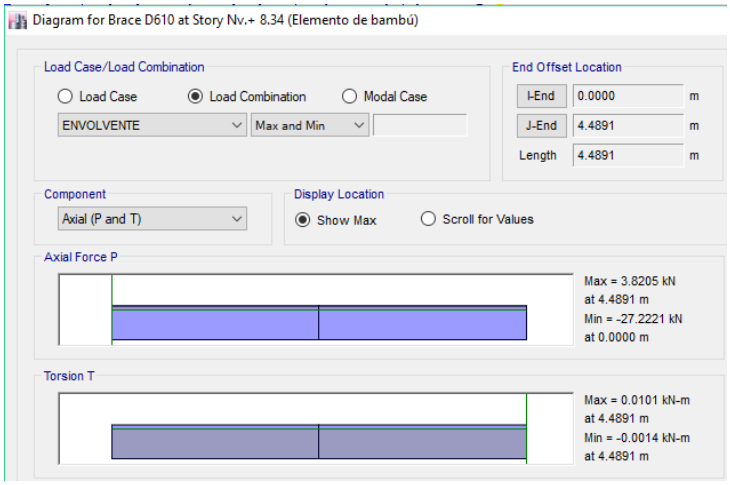


Ilustración 88: Solicitación a compresión y tensión (ETABS)

Fuente: El Autor

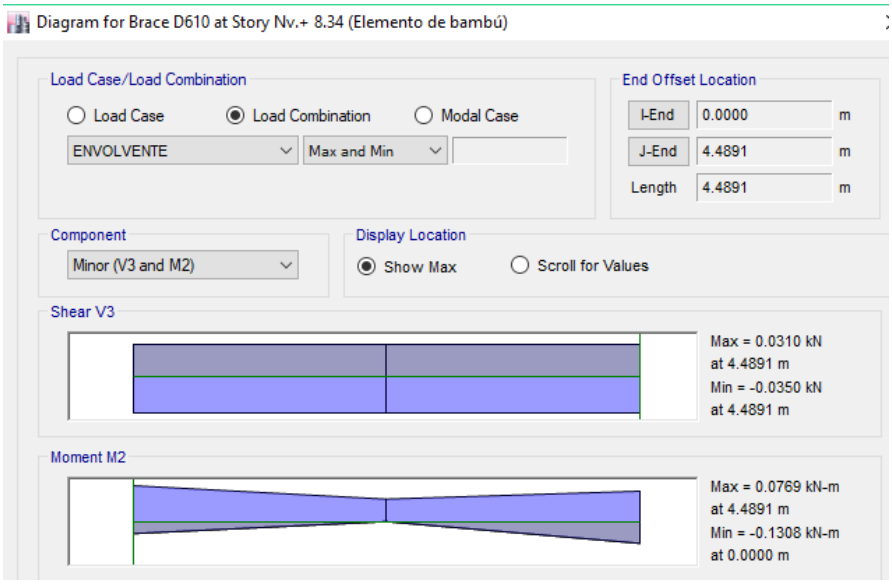


Ilustración 89: Momento de Flexión y corte (ETABS)

Fuente: El autor

Tipo de solicitación a la que está sometida el elemento: Flexo – Compresión

Longitud del elemento: 4.50m

Longitud diseño *le*

$$le := 4.5\ m$$

Solicitación a compresión

$$N := 27.22\ kN$$

Solicitación a tensión

$$T := 3.82\ kN$$

Solicitación a flexión

$$Mf := 0.13\ kN \cdot m$$

Solicitación a corte

$$V := 0.035\ kN$$

Sección del elemento

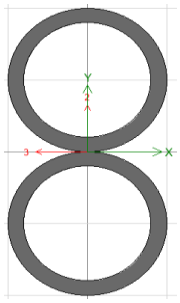


Ilustración 90: Sección transversal del elemento
Fuente: El autor

$Nc := 2$ número de culmos

$D := 100\ mm$ diámetro externo

$d := 80\ mm$ diámetro interno

$t := 10\ mm$ espesor

$lu := le$ longitud no soportada lateralemente

$k := 1$ coeficiente longitud efectiva (ver tebla 35)

$Le := k \cdot lu$ longitud efectiva (ver 4.4.4.2.1)

$Le = 4.5\ m$

$Iex := \frac{\pi \cdot D^4}{64}$ [17] inercia exterior

$Iex = \left(4.909 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$

$Iint := \frac{\pi \cdot d^4}{64}$ [17] inercia interior

$$Iint = \left(2.011 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$$

$$I := Iex - Iint$$

[17] inercia del bambú un solo culmo

$$I = 289.812\ cm^4$$

$$It := I \cdot Nc$$

[17] inercia total

$$It := 1993.2\ cm^4$$

(I22)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 82

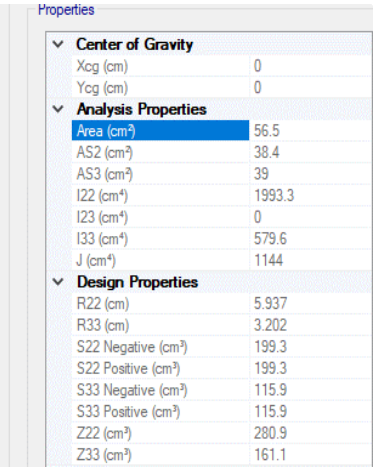


Ilustración 91: Propiedades de la sección
Fuente: El autor

$$An := \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)$$

[17] Área neta de la sección

$$An = 28.274\ cm^2$$

$$At := An \cdot Nc$$

[17] Área total de la sección

$$At = 56.549\ cm^2$$

$$r := \sqrt[2]{\frac{I}{An}}$$ radio de giro (ver 4.4.4.2.2)

$$r = 3.202\ cm$$

$$rt := \sqrt[2]{\frac{It}{At}}$$ radio de giro total de la sección (ver 4.4.4.2.2)

$$rt = 5.937\ cm$$ (R22)

$$S := \frac{\pi \cdot \left(D^4 - (D - 2\ t)^4\right)}{32\ D}$$ Módulo de sección (ver 4.4.3.3)

$$S := 199.3\ cm^3$$ (S22)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 82

$$\lambda := \frac{Le}{rt}$$ esbeltez (ver 4.4.4.2.2)

$$\lambda = 75.794$$

PROPIEDADES DE LA GUADUA

$$E0.5 := 12000\ MPa$$ módulo de elasticidad promedio

$$E0.05 := 7500\ MPa$$ módulo de elasticidad percentil

$$Emin := 4000\ MPa$$ módulo de elasticidad mínimo

$Fb := 15\ MPa$ Esf. admisible a flexión

$Ft := 18\ MPa$ Esf. admisible a tracción

$Fc := 14\ MPa$ Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fv := 1.2\ MPa$ Esf. admisible a corte

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Por duración de carga CD

$CD := 0.9$ (ver Tabla 28)

Por contenido de humedad Cm

$Cm := 1$ (ver Tabla 29)

Por temperatura Ct

$Ct := 1$ (ver Tabla 30)

Por estabilidad lateral de vigas CL

$CL := 1$ (ver 4.4.3.3)

Por forma CF

D > 34mm, entonces:

$$CF := \left(\frac{340}{D}\right)^{\frac{1}{9}}$$ (ver 4.4.3.3)

$CF := 1.145$

Por cortante Cc

$$rel := \frac{Le}{D}$$

$$rel = 29$$

le/D > 15mm, entonces:

$$Cc := 1$$ (ver 4.4.2.2)

Por estabilidad de columnas Cp

$$C := 0.85$$ (ver tabla 36)

$$FCE := \frac{(0.822 \cdot Emin)}{\lambda}$$ (ver Tabla 36)

$$FCE = 43.38\ MPa$$

$$Fc'c := Fc \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$

$$Fc'c = 12.6\ MPa$$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C}\right)^2 - \frac{\left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{C}}$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$Cp = 0.946$$

PROPIEDADES DEL MATERIAL AFECTADOS POR LOS COEFICIENTES

Esf. admisible de flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b := Fb \cdot CF \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.3.3)

$F'b = 15.458\ MPa$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$F't := Ft \cdot CL \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$ (ver 4.4.4.1)

$F't = 16.2\ MPa$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$F'c := Fc'c \cdot Cp$ (ver 4.4.4.2.2)

$F'c = 11.922\ MPa$

Esf. admisible a corte afectado por los coeficientes de modificación

$F'v := Fv \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct \cdot Cc$ (ver 4.4.3.2)

$F'v = 1.08\ MPa$

ck = el valor del límite entre las columnas intermedias y las columnas largas

$ck := 2.565 \cdot \sqrt{\frac{E0.05}{Fc}}$ (ver 4.4.4.2.3)

$ck = 59.368$

Si *ck*< λ < *150 →columna larga (ver tabla 37)*

REVISIÓN POR COMPRESIÓN AXIAL

COLUMNAS LARGAS

Esfuerzo a compresión paralela a la fibra actuante

$$fc := 3.3 \cdot \frac{E0.05}{\lambda^2}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$fc = 4.308\ MPa$$

F'c= Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c = 11.922\ MPa$$

Si $fc \leq F'c$ → cumple con el chequeo a compresión

ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN

REVISION POR FLEXOCOMPRESION

$Na := N$ fuerza de compresión actuante

$Ma := Mf$ Solicitación a Flexión

$ck = 59.368$

$fc = 4.308\ MPa$

Esfuerzo actuante de Flexión

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$$fb = 0.652\ MPa$$

$$Ncr := \frac{\pi^2 \cdot E0.05 \cdot It}{Le^2}$$ Carga crítica de Euler (ver 4.4.4.2)

$$Ncr = 72.863\ kN$$

$$km := \frac{1}{1 - 1.5 \cdot \frac{Na}{Ncr}}$$

Coeficiente de magnificación de momentos (ver 4.4.4.2)

$$km = 2.275$$

- Los elementos de la estructura que estén sometidos a fuerzas de flexión y compresión debe cumplir con la siguiente fórmula de chequeo:

Esfuerzo actuante de compresión paralelo a la fibra

$$fc = 4.308\ MPa$$

$$re := \frac{fc}{F'c} + \frac{km \cdot fb}{F'b} \leq 1.0$$

(ver 4.4.5.2)

$$re = 0.457$$

Si $re \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a flexo-compresión

REVISIÓN POR TENSION AXIAL

Esfuerzo actuante de Tensión

$$ft := \frac{T}{At}$$

$$ft = 0.676\ MPa$$

$$F't = 16.2\ MPa$$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

Si $ft \leq F't$ → cumple con el chequeo a tensión

Elementos solicitados a flexión con tensión axial

$$che := \frac{ft}{F't} + \frac{fb}{F'b} \leq 1.0$$ (ver 4.4.5.1)

$che = 0.084$

Si $che \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a corte

CHEQUEO A FLEXIÓN

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$fb = 0.652\ MPa$

Esf. admisible de Flexión afectado por los coeficientes de modificación

$F'b = 15.458\ MPa$

Si $fb \leq F'b$ → cumple con el chequeo a flexión

CHEQUEO A CORTE

$$fv := \frac{2 \cdot V}{3 \cdot At} \cdot \left(\frac{3\,(D)^2 - (4 \cdot D \cdot t) + 4 \cdot (t)^2}{(D^2) - (2 \cdot D \cdot t) + 2 \cdot (t)^2} \right)$$ (ver 4.4.3.2)

$fv = 0.013\ MPa$

$F'v$= Esf. admisible de Corte afectado por los coeficientes de modificación

$F'v = 1.08\ MPa$

Si $fv \leq F'v$ → cumple con el chequeo a corte

Elemento: Columna riostra exterior Pórtico 2, eje B

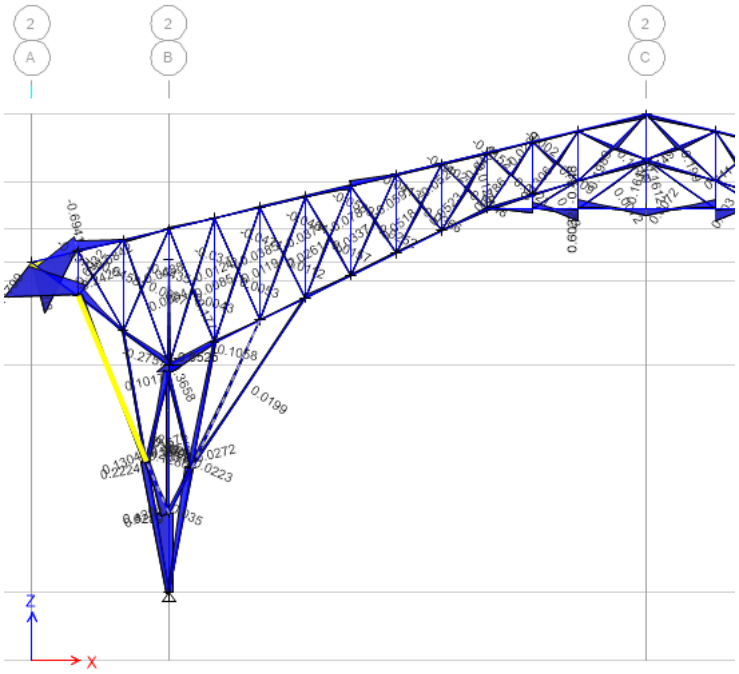


Ilustración 92: Columna riostra exterior con la mayor solicitación

Fuente: El autor

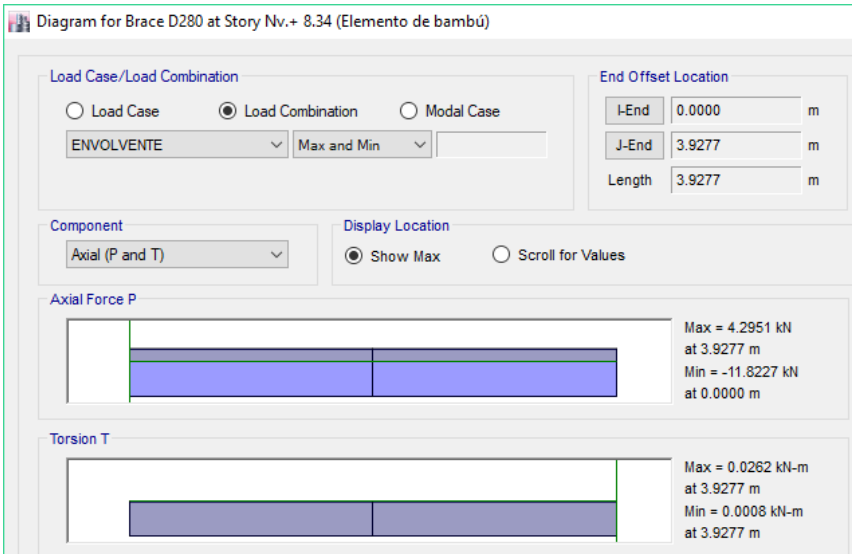


Ilustración 93: Solicitación a compresión y tensión (ETABS)

Fuente: El Autor

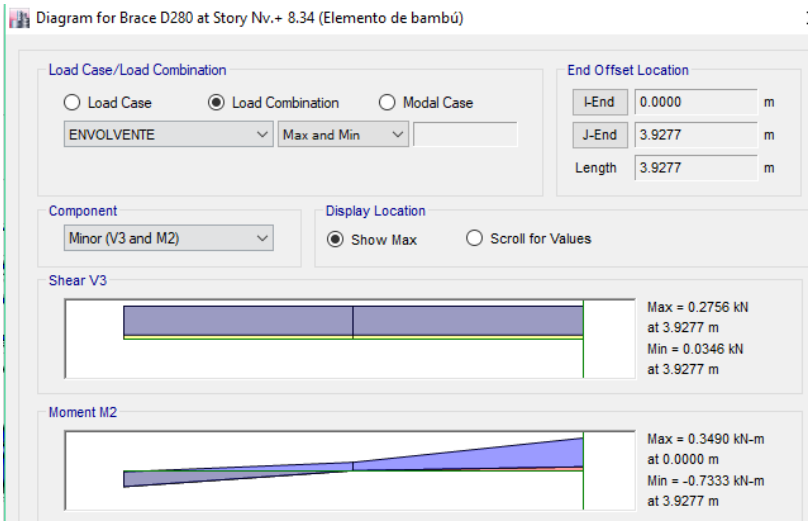


Ilustración 94: Momento de Flexión y corte (ETABS)

Fuente: El autor

Tipo de solicitación a la que está sometida el elemento: Flexo – Compresión

Longitud del elemento: 3.95m

Longitud diseño *le*

$$le := 3.95\ m$$

Solicitación a compresión

$$N := 11.82\ kN$$

Solicitación a tensión

$$T := 4.30\ kN$$

Solicitación a flexión

$$Mf := 0.73\ kN \cdot m$$

Solicitación a corte

$$V := 0.28\ kN$$

Sección del elemento

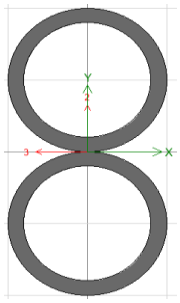


Ilustración 95: Sección transversal del elemento
Fuente: El autor

$Nc := 2$ número de culmos

$D := 100\ mm$ diámetro externo

$d := 80\ mm$ diámetro interno

$t := 10\ mm$ espesor

$lu := le$ longitud no soportada lateralemente

$k := 1$ coeficiente longitud efectiva (ver tebla 35)

$Le := k \cdot lu$ longitud efectiva (ver 4.4.4.2.1)

$Le = 3.95\ m$

$Iex := \frac{\pi \cdot D^4}{64}$ [17] inercia exterior

$Iex = \left(4.909 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$

$Iint := \frac{\pi \cdot d^4}{64}$ [17] inercia interior

$$Iint = \left(2.011 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$$

$$I := Iex - Iint$$

[17] inercia del bambú un solo culmo

$$I = 289.812\ cm^4$$

$$It := I \cdot Nc$$

[17] inercia total

$$It := 1993.2\ cm^4$$

(I22)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 87

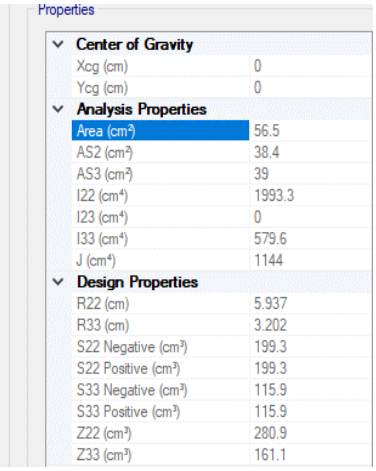


Ilustración 96: Propiedades de la sección
Fuente: El autor

$$An := \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)$$

[17] Área neta de la sección

$$An = 28.274\ cm^2$$

$$At := An \cdot Nc$$

[17] Área total de la sección

$$At = 56.549\ cm^2$$

$r := \sqrt[2]{\frac{I}{An}}$ radio de giro (ver 4.4.4.2.2)

$r = 3.202\ cm$

$rt := \sqrt[2]{\frac{It}{At}}$ radio de giro total de la sección (ver 4.4.4.2.2)

$rt = 5.937\ cm$ (R22)

$S := \frac{\pi \cdot \left(D^4 - (D - 2\ t)^4\right)}{32\ D}$ Módulo de sección (ver 4.4.3.3)

$S := 199.3\ cm^3$ (S22)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 87

$\lambda := \frac{Le}{rt}$ esbeltez (ver 4.4.4.2.2)

$\lambda = 66.531$

PROPIEDADES DE LA GUADUA

$E0.5 := 12000\ MPa$ módulo de elasticidad promedio

$E0.05 := 7500\ MPa$ módulo de elasticidad percentil

$Emin := 4000\ MPa$ módulo de elasticidad mínimo

$Fb := 15\ MPa$ Esf. admisible a flexión

$Ft := 18\ MPa$ Esf. admisible a tracción

$Fc := 14\ MPa$ Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fv := 1.2\ MPa$ Esf. admisible a corte

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Por duración de carga CD

$CD := 0.9$ (ver Tabla 28)

Por contenido de humedad Cm

$Cm := 1$ (ver Tabla 29)

Por temperatura Ct

$Ct := 1$ (ver Tabla 30)

Por estabilidad lateral de vigas CL

$CL := 1$ (ver 4.4.3.3)

Por forma CF

D > 34mm, entonces:

$$CF := \left(\frac{340}{D}\right)^{\frac{1}{9}}$$ (ver 4.4.3.3)

$CF := 1.145$

Por cortante Cc

$$rel := \frac{Le}{D}$$

$$rel = 29$$

le/D > 15mm, entonces:

$$Cc := 1$$ (ver 4.4.2.2)

Por estabilidad de columnas Cp

$$C := 0.85$$ (ver tabla 36)

$$FCE := \frac{(0.822 \cdot Emin)}{\lambda}$$ (ver Tabla 36)

$$FCE = 49.421\ MPa$$

$$Fc'c := Fc \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$

$$Fc'c = 12.6\ MPa$$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C}\right)^2 - \frac{\left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{C}}$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$Cp = 0.954$$

PROPIEDADES DEL MATERIAL AFECTADOS POR LOS COEFICIENTES

Esf. admisible de flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b := Fb \cdot CF \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.3.3)

$F'b = 15.458\ MPa$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$F't := Ft \cdot CL \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$ (ver 4.4.4.1)

$F't = 16.2\ MPa$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$F'c := Fc'c \cdot Cp$ (ver 4.4.4.2.2)

$F'c = 12.02\ MPa$

Esf. admisible a corte afectado por los coeficientes de modificación

$F'v := Fv \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct \cdot Cc$ (ver 4.4.3.2)

$F'v = 1.08\ MPa$

ck = el valor del límite entre las columnas intermedias y las columnas largas

$ck := 2.565 \cdot \sqrt{\frac{E0.05}{Fc}}$ (ver 4.4.4.2.3)

$ck = 59.368$

Si *ck*< λ < *150 →columna larga (ver tabla 37)*

REVISIÓN POR COMPRESIÓN AXIAL

COLUMNAS LARGAS

Esfuerzo a compresión paralela a la fibra actuante

$$fc := 3.3 \cdot \frac{E0.05}{\lambda^2}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$fc = 5.592\ MPa$$

F'c= Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c = 12.02\ MPa$$

Si $fc \leq F'c$ → cumple con el chequeo a compresión

ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN

REVISION POR FLEXOCOMPRESION

$Na := N$ fuerza de compresión actuante

$Ma := Mf$ Solicitación a Flexión

$ck = 59.368$

$fc = 5.592\ MPa$

Esfuerzo actuante de Flexión

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$$fb = 3.663\ MPa$$

$$Ncr := \frac{\pi^2 \cdot E0.05 \cdot It}{Le^2}$$ Carga crítica de Euler (ver 4.4.4.2)

$$Ncr = 94.567\ kN$$

$$km := \frac{1}{1 - 1.5 \cdot \frac{Na}{Ncr}}$$

Coeficiente de magnificación de momentos (ver 4.4.4.2)

$$km = 1.231$$

- Los elementos de la estructura que estén sometidos a fuerzas de flexión y compresión debe cumplir con la siguiente fórmula de chequeo:

Esfuerzo actuante de compresión paralelo a la fibra

$$fc = 5.592\ MPa$$

$$re := \frac{fc}{F'c} + \frac{km \cdot fb}{F'b} \leq 1.0$$

(ver 4.4.5.2)

$$re = 0.757$$

Si $re \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a flexo-compresión

REVISIÓN POR TENSION AXIAL

Esfuerzo actuante de Tensión

$$ft := \frac{T}{At}$$

$$ft = 0.76\ MPa$$

$$F't = 16.2\ MPa$$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

Si $ft \leq F't$ → cumple con el chequeo a tensión

Elementos solicitados a flexión con tensión axial

$$che := \frac{ft}{F't} + \frac{fb}{F'b} \leq 1.0$$ (ver 4.4.5.1)

$$che = 0.284$$

Si $che \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a corte

CHEQUEO A FLEXIÓN

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$$fb = 3.663\ MPa$$

F'b= Esf. admisible de Flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b = 15.458\ MPa$$

Si $fb \leq F'b$ → cumple con el chequeo a flexión

CHEQUEO A CORTE

$$fv := \frac{2 \cdot V}{3 \cdot At} \cdot \left(\frac{3\,(D)^2 - (4 \cdot D \cdot t) + 4 \cdot (t)^2}{(D^2) - (2 \cdot D \cdot t) + 2 \cdot (t)^2} \right)$$ (ver 4.4.3.2)

$$fv = 0.106\ MPa$$

F'v= Esf. admisible de Corte afectado por los coeficientes de modificación

$$F'v = 1.08\ MPa$$

Si $fv \leq F'v$ → cumple con el chequeo a corte

Elemento: Riostra Diagonal Pórtico D, eje 5-6

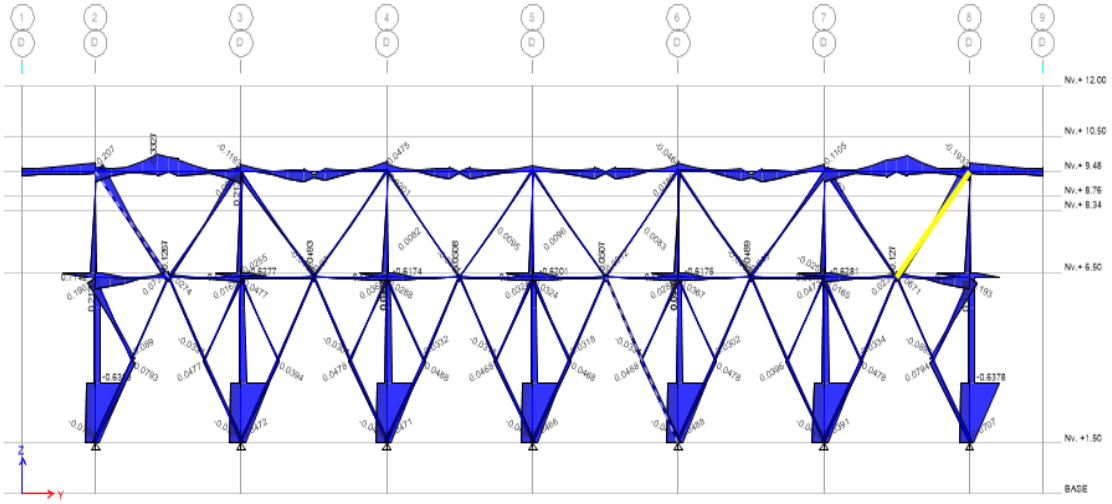


Ilustración 97:Columna inclinada entre pórticos con la mayor solicitación (ETABS)

Fuente: El Autor

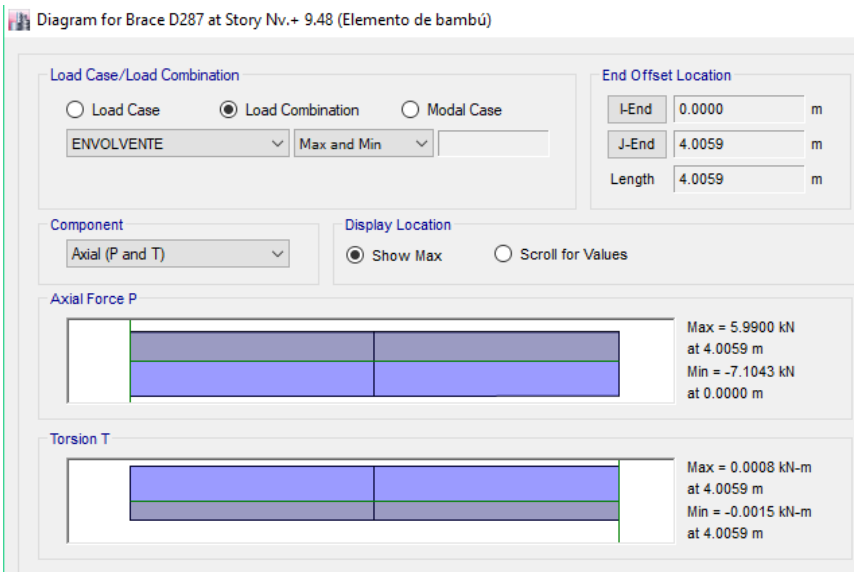


Ilustración 98: Solicitación a compresión y tensión (ETABS)

Fuente: El Autor

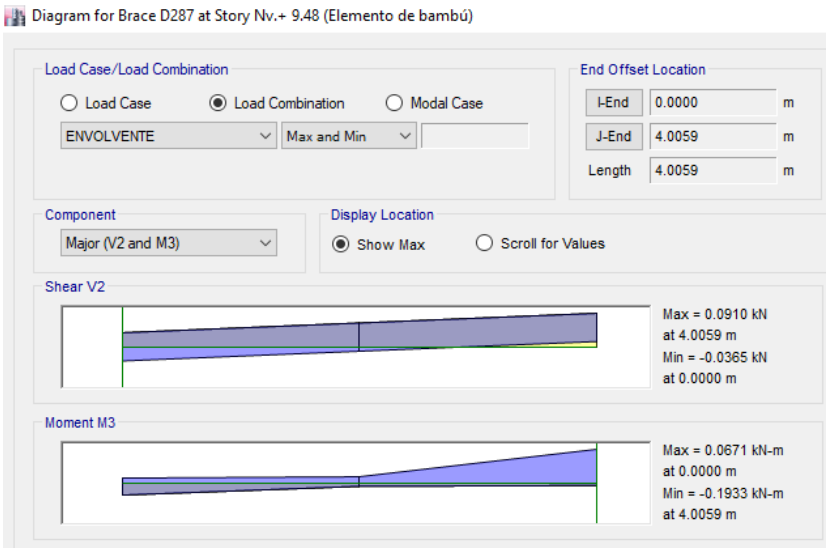


Ilustración 99: Momento de flexión y corte (ETABS)
Fuente: El Autor

Tipo de solicitación a la que está sometida el elemento: Flexo – Compresión

Longitud del elemento: 4.00 m

Longitud diseño *le*

$$le := 4\ m$$

Solicitación a compresión

$$N := 7.10\ kN$$

Solicitación a tensión

$$T := 6.00\ kN$$

Solicitación a flexión

$$Mf := 0.19\ kN \cdot m$$

Solicitación a corte

$$V := 0.09\ kN$$

Sección del elemento

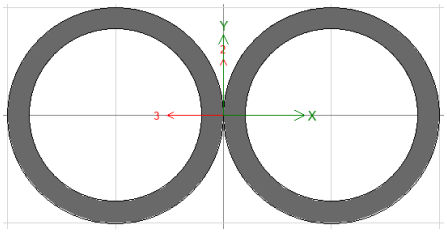


Ilustración 100: Sección transversal del elemento
Fuente: El autor

$Nc := 2$ número de culmos

$D := 100\ mm$ diámetro externo

$d := 80\ mm$ diámetro interno

$t := 10\ mm$ espesor

$lu := le$ longitud no soportada lateralemente

$k := 1$ coeficiente longitud efectiva (ver tebla 35)

$Le := k \cdot lu$ longitud efectiva (ver 4.4.4.2.1)

$Le = 4\ m$

$$Iex := \frac{\pi \cdot D^4}{64}$$ inercia exterior

$Iex = \left(4.909 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$

$$Iint := \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$ inercia interior

$Iint = \left(2.011 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$

$I := Iex - Iint$ inercia del bambú un solo culmo

$I = 289.812\ cm^4$

$It := I \cdot Nc$ inercia total

$It := 579.6\ cm^4$ (I33)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 92

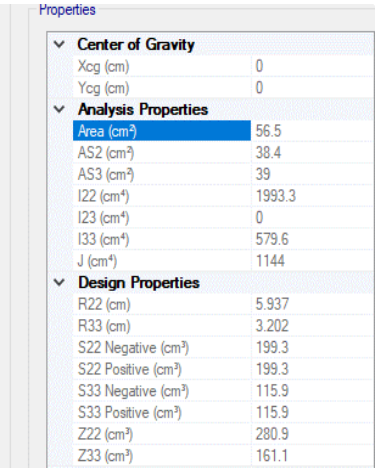


Ilustración 101: Propiedades de la sección
Fuente: El autor

$An := \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)$ Área neta de la sección

$An = 28.274\ cm^2$

$At := An \cdot Nc$ Área total de la sección

$At = 56.549\ cm^2$

$r := \sqrt[2]{\frac{I}{An}}$ radio de giro (ver 4.4.4.2.2)

$r = 3.202\ cm$

$rt := \sqrt[2]{\frac{It}{At}}$ radio de giro total de la sección (ver 4.4.4.2.2)

$rt = 3.201\ cm$ (R33)

$S := \frac{\pi \cdot \left(D^4 - (D - 2\ t)^4\right)}{32\ D}$ Módulo de sección (ver 4.4.3.3)

$S := 115.9\ cm^3$ (S33)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 92

$\lambda := \frac{Le}{rt}$ esbeltez (ver 4.4.4.2.2)

$\lambda = 124.942$

PROPIEDADES DE LA GUADUA

$E0.5 := 12000\ MPa$ módulo de elasticidad promedio

$E0.05 := 7500\ MPa$ módulo de elasticidad percentil

$Emin := 4000\ MPa$ módulo de elasticidad mínimo

$Fb := 15\ MPa$ Esf. admisible a flexión

$Ft := 18\ MPa$ Esf. admisible a tracción

$Fc := 14\ MPa$ Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fv := 1.2\ MPa$ Esf. admisible a corte

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Por duración de carga CD

$CD := 0.9$ (ver Tabla 28)

Por contenido de humedad Cm

$Cm := 1$ (ver Tabla 29)

Por temperatura Ct

$Ct := 1$ (ver Tabla 30)

Por estabilidad lateral de vigas CL

$CL := 1$ (ver 4.4.3.3)

Por forma CF

D > 34mm, entonces:

$$CF := \left(\frac{340}{D}\right)^{\frac{1}{9}}$$ (ver 4.4.3.3)

$CF := 1.145$

Por cortante Cc

$$rel := \frac{Le}{D}$$

$rel = 40$

le/D > 15mm, entonces:

$$Cc := 1$$ (ver 4.4.2.2)

Por estabilidad de columnas Cp

$$C := 0.85$$ (ver tabla 36)

$$FCE := \frac{(0.822 \cdot Emin)}{\lambda}$$ (ver Tabla 36)

$$FCE = 38.278\ MPa$$

$$Fc'c := Fc \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$

$$Fc'c = 12.6\ MPa$$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C}\right)^2 - \frac{\left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{C}}$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$Cp = 0.898$$

PROPIEDADES DEL MATERIAL AFECTADOS POR LOS COEFICIENTES

Esf. admisible de flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b := Fb \cdot CF \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.3.3)

$$F'b = 15.458\ MPa$$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$$F't := Ft \cdot CL \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.4.1)

$$F't = 16.2\ MPa$$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c := Fc'c \cdot Cp$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$F'c = 11.319\ MPa$$

Esf. admisible a corte afectado por los coeficientes de modificación

$$F'v := Fv \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct \cdot Cc$$ (ver 4.4.3.2)

$$F'v = 1.08\ MPa$$

ck = el valor del límite entre las columnas intermedias y las columnas largas

$$ck := 2.565 \cdot \sqrt{\frac{E0.05}{Fc}}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$ck = 59.368$$

Si *ck* < λ < *150 →columna larga (ver tabla 37)*

REVISIÓN POR COMPRESIÓN AXIAL

COLUMNAS LARGAS

Esfuerzo a compresión paralela a la fibra actuante

$$fc := 3.3 \cdot \frac{E0.05}{\lambda^2}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$fc = 1.585\ MPa$$

F'c= Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c = 11.319\ MPa$$

Si $fc \leq F'c$ → cumple con el chequeo a compresión

ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN

REVISION POR FLEXOCOMPRESION

$Na := N$ fuerza de compresión actuante

$Ma := Mf$ Solicitación a Flexión

$ck = 59.368$

$fc = 1.585\ MPa$

Esfuerzo actuante de Flexión

$fb := \frac{Mf}{S}$ (ver 4.4.3.3)

$fb = 1.639\ MPa$

$Ncr := \frac{\pi^2 \cdot E0.05 \cdot It}{Le^2}$ Carga crítica de Euler (ver 4.4.4.2)

$Ncr = 56.731\ kN$

$Na = 22.63\ kN$

$km := \frac{1}{1 - 1.5 \cdot \frac{Na}{Ncr}}$ Coeficiente de magnificación de momentos (ver 4.4.4.2)

$km = 1.659$

- Los elementos de la estructura que estén sometidos a fuerzas de flexión y compresión debe cumplir con la siguiente fórmula de chequeo:

Esfuerzo actuante de compresión paralelo a la fibra

$$fc = 1.585\ MPa$$

$$re := \frac{fc}{F'c} + \frac{km \cdot fb}{F'b} \leq 1.0$$ (ver 4.4.5.2)

$$re = 0.316$$

Si $re \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a flexo-compresión

REVISIÓN POR TENSION AXIAL

Esfuerzo actuante de Tensión

$$ft := \frac{T}{At}$$

$$ft = 1.061\ MPa$$

F't= Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$$F't = 16.2\ MPa$$

Si $ft \leq F't$ → cumple con el chequeo a tensión

Elementos solicitados a flexión con tensión axial

$$che := \frac{ft}{F't} + \frac{fb}{F'b} \leq 1.0$$ (ver 4.4.5.1)

$$che = 0.172$$

Si $che \leq 1.0$ → cumple con el chequeo

CHEQUEO A FLEXIÓN

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$$fb = 1.639\ MPa$$

F'b= Esf. admisible de Flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b = 15.458\ MPa$$

Si $fb \leq F'b$ → cumple con el chequeo a flexión

CHEQUEO A CORTE

$$fv := \frac{2 \cdot V}{3 \cdot At} \cdot \left(\frac{3\,(D)^2 - (4 \cdot D \cdot t) + 4 \cdot (t)^2}{(D^2) - (2 \cdot D \cdot t) + 2 \cdot (t)^2} \right)$$ (ver 4.4.3.2)

$$fv = 0.034\ MPa$$

F'v= Esf. admisible de Corte afectado por los coeficientes de modificación

$$F'v = 1.08\ MPa$$

Si $fv \leq F'v$ → cumple con el chequeo a corte

4.4.6.5 DISEÑO DE DIAGONALES Y MONTANTES DE LA CERCHA

Elemento: Diagonal de la cercha Pórtico 2, eje B

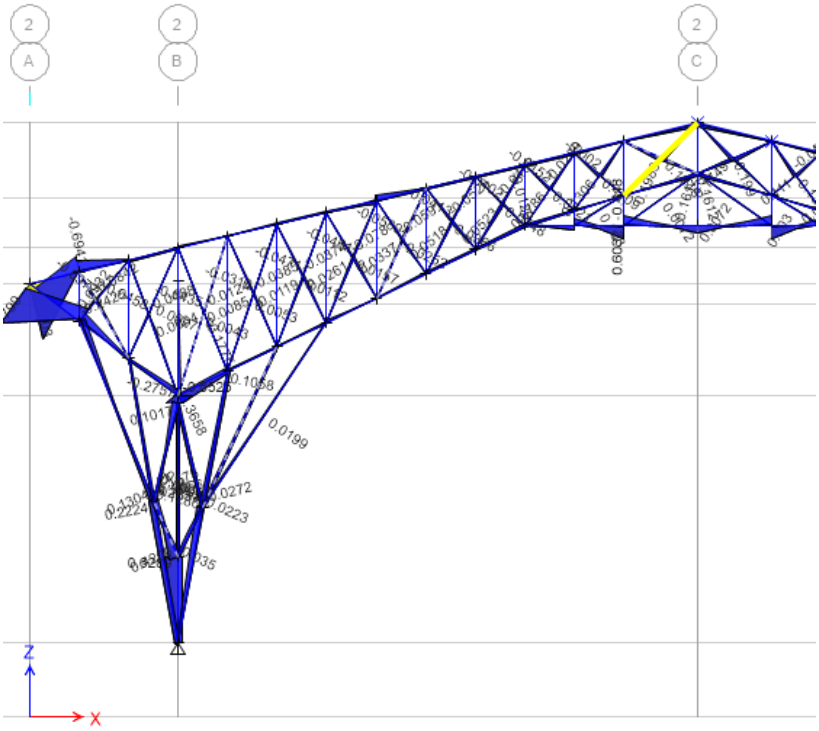


Ilustración 102: Columna riostra exterior con la mayor solicitación

Fuente: El autor

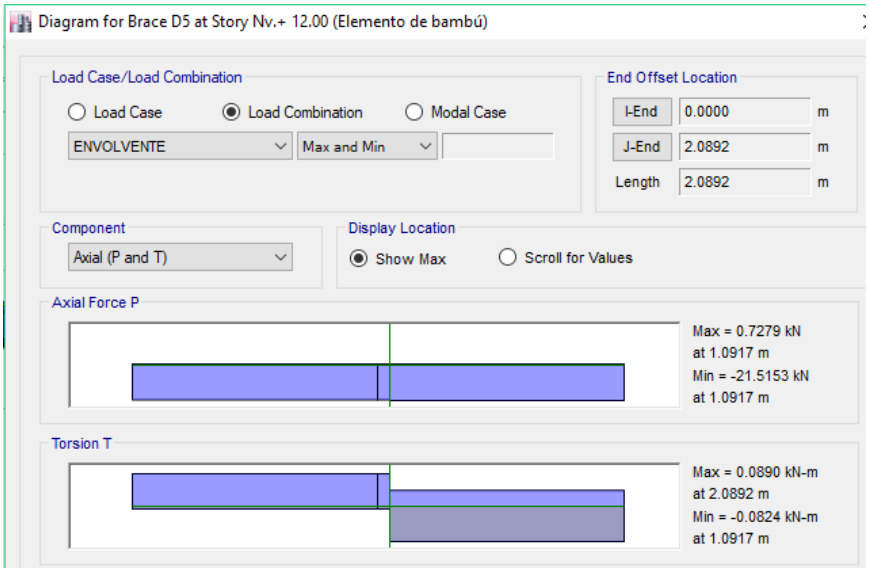


Ilustración 103: Solicitación a compresión y tensión (ETABS)

Fuente: El Autor

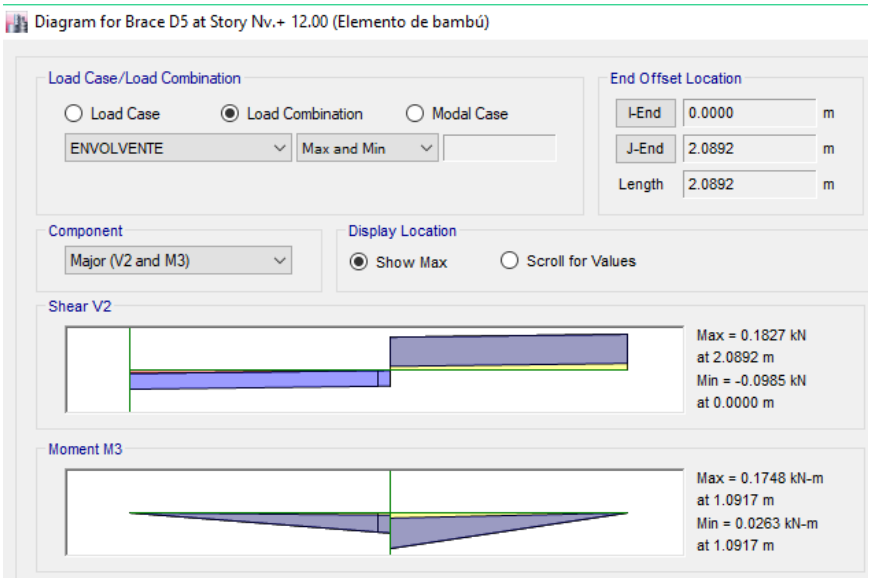


Ilustración 104: Momento de Flexión y corte (ETABS)

Fuente: El autor

Tipo de solicitación a la que está sometida el elemento: Flexo – Compresión

Longitud del elemento: 2.10m

Longitud diseño *le*

$$le := 1.1\ m$$

Solicitación a compresión

$$N := 21.51\ kN$$

Solicitación a tensión

$$T := 0.73\ kN$$

Solicitación a flexión

$$Mf := 0.17\ kN \cdot m$$

Solicitación a corte

$V := 0.18\ kN$

Sección del elemento

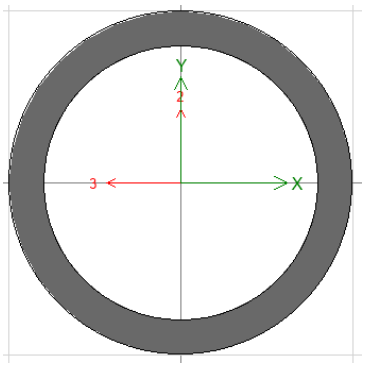


Ilustración 105: Sección transversal del elemento
Fuente: El autor

$Nc := 1$ número de culmos

$D := 100\ mm$ diámetro externo

$d := 80\ mm$ diámetro interno

$t := 10\ mm$ espesor

$lu := le$ longitud no soportada lateralemente

$k := 1$ coeficiente longitud efectiva (ver tebla 35)

$Le := k \cdot lu$ longitud efectiva (ver 4.4.4.2.1)

$Le = 1.1\ m$

$Iex := \frac{\pi \cdot D^4}{64}$ inercia exterior

$Iex = \left(4.909 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$

$$Iint := \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

inercia interior

$$Iint = \left(2.011 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$$

$$I := Iex - Iint$$

inercia del bambú un solo culmo

$$I = 289.812\ cm^4$$

$$It := I \cdot Nc$$

inercia total

$$It := 289.8\ cm^4$$

si son más de 2 culmos colocar valor

$$An := \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)$$

[17] Área neta de la sección

$$An = 28.274\ cm^2$$

$$At := An \cdot Nc$$

[17] Área total de la sección

$$At = 28.274\ cm^2$$

$$r := \sqrt[2]{\frac{I}{An}}$$

radio de giro (ver 4.4.4.2.2)

$$r = 3.202\ cm$$

$$rt := \sqrt[2]{\frac{It}{At}}$$

radio de giro total de la sección (ver 4.4.4.2.2)

$$rt = 3.201\ cm$$

$$S := \frac{\pi \cdot \left(D^4 - (D - 2\ t)^4\right)}{32\ D}$$

Módulo de sección (ver 4.4.3.3)

$S := 58\ cm^3$

$\lambda := \frac{Le}{rt}$ esbeltez (ver 4.4.4.2.2)

$\lambda = 34.359$

PROPIEDADES DE LA GUADUA

$E0.5 := 12000\ MPa$ módulo de elasticidad promedio

$E0.05 := 7500\ MPa$ módulo de elasticidad percentil

$Emin := 4000\ MPa$ módulo de elasticidad mínimo

$Fb := 15\ MPa$ Esf. admisible a flexión

$Ft := 18\ MPa$ Esf. admisible a tracción

$Fc := 14\ MPa$ Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fv := 1.2\ MPa$ Esf. admisible a corte

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Por duración de carga CD

$CD := 0.9$ (ver Tabla 28)

Por contenido de humedad Cm

$Cm := 1$ (ver Tabla 29)

Por temperatura Ct

$$Ct := 1$$ (ver Tabla 30)

Por estabilidad lateral de vigas CL

$$CL := 1$$ (ver 4.4.3.3)

Por forma CF

D > 34mm, entonces:

$$CF := \left(\frac{340}{D}\right)^{\frac{1}{9}}$$ (ver 4.4.3.3)

$$CF := 1.145$$

Por cortante Cc

$$rel := \frac{Le}{D}$$

$$rel = 11$$

le/D > 15mm, entonces:

$$Cc := 0.86$$ (ver 4.4.2.2)

Por estabilidad de columnas Cp

$$C := 0.85$$ (ver tabla 36)

$$FCE := \frac{(0.822 \cdot Emin)}{\lambda}$$ (ver Tabla 36)

$$FCE = 95.696\ MPa$$

$$Fc'c := Fc \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$

$$Fc'c = 12.6\ MPa$$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C}\right)^2 - \frac{\left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{C}}$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$Cp = 0.978$$

PROPIEDADES DEL MATERIAL AFECTADOS POR LOS COEFICIENTES

Esf. admisible de flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b := Fb \cdot CF \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.3.3)

$$F'b = 15.458\ MPa$$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$$F't := Ft \cdot CL \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.4.1)

$$F't = 16.2\ MPa$$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c := Fc'c \cdot Cp$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$F'c = 12.327\ MPa$$

Esf. admisible a corte afectado por los coeficientes de modificación

$$F'v := Fv \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct \cdot Cc$$ (ver 4.4.3.2)

$$F'v = 0.929\ MPa$$

ck **=** el valor del límite entre las columnas intermedias y las columnas largas

$$ck := 2.565 \cdot \sqrt{\frac{E0.05}{Fc}}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$ck = 59.368$$

Si $30 < \lambda < ck \rightarrow$ *columna intermedia (ver tabla 37)*

REVISIÓN POR COMPRESIÓN AXIAL

COLUMNAS INTERMEDIAS

Esfuerzo a compresión paralela a la fibra actuante

$$fc := \frac{N}{At \cdot \left(1 - \frac{2}{5} \cdot \left(\frac{\lambda}{ck}\right)^3\right)}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$fc = 8.247\ MPa$$

F'c= Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c = 12.327\ MPa$$

Si $fc \leq F'c \rightarrow$ cumple con el chequeo a compresión

ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN

REVISION POR FLEXOCOMPRESION

$Na := N$ fuerza de compresión actuante

$Ma := Mf$ Solicitación a Flexión

$$ck = 59.368$$

$$fc := 8.247\ MPa$$

Esfuerzo actuante de Flexión

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$$fb = 2.931\ MPa$$

$$Ncr := \frac{\pi^2 \cdot E0.05 \cdot It}{Le^2}$$ Carga crítica de Euler (ver 4.4.4.2)

$$Ncr = 177.286\ kN$$

$$km := \frac{1}{1 - 1.5 \cdot \frac{Na}{Ncr}}$$ Coeficiente de magnificación de momentos (ver 4.4.4.2)

$$km = 1.222$$

- Los elementos de la estructura que estén sometidos a fuerzas de flexión y compresión debe cumplir con la siguiente fórmula de chequeo:

Esfuerzo actuante de compresión paralelo a la fibra

$$fc = 8.247\ MPa$$

$$re := \frac{fc}{F'c} + \frac{km \cdot fb}{F'b} \leq 1.0$$ (ver 4.4.5.2)

$$re = 0.901$$

Si $re \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a flexo-compresión

CHEQUEO A FLEXIÓN

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$fb = 2.931\ MPa$

F'b= Esf. admisible de Flexión afectado por los coeficientes de modificación

$F'b = 15.458\ MPa$

Si fb ≤ *F'b* → cumple con el chequeo a flexión

CHEQUEO A CORTE

$$fv := \frac{2 \cdot V}{3 \cdot At} \cdot \left(\frac{3\,(D)^2 - (4 \cdot D \cdot t) + 4 \cdot (t)^2}{(D^2) - (2 \cdot D \cdot t) + 2 \cdot (t)^2} \right)$$ (ver 4.4.3.2)

$fv = 0.137\ MPa$

F'v= Esf. admisible de Corte afectado por los coeficientes de modificación

$F'v = 0.929\ MPa$

Si *fv* ≤ *F'v* → cumple con el chequeo a corte

Elemento: Diagonal opuesta a la carga de la cercha Pórtico 2, eje B

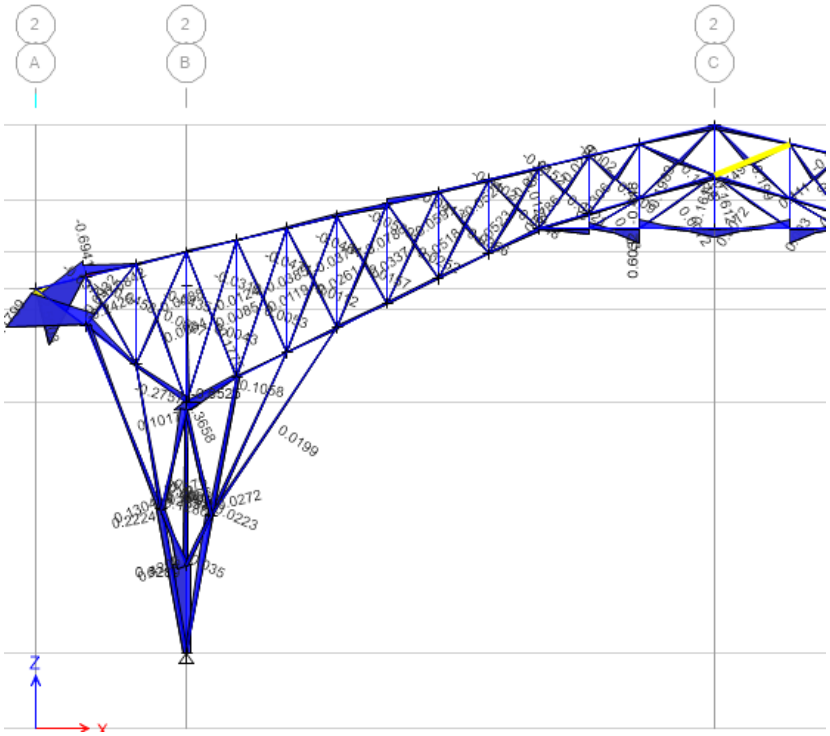


Ilustración 106: Columna riostra exterior con la mayor solicitación

Fuente: El autor

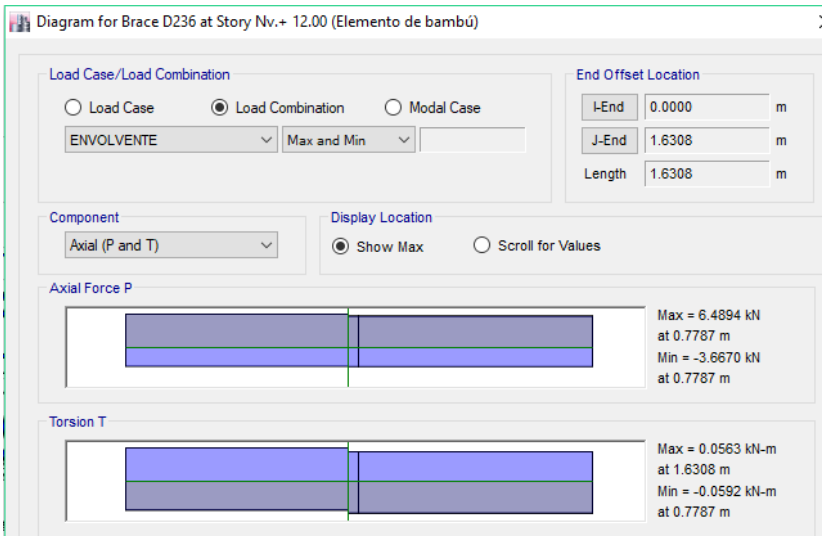


Ilustración 107: Solicitación a compresión y tensión (ETABS)

Fuente: El Autor

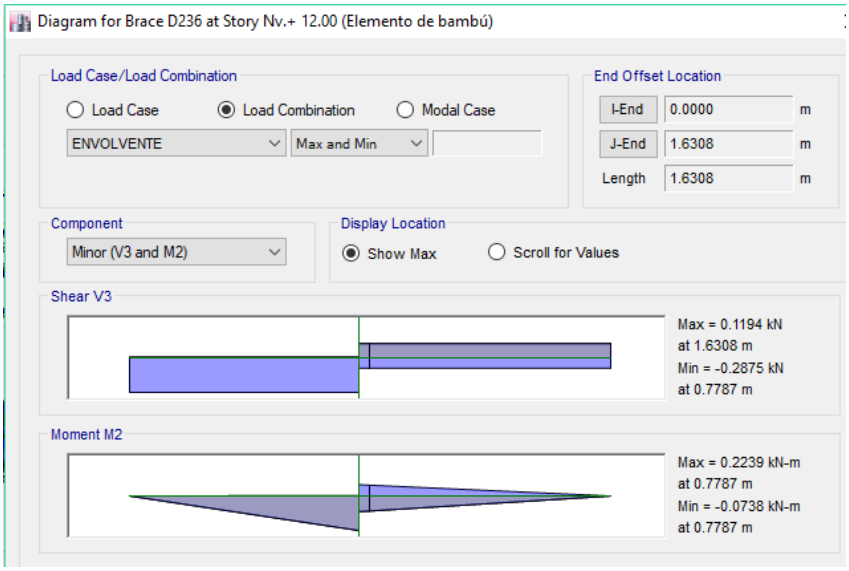


Ilustración 108: Momento de Flexión y corte (ETABS)

Fuente: El autor

Tipo de solicitación a la que está sometida el elemento: Flexo – Compresión

Longitud del elemento: 1.65m

Longitud diseño *le*

$$le := 0.78\ m$$

Solicitación a compresión

$$N := 3.62\ kN$$

Solicitación a tensión

$$T := 6.50\ kN$$

Solicitación a flexión

$$Mf := 0.22\ kN \cdot m$$

Solicitación a corte

$$V := 0.28\ kN$$

Sección del elemento

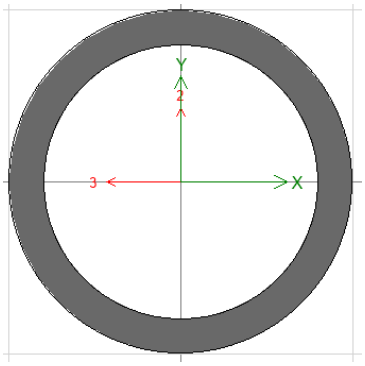


Ilustración 109: Sección transversal del elemento
Fuente: El autor

$Nc := 1$ número de culmos

$D := 100\ mm$ diámetro externo

$d := 80\ mm$ diámetro interno

$t := 10\ mm$ espesor

$lu := le$ longitud no soportada lateralemente

$k := 1$ coeficiente longitud efectiva (ver tebla 35)

$Le := k \cdot lu$ longitud efectiva (ver 4.4.4.2.1)

$Le = 0.78\ m$

$Iex := \frac{\pi \cdot D^4}{64}$ inercia exterior

$Iex = \left(4.909 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$

$Iint := \frac{\pi \cdot d^4}{64}$ inercia interior

$Iint = (2.011 \cdot 10^{-6})\ m^4$

$I := Iex - Iint$ inercia del bambú un solo culmo

$I = 289.812\ cm^4$

$It := I \cdot Nc$ inercia total

$It := 289.8\ cm^4$ si son más de 2 culmos colocar valor

$An := \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)$ [17] Área neta de la sección

$An = 28.274\ cm^2$

$At := An \cdot Nc$ [17] Área total de la sección

$At = 28.274\ cm^2$

$r := \sqrt[2]{\frac{I}{An}}$ radio de giro (ver 4.4.4.2.2)

$r = 3.202\ cm$

$rt := \sqrt[2]{\frac{It}{At}}$ radio de giro total de la sección (ver 4.4.4.2.2)

$rt = 3.201\ cm$

$S := \frac{\pi \cdot \left(D^4 - (D - 2\ t)^4\right)}{32\ D}$ Módulo de sección (ver 4.4.3.3)

$S := 58\ cm^3$

$\lambda := \frac{Le}{rt}$ esbeltez (ver 4.4.4.2.2)

$\lambda = 24.364$

PROPIEDADES DE LA GUADUA

$E0.5 := 12000\ MPa$ módulo de elasticidad promedio

$E0.05 := 7500\ MPa$ módulo de elasticidad percentil

$Emin := 4000\ MPa$ módulo de elasticidad mínimo

$Fb := 15\ MPa$ Esf. admisible a flexión

$Ft := 18\ MPa$ Esf. admisible a tracción

$Fc := 14\ MPa$ Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fv := 1.2\ MPa$ Esf. admisible a corte

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Por duración de carga CD

$CD := 0.9$ (ver Tabla 28)

Por contenido de humedad Cm

$Cm := 1$ (ver Tabla 29)

Por temperatura Ct

$Ct := 1$ (ver Tabla 30)

Por estabilidad lateral de vigas CL

$$CL := 1$$ (ver 4.4.3.3)

Por forma CF

D > 34mm, entonces:

$$CF := \left(\frac{340}{D}\right)^{\frac{1}{9}}$$ (ver 4.4.3.3)

$$CF := 1.145$$

Por cortante Cc

$$rel := \frac{Le}{D}$$

$$rel = 7.8$$

le/D > 15mm, entonces:

$$Cc := 0.75$$ (ver 4.4.2.2)

Por estabilidad de columnas Cp

$$C := 0.85$$ (ver tabla 36)

$$FCE := \frac{(0.822 \cdot Emin)}{\lambda}$$ (ver Tabla 36)

$$FCE = 134.955\ MPa$$

$$Fc'c := Fc \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$

$$Fc'c = 12.6\ MPa$$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C}\right)^2 - \frac{\left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{C}}$$ (ver 4.4.4.2.2)

$Cp = 0.985$

PROPIEDADES DEL MATERIAL AFECTADOS POR LOS COEFICIENTES

Esf. admisible de flexión afectado por los coeficientes de modificación

$F'b := Fb \cdot CF \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$ (ver 4.4.3.3)

$F'b = 15.458\ MPa$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$F't := Ft \cdot CL \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$ (ver 4.4.4.1)

$F't = 16.2\ MPa$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$F'c := Fc'c \cdot Cp$ (ver 4.4.4.2.2)

$F'c = 12.411\ MPa$

Esf. admisible a corte afectado por los coeficientes de modificación

$F'v := Fv \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct \cdot Cc$ (ver 4.4.3.2)

$F'v = 0.81\ MPa$

ck = el valor del límite entre las columnas intermedias y las columnas largas

$$ck := 2.565 \cdot \sqrt{\frac{E0.05}{Fc}}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$ck = 59.368$$

Si $\lambda < 30 \rightarrow$ *columna corta (ver tabla 37)*

REVISIÓN POR COMPRESIÓN AXIAL

COLUMNAS CORTAS

Esfuerzo a compresión paralela a la fibra actuante

$$fc := \frac{N}{At}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$fc = 1.28\ MPa$$

F'c= Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c = 12.411\ MPa$$

Si $fc \leq F'c \rightarrow$ cumple con el chequeo a compresión

ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN

REVISION POR FLEXOCOMPRESION

$Na := N$ fuerza de compresión actuante

$Ma := Mf$ Solicitación a Flexión

$$ck = 59.368$$

$$fc := 1.28\ MPa$$

Esfuerzo actuante de Flexión

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$$fb = 3.793\ MPa$$

$$Ncr := \frac{\pi^2 \cdot E0.05 \cdot It}{Le^2}$$ Carga crítica de Euler (ver 4.4.4.2)

$$Ncr = 352.59\ kN$$

$$km := \frac{1}{1 - 1.5 \cdot \frac{Na}{Ncr}}$$ Coeficiente de magnificación de momentos (ver 4.4.4.2)

$$km = 1.016$$

Esfuerzo actuante de compresión paralelo a la fibra

$$fc = 1.28\ MPa$$

$$re := \frac{fc}{F'c} + \frac{km \cdot fb}{F'b} \leq 1.0$$ (ver 4.4.5.2)

$$re = 0.352$$

Si $re \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a flexo-compresión

REVISIÓN POR TENSION AXIAL

$$ft := \frac{T}{At}$$ (ver 4.4.4.1)

$$ft = 2.299\ MPa$$

F't= Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$F't = 16.2\ MPa$

Si $ft \leq F't$ → cumple con el chequeo a tensión

Elementos solicitados a flexión con tensión axial

$$che := \frac{ft}{F't} + \frac{fb}{F'b} \quad \leq 1.0$$ (ver 4.4.5.1)

$che = 0.387$

Si $re \leq 1.0$ → cumple con el chequeo

CHEQUEO A FLEXIÓN

$$fb := \frac{Mf}{S}$$ (ver 4.4.3.3)

$fb = 3.793\ MPa$

$F'b$= Esf. admisible de Flexión afectado por los coeficientes de modificación

$F'b = 15.458\ MPa$

Si $fb \leq F'b$ → cumple con el chequeo a flexión

CHEQUEO A CORTE

$$fv := \frac{2 \cdot V}{3 \cdot At} \cdot \left(\frac{3\,(D)^2 - (4 \cdot D \cdot t) + 4 \cdot (t)^2}{(D^2) - (2 \cdot D \cdot t) + 2 \cdot (t)^2} \right)$$ (ver 4.4.3.2)

$fv = 0.213\ MPa$

$F'v$= Esf. admisible de Corte afectado por los coeficientes de modificación

$F'v = 0.81\ MPa$

Si $fv \leq F'v$ → cumple con el chequeo a corte

Elemento: Montante de cercha Pórtico 2, eje B

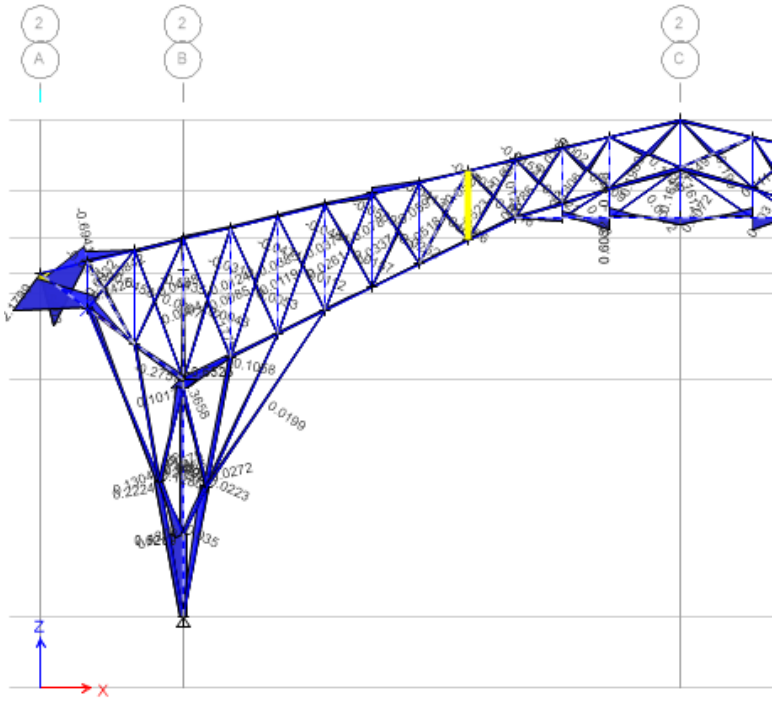


Ilustración 110: Columna riostra exterior con la mayor solicitación

Fuente: El autor

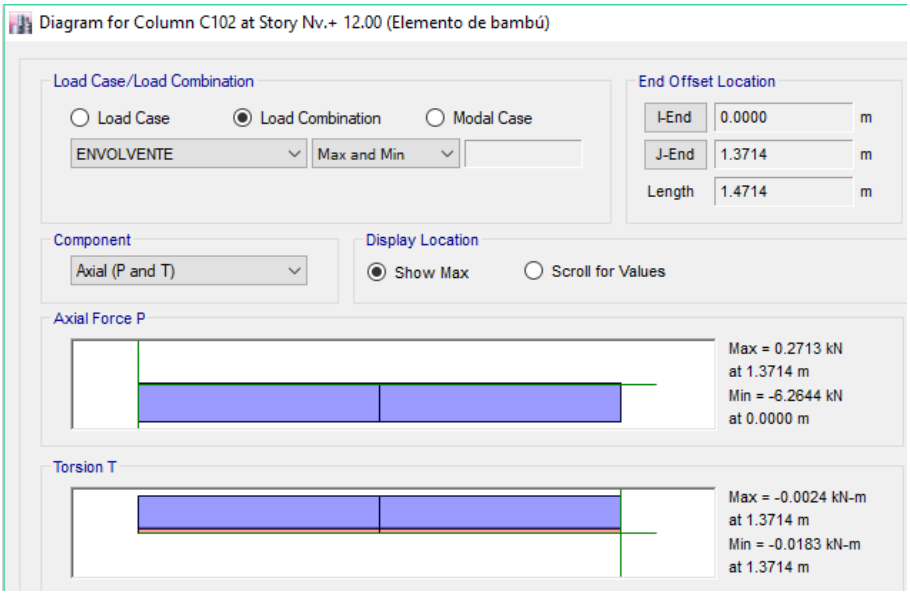


Ilustración 111: Solicitación a compresión y tensión (ETABS)

Fuente: El Autor

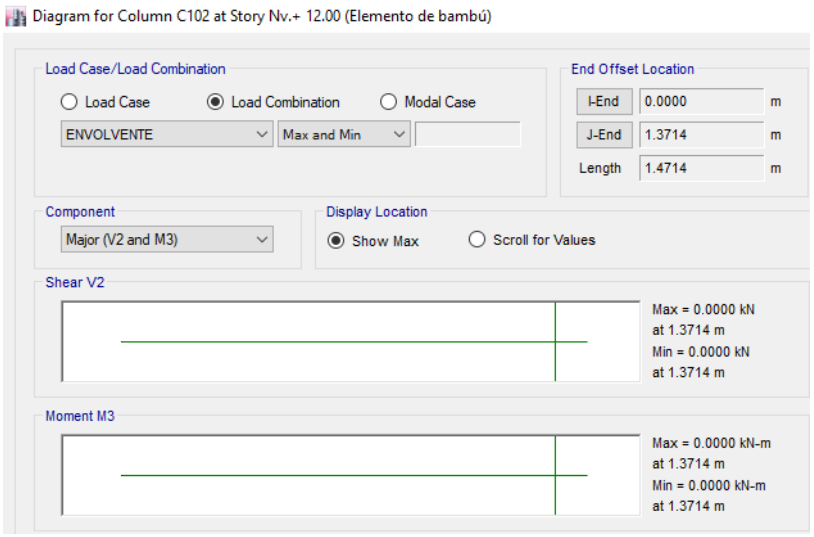


Ilustración 112: Momento de Flexión y corte (ETABS)

Fuente: El autor

Tipo de solicitación a la que está sometida el elemento: Flexo – Compresión

Longitud del elemento: 1.47m

Longitud diseño *le*

$$le := 1.47\ m$$

Solicitación a compresión

$$N := 6.26\ kN$$

Solicitación a tensión

$$T := 0.27\ kN$$

Solicitación a flexión

$$Mf := 0\ kN \cdot m$$

Solicitación a corte

$$V := 0\ kN$$

Sección del elemento

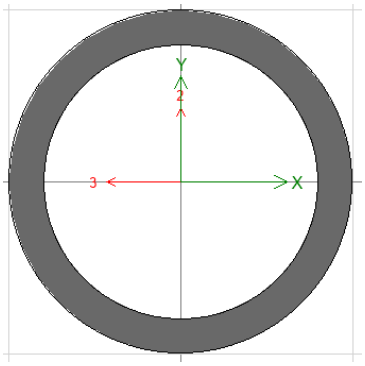


Ilustración 113: Sección transversal del elemento
Fuente: El autor

$Nc := 1$ número de culmos

$D := 100\ mm$ diámetro externo

$d := 80\ mm$ diámetro interno

$t := 10\ mm$ espesor

$lu := le$ longitud no soportada lateralemente

$k := 1$ coeficiente longitud efectiva (ver tebla 35)

$Le := k \cdot lu$ longitud efectiva (ver 4.4.4.2.1)

$Le = 1.47\ m$

$Iex := \frac{\pi \cdot D^4}{64}$ inercia exterior

$Iex = (4.909 \cdot 10^{-6})\ m^4$

$Iint := \frac{\pi \cdot d^4}{64}$ inercia interior

$Iint = (2.011 \cdot 10^{-6})\ m^4$

$I := Iex - Iint$ inercia del bambú un solo culmo

$I = 289.812\ cm^4$

$It := I \cdot Nc$ inercia total

$It := 289.8\ cm^4$ si son más de 2 culmos colocar valor

$An := \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)$ [17] Área neta de la sección

$An = 28.274\ cm^2$

$At := An \cdot Nc$ [17] Área total de la sección

$At = 28.274\ cm^2$

$r := \sqrt[2]{\frac{I}{An}}$ radio de giro (ver 4.4.4.2.2)

$r = 3.202\ cm$

$rt := \sqrt[2]{\frac{It}{At}}$ radio de giro total de la sección (ver 4.4.4.2.2)

$rt = 3.201\ cm$

$S := \frac{\pi \cdot \left(D^4 - (D - 2\ t)^4\right)}{32\ D}$ Módulo de sección (ver 4.4.3.3)

$S := 58\ cm^3$

$\lambda := \frac{Le}{rt}$ esbeltez (ver 4.4.4.2.2)

$\lambda = 45.916$

PROPIEDADES DE LA GUADUA

$E0.5 := 12000\ MPa$ módulo de elasticidad promedio

$E0.05 := 7500\ MPa$ módulo de elasticidad percentil

$Emin := 4000\ MPa$ módulo de elasticidad mínimo

$Fb := 15\ MPa$ Esf. admisible a flexión

$Ft := 18\ MPa$ Esf. admisible a tracción

$Fc := 14\ MPa$ Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fp := 1.4\ MPa$ Esf. admisible a compresión perpendicular al eje longitudinal

$Fv := 1.2\ MPa$ Esf. admisible a corte

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Por duración de carga CD

$CD := 0.9$ (ver Tabla 28)

Por contenido de humedad Cm

$Cm := 1$ (ver Tabla 29)

Por temperatura Ct

$$Ct := 1$$ (ver Tabla 30)

Por estabilidad lateral de vigas CL

$$CL := 1$$ (ver 4.4.3.3)

Por forma CF

D > 34mm, entonces:

$$CF := \left(\frac{340}{D}\right)^{\frac{1}{9}}$$ (ver 4.4.3.3)

$$CF := 1.145$$

Por cortante Cc

$$rel := \frac{Le}{D}$$

$$rel = 14.7$$

le/D > 15mm, entonces:

$$Cc := 0.93$$ (ver 4.4.2.2)

Por estabilidad de columnas Cp

$$C := 0.85$$ (ver tabla 36)

$$FCE := \frac{(0.822 \cdot Emin)}{\lambda}$$ (ver Tabla 36)

$$FCE = 71.609\ MPa$$

$$Fc'c := Fc \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$

$$Fc'c = 12.6\ MPa$$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C}\right)^2 - \frac{\left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{C}}$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$Cp = 0.97$$

PROPIEDADES DEL MATERIAL AFECTADOS POR LOS COEFICIENTES

Esf. admisible de flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b := Fb \cdot CF \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.3.3)

$$F'b = 15.458\ MPa$$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$$F't := Ft \cdot CL \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.4.1)

$$F't = 16.2\ MPa$$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c := Fc'c \cdot Cp$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$F'c = 12.223\ MPa$$

Esf. admisible a compresión perpendicular al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'p := Fp \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.3.4)

$$F'p = 1.26\ MPa$$

Esf. admisible a corte afectado por los coeficientes de modificación

$$F'v := Fv \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct \cdot Cc$$ (ver 4.4.3.2)

$$F'v = 1.004\ MPa$$

ck = el valor del límite entre las columnas intermedias y las columnas largas

$$ck := 2.565 \cdot \sqrt{\frac{E0.05}{Fc}}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$ck = 59.368$$

Si $30 < \lambda < ck \rightarrow$ *columna intermedia (ver tabla 37)*

REVISIÓN POR COMPRESIÓN AXIAL

COLUMNAS INTERMEDIAS

Esfuerzo a compresión paralela a la fibra actuante

$$fc := \frac{N}{At \cdot \left(1 - \frac{2}{5} \cdot \left(\frac{\lambda}{ck}\right)^3\right)}$$ (ver 4.4.4.2.3)

$$fc = 2.717\ MPa$$

F'c= Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'c = 12.223\ MPa$$

Si $fc \leq F'c \rightarrow$ cumple con el chequeo a compresión

ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN

REVISIÓN POR TENSION AXIAL

Esfuerzo actuante de Tensión

$$ft := \frac{T}{At}$$ (ver 4.4.4.1)

$$ft = 0.095\ MPa$$

F't= Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$$F't = 16.2\ MPa$$

Si $ft \leq F't$ → cumple con el chequeo a tensión

Elementos solicitados a flexión con tensión axial

$$che := \frac{ft}{F't} + \frac{fb}{F'b} \leq 1.0$$ (ver 4.4.5.1)

$$che = 0.006$$

Si $re \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a corte

4.4.6.6 DISEÑO DE CORREAS

Elemento: Correa Pórtico D, eje 2-3

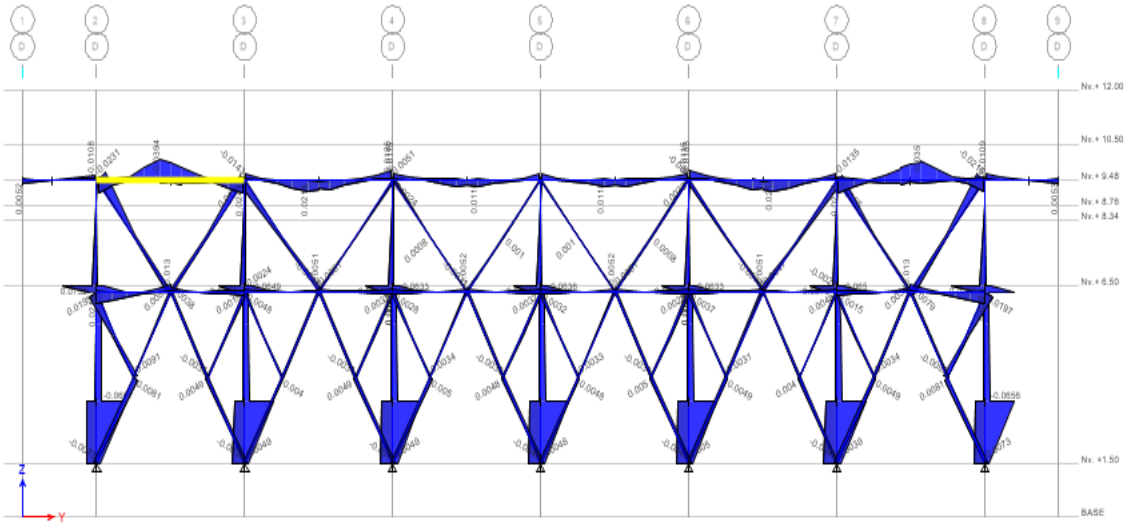


Ilustración 114: Correa con la mayor solicitación

Fuente: El autor

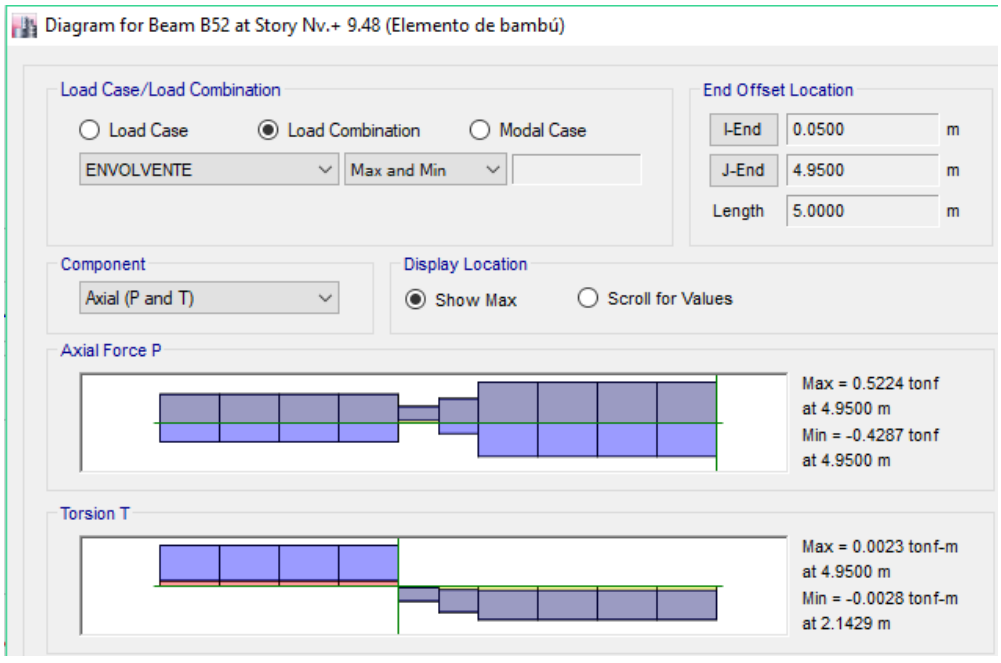


Ilustración 115: Solicitación a compresión y tensión (ETABS)

Fuente: El Autor

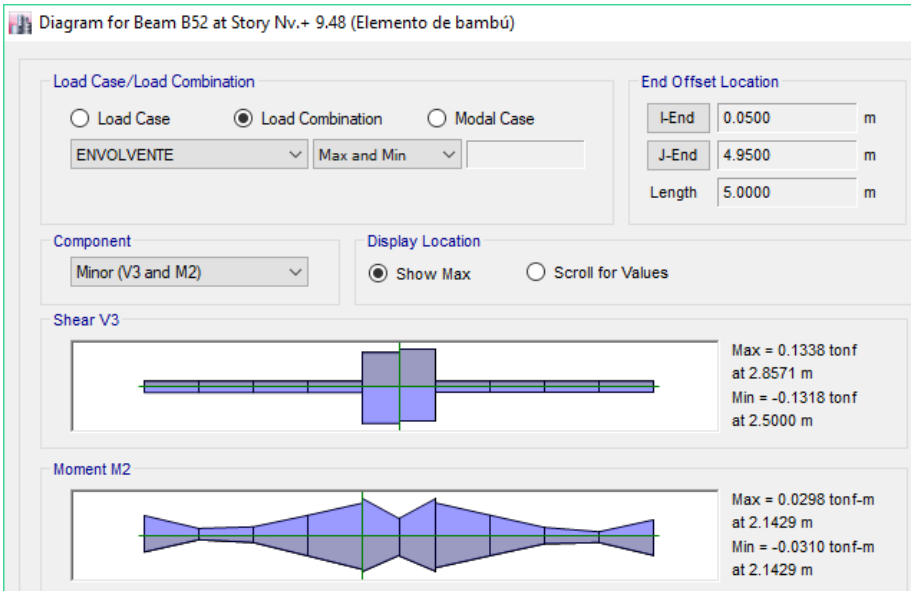


Ilustración 116: Momento de Flexión y corte (ETABS)

Fuente: El autor

Tipo de solicitación a la que está sometida el elemento: Flexo – Compresión

Longitud del elemento: 5.00m

Longitud diseño *le*

$$le := 2.5\ m$$

Solicitación a compresión

$$N := 4.20\ kN$$

Solicitación a tensión

$$T := 5.12\ kN$$

Solicitación a flexión

$$Mf := 0.39\ kN \cdot m$$

Solicitación a corte

$$V := 0.38\ kN$$

Sección del elemento

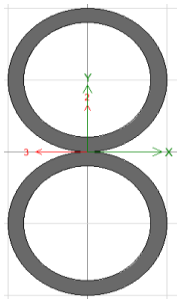


Ilustración 117: Sección transversal del elemento

Fuente: El autor

$Nc := 2$ número de culmos

$D := 100\ mm$ diámetro externo

$d := 80\ mm$ diámetro interno

$t := 10\ mm$ espesor

$lu := le$ longitud no soportada lateralemente

$k := 1$ coeficiente longitud efectiva (ver tebla 35)

$Le := k \cdot lu$ longitud efectiva (ver 4.4.4.2.1)

$Le = 2.5\ m$

$Iex := \frac{\pi \cdot D^4}{64}$ inercia exterior

$Iex = \left(4.909 \cdot 10^{-6}\right)\ m^4$

$$Iint := \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$ inercia interior

$$Iint = (2.011 \cdot 10^{-6})\ m^4$$

$$I := Iex - Iint$$ inercia del bambú un solo culmo

$$I = 289.812\ cm^4$$

$$It := I \cdot Nc$$ inercia total

$$It := 1993.3\ cm^4$$ si son más de 2 culmos colocar valor

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 109

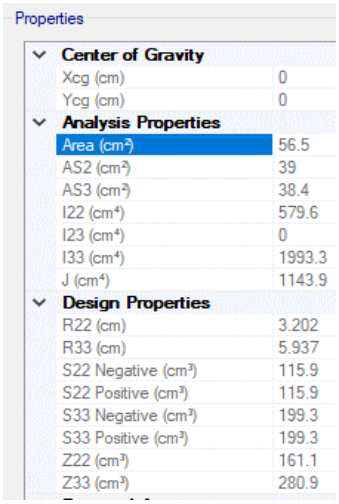


Ilustración 118: Propiedades de la sección
Fuente: El autor

$$An := \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)$$ Área neta de la sección

$$An = 28.274\ cm^2$$

$$At := An \cdot Nc$$ Área total de la sección

$At = 56.549\ cm^2$

$r := \sqrt[2]{\frac{I}{An}}$ radio de giro (ver 4.4.4.2.2)

$r = 3.202\ cm$

$rt := \sqrt[2]{\frac{It}{At}}$ radio de giro total de la sección (ver 4.4.4.2.2)

$rt = 5.937\ cm$ (R33)

$S := \frac{\pi \cdot \left(D^4 - (D - 2\ t)^4\right)}{32\ D}$

Módulo de sección (ver 4.4.3.3)

$S := 199.3\ cm^3$ (S33)

- El módulo de sección obtenemos del programa ETABS dentro de las propiedades de la sección como se indica en la ilustración 109

$\lambda := \frac{Le}{rt}$ esbeltez (ver 4.4.4.2.2)

$\lambda = 42.108$

PROPIEDADES DE LA GUADUA

$E0.5 := 12000\ MPa$ módulo de elasticidad promedio

$E0.05 := 7500\ MPa$ módulo de elasticidad percentil

$Emin := 4000\ MPa$ módulo de elasticidad mínimo

$Fb := 15\ MPa$ Esf. admisible a flexión

$Ft := 18\ MPa$ Esf. admisible a tracción

$Fc := 14\ MPa$ Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal

$Fv := 1.2\ MPa$ Esf. admisible a corte

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Por duración de carga CD

$CD := 0.9$ (ver Tabla 28)

Por contenido de humedad Cm

$Cm := 1$ (ver Tabla 29)

Por temperatura Ct

$Ct := 1$ (ver Tabla 30)

Por estabilidad lateral de vigas CL

$CL := 1$ (ver 4.4.3.3)

Por forma CF

D > 34mm, entonces:

$$CF := \left(\frac{340}{D}\right)^{\frac{1}{9}}$$ (ver 4.4.3.3)

$CF := 1.145$

Por cortante Cc

$$rel := \frac{Le}{D}$$

$$rel = 25$$

le/D > 15mm, entonces:

$$Cc := 1$$ (ver 4.4.2.2)

Por estabilidad de columnas Cp

$$C := 0.85$$ (ver tabla 36)

$$FCE := \frac{(0.822 \cdot Emin)}{\lambda}$$ (ver Tabla 36)

$$FCE = 78.085\ MPa$$

$$Fc'c := Fc \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$

$$Fc'c = 12.6\ MPa$$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{2\,C}\right)^2 - \frac{\left(\frac{FCE}{Fc'c}\right)}{C}}$$ (ver 4.4.4.2.2)

$$Cp = 0.973$$

PROPIEDADES DEL MATERIAL AFECTADOS POR LOS COEFICIENTES

Esf. admisible de flexión afectado por los coeficientes de modificación

$$F'b := Fb \cdot CF \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$$ (ver 4.4.3.3)

$F'b = 15.458\ MPa$

Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$F't := Ft \cdot CL \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct$ (ver 4.4.4.1)

$F't = 16.2\ MPa$

Esf. admisible a compresión paralela al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$F'c := Fc'c \cdot Cp$ (ver 4.4.4.2.2)

$F'c = 12.258\ MPa$

Esf. admisible a corte afectado por los coeficientes de modificación

$F'v := Fv \cdot CD \cdot Cm \cdot Ct \cdot Cc$ (ver 4.4.3.2)

$F'v = 1.08\ MPa$

ELEMENTOS SOLICITADOS A TENSIÓN

REVISIÓN POR TENSION AXIAL

Esfuerzo actuante de Tensión

$$ft := \frac{T}{At}$$

$ft = 0.905\ MPa$

F't= Esf. admisible de tensión afectado por los coeficientes de modificación

$F't = 16.2\ MPa$

Si $ft \leq F't$ → cumple con el chequeo a tensión

DISEÑO DE ELEMENTOS A FLEXIÓN

CHEQUEO DE DEFLEXIONES

CARGA DISTRIBUIDA

$Dead := 0.15\ \frac{kN}{m}$ Cargas muertas

$Cl := 0.7\ \frac{kN}{m}$ Cargas vivas

$OC := 0\ \frac{kN}{m}$ Otras cargas

$Def := \frac{5 \cdot (Dead + Cl + OC) \cdot lu^4}{384 \cdot It \cdot E0.05}$ (ver 4.4.3.1)

$Def = 2.892\ mm$

$Dadm := \frac{lu}{360}$

$Dadm = 6.944\ mm$

Si $Def \leq Dadm$ → cumple con el chequeo de deflexiones

CHEQUEO A FLEXIÓN

$fb := \frac{Mf}{S}$ (ver 4.4.3.3)

$fb = 1.957\ MPa$

$F'b = 15.458\ MPa$

Si $fb \leq F'b$ → cumple con el chequeo a flexión

CHEQUEO A CORTE

$$fv := \frac{2 \cdot V}{3 \cdot At} \cdot \left(\frac{3 \cdot (D)^2 - (4 \cdot D \cdot t) + 4 \cdot (t)^2}{(D^2) - (2 \cdot D \cdot t) + 2 \cdot (t)^2} \right)$$ (ver 4.4.3.2)

$$fv = 0.144 \ MPa$$

$$F'v = 1.08 \ MPa$$

Si $fv \leq F'v$ → cumple con el chequeo a corte

$$che := \frac{ft}{F't} + \frac{fb}{F'b} \quad \leq 1.0$$ (ver 4.4.5.1)

$$che = 0.182$$

Si $che \leq 1.0$ → cumple con el chequeo a corte

4.4.7 DISEÑO DE UNIONES

La unión entre elementos GaK puede realizarse de varias maneras como lo indica el NEC-SE-GUADUA y para esto es necesario seleccionar el tipo de corte adecuado del culmo de GaK para que este se pueda unir a otro elemento GaK con prosisión e intentando que la unión sea lo más hermética posible.



Ilustración 119: Cortes para uniones
Fuente: [4]

- En el diseño presentado y por la disposición de los elementos de GaK se considera necesario realizar cortes “Rectos” para la unión entre el dado de apoyo y columna principal como indica la siguiente ilustración.

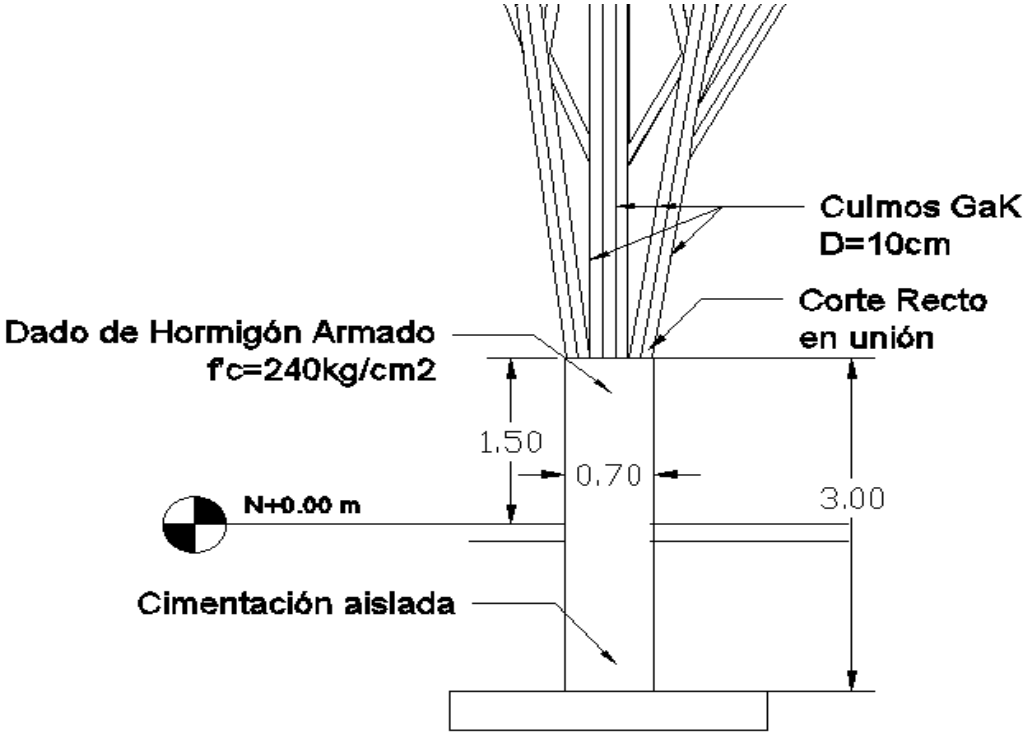


Ilustración 120: Detalle unión Dado-Columna
Fuent: El autor

- Para la unión entre Columnas principales, Columnas inclinadas y Ariostamiento se es necesario emplear corter tales como “Pico de Flauta” y “Bisel” como se indica en la siguiente ilustración

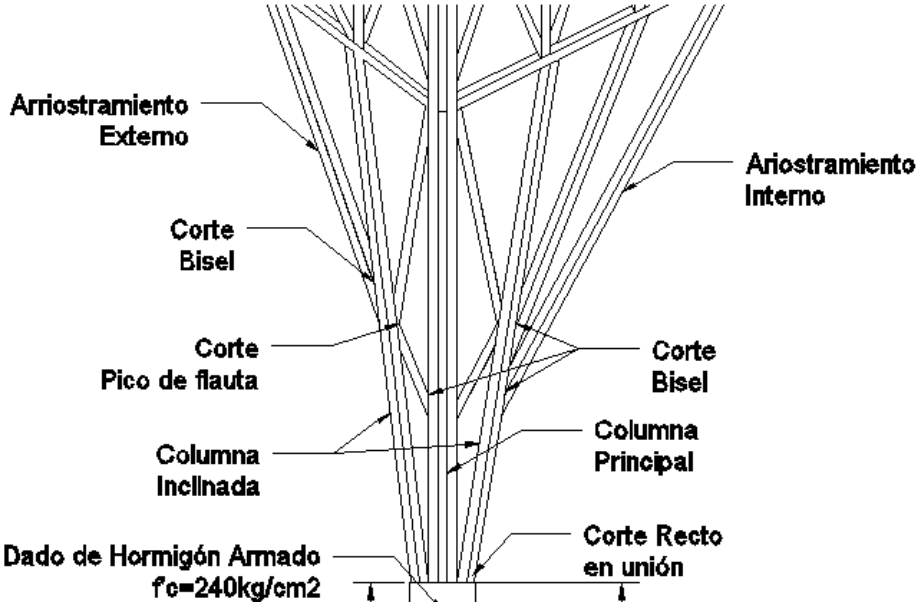


Ilustración 121: Detalle unión Columnas - Riostras
Fuent: El autor

- En la unión entre columnas, riostras con la cercha principal se recomienda realizar cortes de tipo “Bisel”, “Pico de flauta” y “Boca de pescado” según indica la siguiente ilustración.

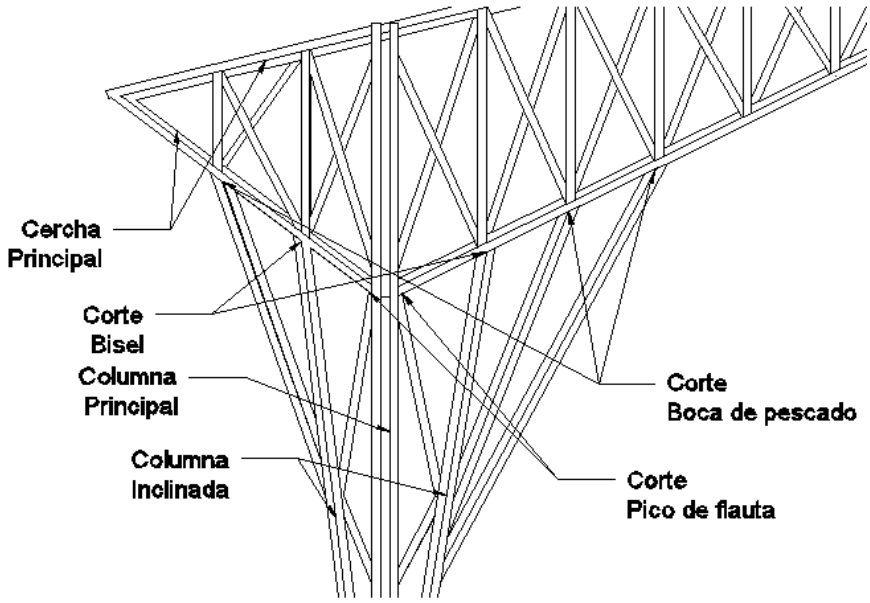


Ilustración 122: Detalle unión Columna, Riostras y Cercha
Fuente: El autor

- Para realizarla unión entre la cercha principal, montantes y diagonales se recomienda hacer cortes tipo “Bisel” y “Pico de Flauta” como se indica a continuación

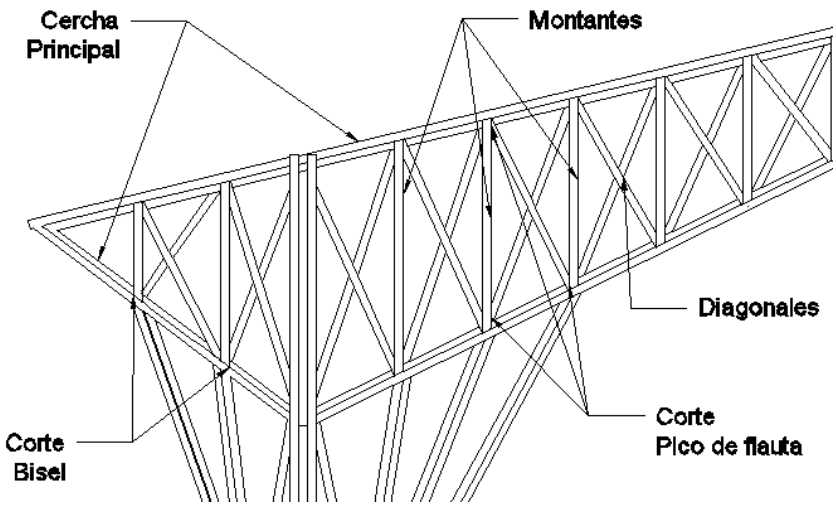


Ilustración 123: Detalle unión Cercha, Montantes y Diagonales
Fuente: El autor

- El momento de unir columna, Vigas laterales, Riostras en el pórtico secundario, es decir, los elementos que conectan entre si los pórticos principlaes se recomenda hacer cortes de tipo “Boca de pescado”, esto debido a que las secciones de estos elementos están dispuestos en la dirección “Y” y la unión es de uno a uno como se especifica a continuación.

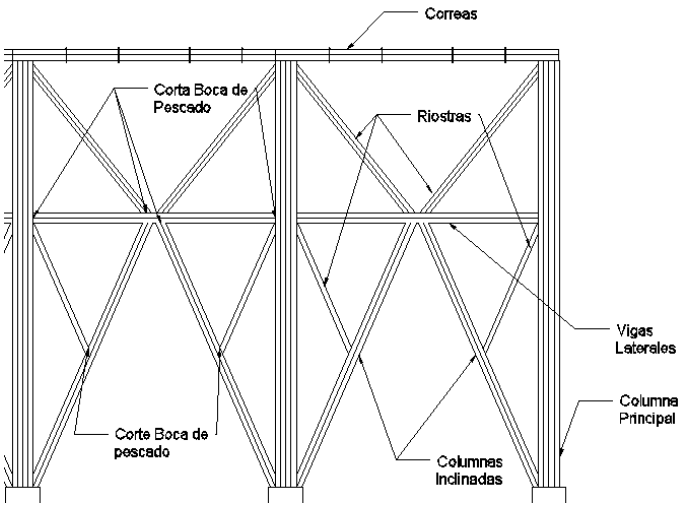


Ilustración 124: Detalle unión Columna, Riostras y Cercha
Fuente: El autor

- La unión entre las cerchas principales y las correas se hace mediante corte recto entre correas y unión con varilla roscada de 12 mm com indica la siguiente ilustración.

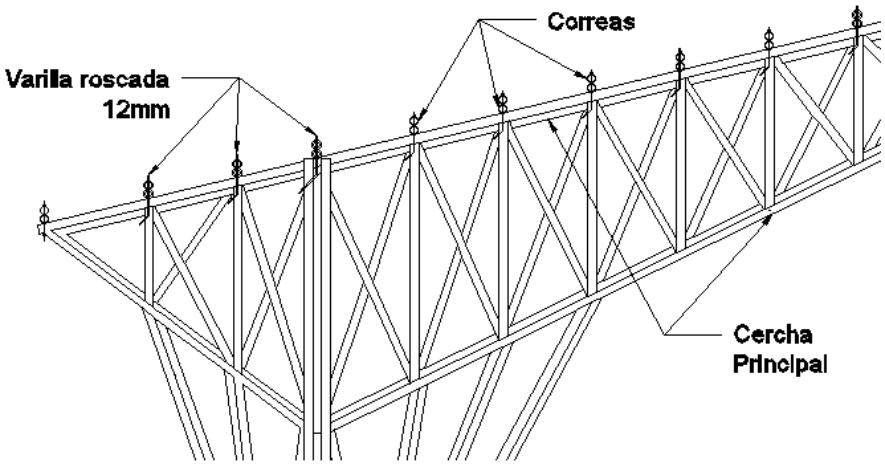


Ilustración 125: Detalle unión Cercha – Correas
Fuente: El autor

4.4.7.1 CHEQUEO POR APLASTAMIENTO

El chequeo por aplastamiento se realiza en base al esfuerzo de compresión y tensión presente en el elemento con mayor solicitación siempre y cuando este transmita dicho esfuerzo a un elemento en el cual se produzca compresión perpendicular a la fibra.

Elemento con la mayor solicitación en nudos:

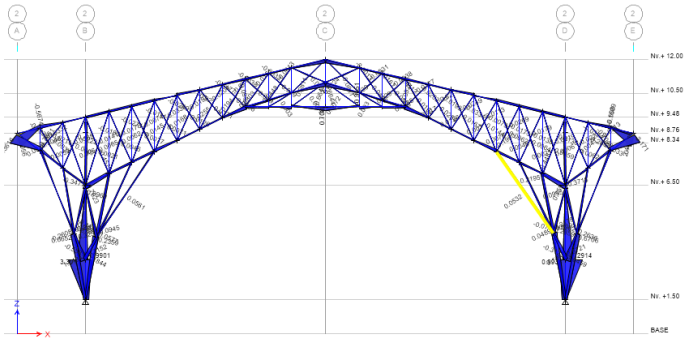


Ilustración 126: Elemento con la mayor solicitación de transmisión al nudo
Fuente: El autor

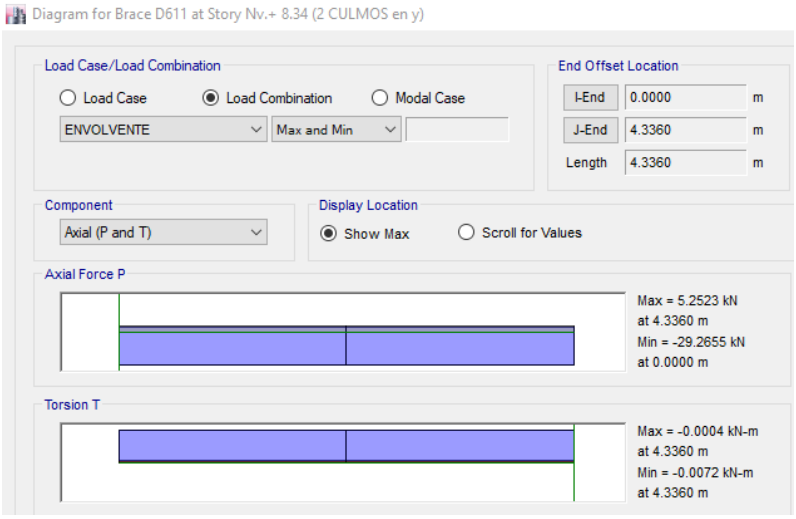


Ilustración 127:Esfuerzo de compresión (-) y Tensión (+)
Fuente: El autor

$Fp := 1.4\ MPa$ Esf. admisible a compresión perpendicular al eje longitudinal

Coeficiente por área de apoyo *Cb*

$Lp := 200$ mm Longitud de apoyo

$$Cb := \frac{Lp + 9.53}{Lp}$$

Ver NSR-10 (G.3.5.1.1)

$$Cb = 1.048$$

$$F'p := Fp \cdot Cb \cdot Cm \cdot Ct$$

Esf. admisible a compresión perpendicular al eje longitudinal afectado por los coeficientes de modificación

$$F'p = 1.467\ MPa$$

$$Nc := 2$$

Número de culmos que reciben la carga perpendicular

$$t1 := 0.01\ m$$

Espesor de la Guadua Gak

$$r2 := 0.08\ m$$

Radio interior de la Guadua Gak

$$t := 2\ t1 + r2$$

Espesor de diseño en uniones con rellenas de mortero de cemento

$$t = 0.1\ m$$

$$D = 0.1\ m$$

Diámetro externo de la sección de guadua GaK

$$R := 29.26\ kN$$

Fuerza aplicada en el sentido perpendicular a la fibra

$$R1 := \frac{R}{Nc}$$

Fuerza actuante en cada culmo

$$R1 = 14.63\ kN$$

$$lp := 0.2\ m$$

Longitud del apoyo

$$fp := \frac{3 \cdot R1 \cdot D}{2 \cdot t^2 \cdot lp}$$ (ver 4.4.3.4)

$fp = 1.097\ MPa$ Esfuerzo actuante en compresión perpendicular a la fibra

Si $fp \leq F'p$ → cumple con el chequeo por aplastamiento

4.4.7.2 DISEÑO DEL PERNO

$\sigma adm := 53000\ \frac{lbf}{in^2}$ Límite de fluencia del perno

$\sigma adm = (3.726 \cdot 10^3)\ \frac{kgf}{cm^2}$

$\Phi := 0.85$ Factor de reducción de capacidad

$\sigma := \frac{P}{A}$ $Ap := \frac{T}{\Phi \cdot \sigma adm}$

$Ap = 0.938\ cm^2$ Área de sección transversal requerida

$Acom := 1.13\ cm^2$ Área del perno de sección comercial

- *Para nuestro diseño es suficiente colocar un perno de 12 mm para realizar las uniones como se indica en los detalles a continuación:

4.4.8 DISEÑO DE ANCLAJE

Para realizar el diseño del anclaje es necesario determinar la mayor fuerza horizontal producida en la base del apoyo, para nuestro caso se registró aplicando la carga sísmica estática en el sentido y (EY)

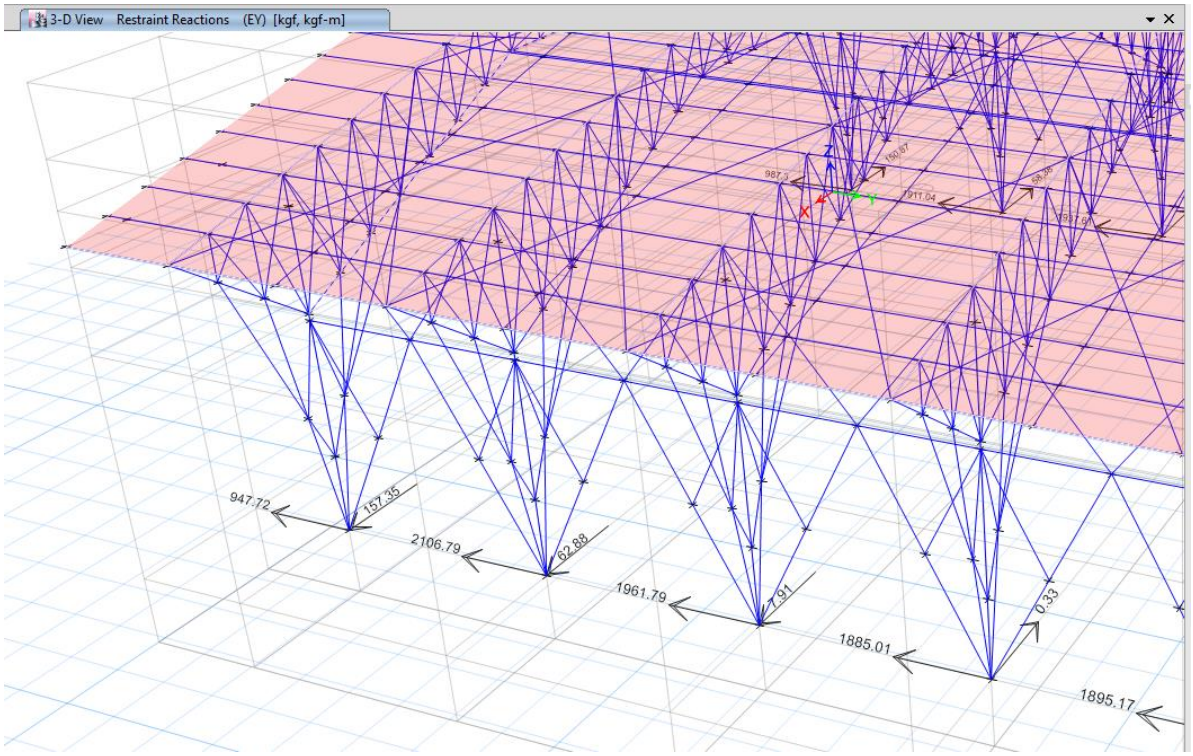


Ilustración 128: Reacciones producidas por Sismo estático en el sentido Y (EY). ETABS
Fuente: El Autor

3Diseño de la varilla de anclaje

$Rmax := 2106.79\ kgf$ Fuerza máxima registrada en los apoyos

$fy := 4200\ \frac{kgf}{cm^2}$ Límite de fluencia acero A615

$\sigma := \frac{P}{A}$ Fórmula del esfuerzo

$$Aanc := \frac{Rmax}{fy}$$

$Aanc = 0.502\ cm^2$ Área requerida

$Av12 := 1.13\ cm^2$ Área varilla comercial ϕ12mm

* Para el anclaje entre dados y culmos de bambú es suficiente una varilla de 12 mm

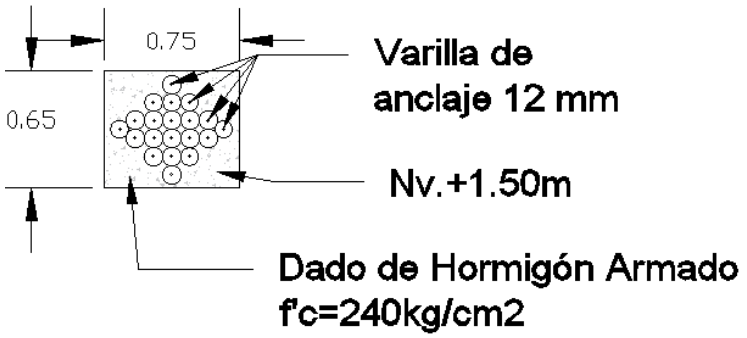


Ilustración 129: Sección transversal del dado de apoyo en el nivel 1.50M
Fuente: El autor

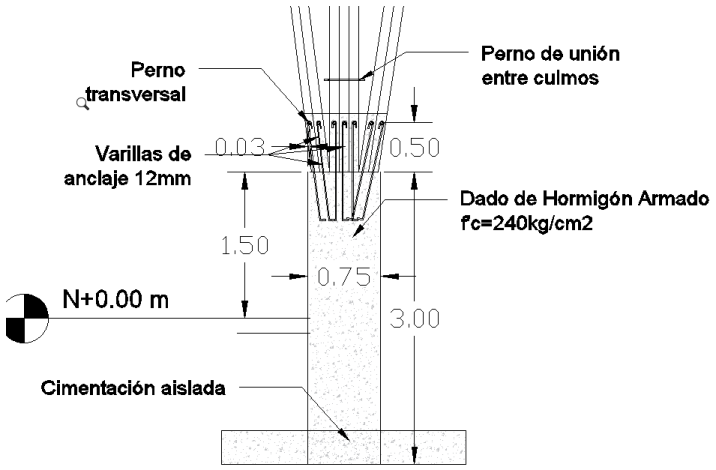


Ilustración 130:Vista frontal (x) de la cimentació, dado de hormigón y columna GaK
Fuente: El autor

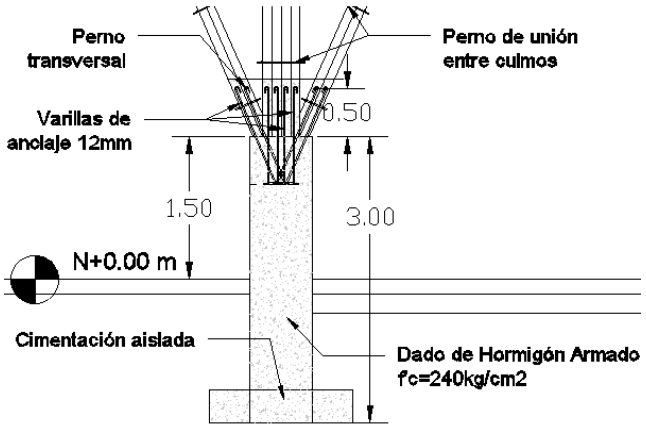


Ilustración 131: Vista frontal (x) de la cimentació, dado de hormigón y columna GaK
Fuente: El autor

4.4.9 DISEÑO DE DADOS Y CIMENTACIÓN

4.4.9.1 DISEÑO DEL DADO DE APOYO

Los dados de apoyo para las columnas de GaK fueron diseñado manualmente al igual que cada uno de los elementos estructurales de GaK como se muestra a continuación:

Geometria de una columna:

$$b := 65\ cm \qquad h := 75\ cm \qquad A_g := b \cdot h = 4875\ cm^2$$

Datos de diseño:

$$\phi := 0.65$$

$$f'c := 240\ \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\varepsilon_u := 0.003$$

$$Fy := 4200\ \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\varepsilon_{tu} := 0.002$$

$$E_s := 2.1 \cdot 10^6 \ \frac{kgf}{cm^2}$$

1. Distribucion de las barras:

$$barras := \begin{bmatrix} \frac{12}{16} & \frac{12}{16} & \frac{12}{16} & \frac{12}{16} & \frac{12}{16} \\ \frac{12}{16} & 0 & 0 & 0 & \frac{12}{16} \\ \frac{12}{16} & 0 & 0 & 0 & \frac{12}{16} \\ \frac{12}{16} & 0 & 0 & 0 & \frac{12}{16} \\ \frac{12}{16} & \frac{12}{16} & \frac{12}{16} & \frac{12}{16} & \frac{12}{16} \end{bmatrix} in \qquad barras = \begin{bmatrix} 1.905 & 1.905 & 1.905 & 1.905 & 1.905 \\ 1.905 & 0 & 0 & 0 & 1.905 \\ 1.905 & 0 & 0 & 0 & 1.905 \\ 1.905 & 0 & 0 & 0 & 1.905 \\ 1.905 & 1.905 & 1.905 & 1.905 & 1.905 \end{bmatrix} cm$$

2. Número de columnas de refuerzo:

$$n := \operatorname{cols}(barras) = 5 \qquad k := \operatorname{rows}(barras) = 5$$

3. Area de cada barra de acero en forma de matriz:

$$A_{so} := \overrightarrow{\pi \cdot \frac{barras^2}{4}} = \begin{bmatrix} 2.85 & 2.85 & 2.85 & 2.85 & 2.85 \\ 2.85 & 0 & 0 & 0 & 2.85 \\ 2.85 & 0 & 0 & 0 & 2.85 \\ 2.85 & 0 & 0 & 0 & 2.85 \\ 2.85 & 2.85 & 2.85 & 2.85 & 2.85 \end{bmatrix} cm^2$$

4. Area de cada flas de barras que momenta:

$$\text{ORIGIN} := 1 \qquad A_{sf} := \sum_{i=1}^{k} \widehat{A_{so}^{\,i}} = \begin{bmatrix} 14.251 & 5.7 & 5.7 & 5.7 & 14.251 \end{bmatrix} cm^2$$

5. Area total del acero de refuerzo y cuantía

$$A_{st} := \sum_{i=1}^{n} A_{sf_{1,i}} = 0.005 \ m^2$$

$$A_{st} := \sum_{i=1}^{n} \left(A_{sf}^{\mathrm{T}}\right)_i = 45.604 \ cm^2$$

$$\rho := \frac{A_{st}}{A_g} \cdot 100 = 0.935$$

6. Ubicación de las filas de acero:

$$rec := 4\ cm$$

$$d_1 := rec + \frac{barras_{1,n}}{2} = 4.953\ cm$$

$$sep := \frac{h - 2 \cdot d_1}{n - 1} = 16.274\ cm$$

7. Creación del vector "d" con la ubicación de las filas de acero:

$$i := 2 .. n$$

$$d = \begin{bmatrix} 4.953 \\ 21.226 \\ 37.5 \\ 53.774 \\ 70.048 \end{bmatrix} cm$$

$$d_i := d_{i-1} + sep$$

8. Caso de compresión pura:

$$P_0 := 0.85 \cdot f'c \cdot \left(A_g - A_{st}\right) + Fy \cdot A_{st}$$

$$\phi P_{n.max} := \phi \cdot 0.80 \cdot P_0$$

$$\phi P_{n.max} = 611.9\ tonnef$$

$$\phi P_{n.max} = \left(6.001 \cdot 10^3\right)\ kN$$

9. Caso de compresión y flexión:

$$\beta_1 := \max\left(min\left(0.85, 1.05 - \frac{f'c}{1400\ \frac{kgf}{cm^2}}\right), 0.65\right) = 0.85$$

$$c(a) := \frac{a}{\beta_1}$$

$$c(27.99\ cm) = 0.329\ m$$

9.1 Esfuerzo en cada fila de acero

$$f_s(i,a) := \left\| \begin{array}{l} \varepsilon_s \leftarrow \varepsilon_u \cdot \frac{c(a) - d_i}{c(a)} \\ \text{sign}(\varepsilon_s)\ min(E_s \cdot |\varepsilon_s|, Fy) \end{array} \right.$$

$$f_s(4, 27.99\ cm) = -3987.904\ \frac{kgf}{cm^2}$$

9.2 Factor de minoración:

$$\varepsilon_{ty} := \frac{Fy}{E_s}$$

$$d_t := \max(d) = 70.048\ cm$$

$$\phi(a) := \left\| \begin{array}{l} \varepsilon_t \leftarrow \varepsilon_u \cdot \frac{c(a) - d_t}{c(a)} \\ \phi \leftarrow \max\left(min\left(0.9, 0.65 + 0.25 \cdot \frac{|\varepsilon_t| - \varepsilon_{ty}}{0.005 - \varepsilon_{ty}}\right), 0.65\right) \end{array} \right.$$

$$\phi(27.99\ cm) = 0.765$$

$$\phi(20.53\ cm) = 0.9$$

9.3 Capacidad axial minorada de la columna:

$$\phi Pn(a) := min\left(\phi(a)\cdot\left(0.85\cdot f'c\cdot a\cdot b+\sum_{i=1}^{n}\left(A_{sf_{1,i}}\cdot f_s(i,a)\right)\right),\phi P_{n.max}\right)$$

$$\phi Pn(27.99\ cm)=272.536\ tonnef$$

9.4 Momento resitente minorado:

$$\phi Mn(a) := \phi(a)\cdot\left(0.85\cdot f'c\cdot a\cdot b\cdot\left(\frac{h}{2}-\frac{a}{2}\right)+\sum_{i=1}^{n}\left(A_{sf_{1,i}}\cdot f_s(i,a)\cdot\left(\frac{h}{2}-d_i\right)\right)\right)$$

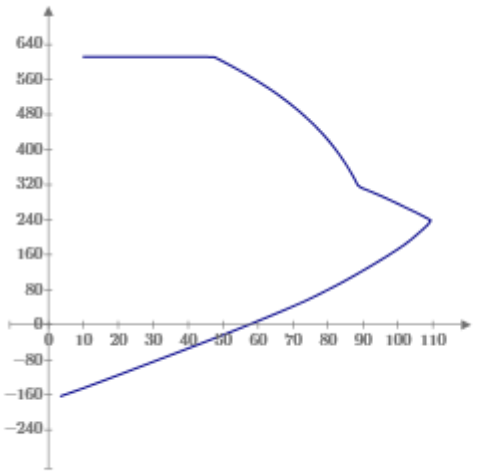
$$\phi Mn(27.99\ cm)=100.98\ tonnef\cdot m$$

Momento horario ---- positivo

Momento antihorario----negativo

$$a := 0,\frac{h}{100}..h$$

9.5 Rango de valores de "a"



$\phi Pn(a)\ (tonnef)$

$\phi Mn(a)\ (tonnef\cdot m)$

4.4.9.1 DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN

Para el diseño de las cimentaciones se realizó el análisis de la estructura con las secciones definitivas de elementos para obtener las reacciones reales que se producen en los apoyos

Load Case/Combo	FX	FY	FZ
	tonf	tonf	tonf
D+L	1.3864	0.098	**7.658**
D+L	-1.3843	0.0953	**7.652**
D+L	1.2109	-0.0288	**6.6225**
D+L	-1.2136	-0.0075	**6.6805**
D+L	1.1948	0.005	**7.1061**
D+L	-1.1953	0.0064	**7.067**
D+L	1.2036	-2.00E-04	**7.037**
D+L	-1.204	-5.90E-03	**7.0361**
D+L	1.195	-0.0054	**7.1068**
D+L	-1.1954	-0.0101	**7.1068**
D+L	1.2126	0.0284	**6.6243**
D+L	-1.2131	0.0247	**6.6243**
D+L	1.3872	-0.0982	**7.6588**
D+L	-1.3849	-0.1017	**7.6601**
			99.6403

Tabla 38: Reacciones en los apoyos (ETABS)
Fuente: El autor

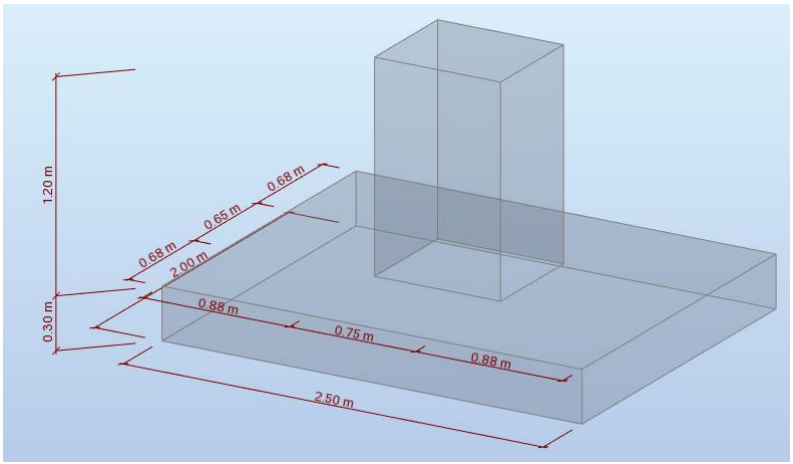


Ilustración 132: Geometría de cimentación aislada (Robot)
Fuente: El autor

Memoria de cálculo proporcionada por el programa Robot Structure Analysis

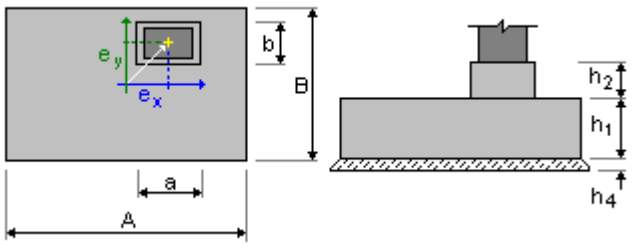
Cimentación aislada: Cimentación1 Número: 1

Datos básicos

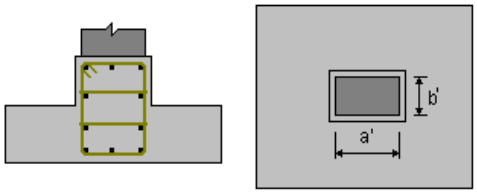
Hipótesis

- Norma para los cálculos geotécnicos : ACI
- Norma para los cálculos de hormigón armado : ACI 318-11
- Forma de la cimentación : libre

Geometría:



A	= 2.50 (m)	a	= 0.75 (m)
B	= 2.00 (m)	b	= 0.65 (m)
h1	= 0.30 (m)	ex	= 0.00 (m)
h2	= 1.20 (m)	ey	= 0.00 (m)
h4	= 0.10 (m)		



a' = 700 (mm)

b' = 400 (mm)

c1 = 51 (mm)

c2 = 51 (mm)

Materiales

- Hormigón: : 210 KG/CM2; resistencia característica = 2804219.59 kgf/m2

  Densidad = 2400.00 (kgf/m3)

- Armaduras longitudinales : tipo Grade 60 resistencia característica = 42184174.76 kgf/m2

- Armaduras longitudinales : tipo Grade 60 resistencia característica = 42184174.76 kgf/m2

- Armadura adicional: : tipo Grade 40 resistencia característica = 28122783.17 kgf/m2

Cargas:

Cargas sobre la cimentación:

Caso	Natura	Grupo	N	Fx	Fy	Mx	My	
			(tf)	(tf)	(tf)	(tf*m)	(tf*m)	
Q1	carga viva	1	7.65	1.55	0.05	0.00	0.00	

Cargas sobre el talud:

Caso	Natura	Q1
		(tf/m2)

Lista de combinaciones

1/ ELS : 1.00G1

2/* ELU : 1.60G1

3/* ELS : 1.00G1

Diseño geotécnico

Hipótesis

Dimensionado de la cimentación para:

• Capacidad de carga

• Vuelco

• Alzamiento

• Hundimiento medio

• Considerar la redistribución plástica de las tensiones admisibles

Suelo:

Nivel del suelo: N1 = 0.00 (m)

Nivel max. de la cimentación: Na = 0.00 (m)

Nivel del fondo del excavado: Nf = -0.90 (m)

well graded gravels

• Nivel del suelo: 0.00 (m)

• Peso volumétrico: 2242.58 (kgf/m3)

• Densidad del sólido: 2702.31 (kgf/m3)

• Angulo de rozamiento interno: 30.0 (Deg)

• Cohesión: 0.00 (kgf/m2)

Estados límites

Cálculo de las tensiones

Considerar la redistribución plástica de las tensiones admisibles

Tipo de suelo debajo de la cimentación: uniforme

Combinación dimensionante:**ELS : 1.00G1**

Coeficentes de carga: **1.00** * peso de la cimentación

1.00 * peso del suelo

Resultados de cálculos: en el nivel del asiento de la cimentación

Peso de la cimentación y del suelo superpuesto: Gr = 17.15 (tf)

Carga de diseño:

Nr = 234.80 (tf) Mx = -0.08 (tf*m) My = 2.33 (tf*m)

Tensión en el suelo: 5377.95 (kgf/m2)

Resistencia de cálculo del suelo 14647.29 (kgf/m2)

Coeficiente de seguridad: 2.724 > 1

Alzamiento

Alzamiento en ELS

Combinación dimensionante: **ELS : 1.00G1**

Coeficentes de carga: **1.00** * peso de la cimentación

1.00 * peso del suelo

Superficie de contacto (s) = 2.22

slim = 1.00

Hundimiento medio

Tipo de suelo debajo de la cimentación: uniforme

Combinación dimensionante: **ELS : 1.00G1**

Coeficentes de carga: **1.00** * peso de la cimentación

1.00 * peso del suelo

Peso de la cimentación y del suelo superpuesto: Gr = 17.15 (tf)

Tensión media debida a la carga de dimensionado: q = 4959.52 (kgf/m2)

Espesor del suelo con hundimiento activo: z = 1.00 (m)

Tensión en el nivel z:

- adicional: σzd = 1022.32 (kgf/m2)

- debida al peso del suelo: σzγ = 5606.46 (kgf/m2)

Hundimientos:

- primario s' = 0 (mm)

- secundario s" = 0 (mm)

- TOTAL S = 0 (mm) < Sadm = 51 (mm)

Coeficiente de seguridad: 860.5 > 1

Diferencia de hundimientos

Combinación dimensionante: **ELS : 1.00G1**

Coeficentes de carga: **1.00** * peso de la cimentación

1.00 * peso del suelo

Diferencia de hundimientos: S = 0 (mm) < Sadm = 51 (mm)

Coeficiente de seguridad: 413.2 > 1

Vuelco

Alrededor del eje OX

Combinación dimensionante: **ELS : 1.00G1**

Coeficentes de carga: **1.00** * peso de la cimentación

1.00 * peso del suelo

Peso de la cimentación y del suelo superpuesto: Gr = 17.15 (tf)

Carga de diseño:

Nr = 24.80 (tf) Mx = -0.08 (tf*m) My = 2.33 (tf*m)

Momento estabilizador: Mstab = 24.80 (tf*m)

Moment de vuelco: Mrenv = 0.08 (tf*m)

Estabilidad al vuelco: 330.6 > 1

Alrededor del eje OY

Combinación dimensionante: **ELS : 1.00G1**

Coeficentes de carga: **1.00** * peso de la cimentación

1.00 * peso del suelo

Peso de la cimentación y del suelo superpuesto: Gr = 17.15 (tf)

Carga de diseño:

Nr = 24.80 (tf) Mx = -0.08 (tf*m) My = 2.33 (tf*m)

Momento estabilizador: Mstab = 31.00 (tf*m)

Moment de vuelco: Mrenv = 2.33 (tf*m)

Estabilidad al vuelco: 13.33 > 1

Diseño de hormigón armado

Hipótesis

- Hormigón expuesto a la acción del medio ambiente : no

Análisis de punzonamiento y de cortante

Cizalladura

Combinación dimensionante: **ELU : 1.60G1**

Coeficentes de carga: **0.90** * peso de la cimentación

0.90 * peso del suelo

Carga de diseño:

Nr = 27.67 (tf) Mx = -0.12 (tf*m) My = 3.72 (tf*m)

Longitud del perímetro crítico: 2.00 (m)

Esfuerzo cortante: 4.50 (tf)

altura útil de la sección heff = 0.24 (m)

Superficie de cizalladura: A = 0.48 (m2)

Tensión cortante: 9393.51 (kgf/m2)

Tensión cortante admisible: 66603.40 (kgf/m2)

Coeficiente de seguridad: 7.09 > 1

Armadura teórica

Cimentación aislada:

Armaduras inferiores:

ELU : 1.60G1

My = 2.94 (tf*m) Asx = 5.4000 (cm2/m)

ELU : 1.60G1

Mx = 1.44 (tf*m) Asy = 5.4000 (cm2/m)

As min= 5.4000 (cm2/m)

Armaduras superiores:

A'sx = 0.0000 (cm2/m)

A'sy = 0.0000 (cm2/m)

As min= 0.0000 (cm2/m)

Fuste:

Armaduras longitudinales A = 49.03831 (cm2) A mín. = 48.7500 (cm2)

A = 2 * (Asx + Asy)

Asx = 9.2593 (cm2) Asy = 15.4322 (cm2)

Armadura real

Cimentación aislada:

Armaduras inferiores:

Dirección X:

16 Grade 60 #3 l = 2.40 (m) e = 1*-0.90 + 15*0.12

Dirección Y:

20 Grade 60 #3 l = 1.90 (m) e = 1*-1.17 + 1*0.15 + 17*0.12 + 1*0.15

Superiores:

No es necesario

Fuste :

Armaduras longitudinales

Dirección X:

8 Grade 60 #5 l = 3.93 (m) e = 1*-0.28 + 7*0.08

Dirección Y:

5 Grade 60 #5 l = 4.19 (m) e = 1*-0.23 + 4*0.12

Armaduras transversales

8 Grade 60 #3 l = 2.54 (m) e = 1*0.13 + 5*0.20 + 2*0.12

Cuantitativo:

- Volumen del hormigón = 2.09 (m3)
- Superficie de encofrado = 6.06 (m2)
- Acero Grade 60
- Peso total = 135.55 (kgf)
- Densidad = 65.01 (kgf/m3)
- Diámetro medio = 11.7584 (mm)

- Lista según diámetros:

Diámetro	Longitud (m)	Número:
Φ10mm	1.90	20
Φ10mm	2.40	16
Φ10mm	2.34	8
Φ16mm	3.63	8
Φ16mm	4.29	5

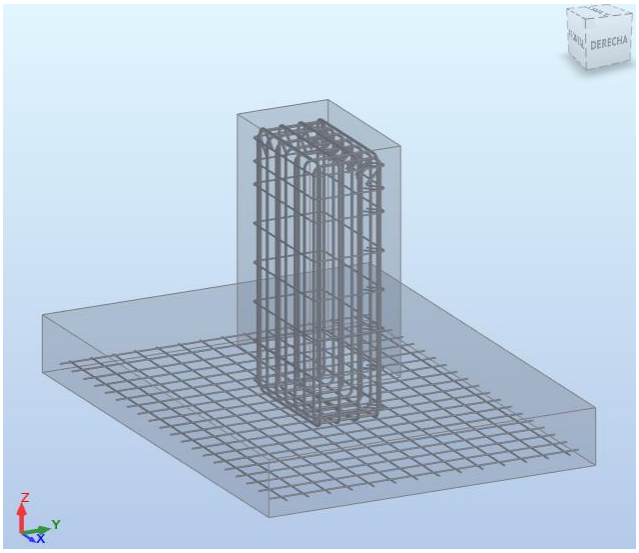


Ilustración 133: Armadura de la cimentación (Robot)
Fuente: El autor

4.4.10 DISEÑO GEOMÉTRICO FINAL DE LA ESTRUCTURA

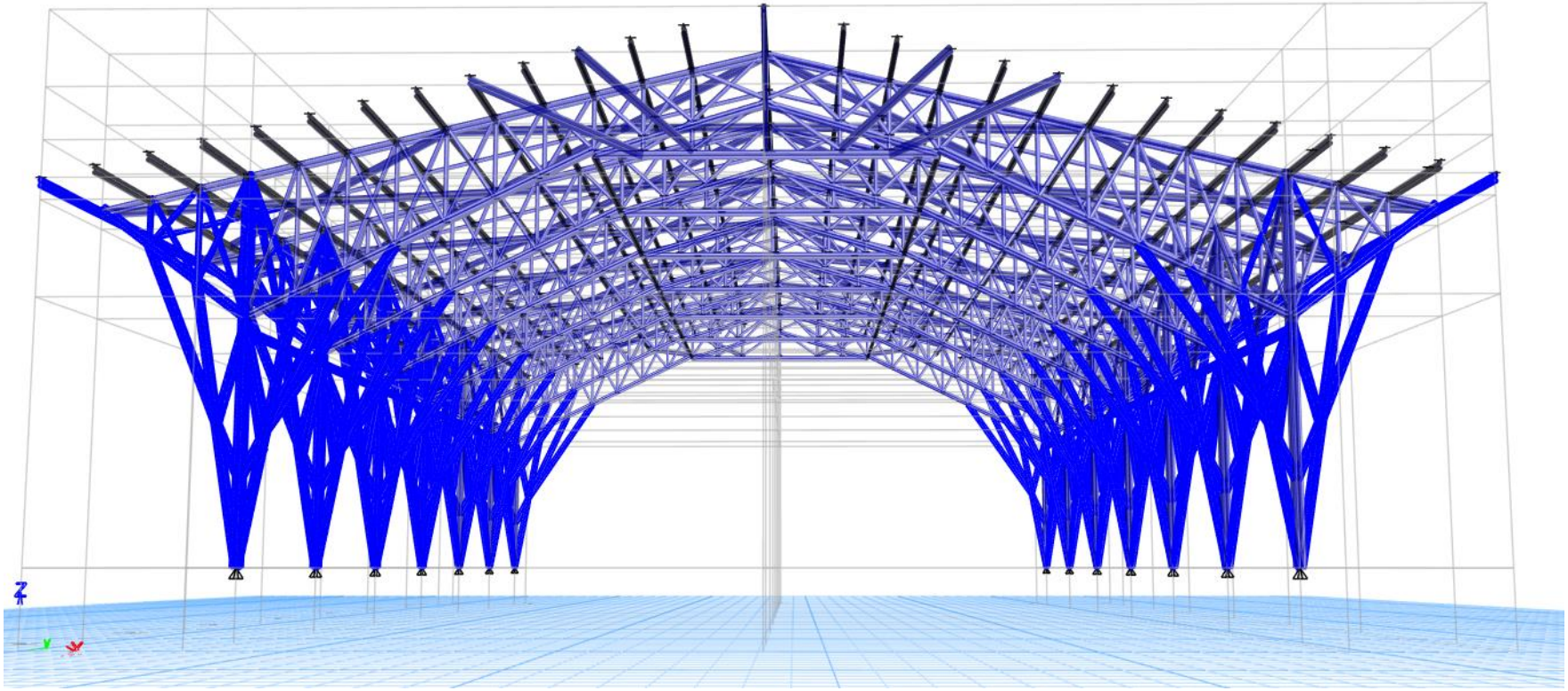


Ilustración 134: Estructura de bambú con secciones definitivas
Fuente: El autor

4.5. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El empleo de los programas ETABS y Robot Structure Analysis nos permite realizar el análisis estructural y comparativo de la cubierta de bambú, pero, es necesario aclarar que, dentro de estas plataformas no fue posible realizar el diseño de las secciones de los elementos estructurales, debido a que los programas especializados no cuentan con normativa referente al diseño de edificaciones de bambú. Sin embargo, gracias al empleo de estas herramientas de análisis se determina los esfuerzos actuantes en cada uno de los elementos, y para el diseño de secciones se realiza por el método de esfuerzos admisibles que establecen la normativa NEC-SE-GUADUA y NSR-10 Cap. G.12.

Una vez realizado el diseño de las secciones de los elementos estructurales se procede con el modelamiento geométrico final de la cubierta de bambú empleando el programa Revit.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En base al estudio de diversas especies de Guadua, se llegó a conocer que la angustifolia Kunth (GaK) es la especie adecuada para elaborar una composición estructural, actualmente el código NEC-SE-GUADUA posee los valores de esfuerzos admisibles los que se utilizó en el diseño de los elementos estructurales cubierta.
- Todos y cada uno de los elementos de guadua diseñados para la estructura cumplen con las condiciones de diseño por esfuerzos admisible, es decir, que los valores de esfuerzos solicitantes son menores a los esfuerzos admisibles que determina el código NEC_SE_GUADUA.
- Dentro de los tipos de uniones más frecuentes entre elementos tenemos: Boca de pescado, pico de flauta, a tope, empalme y bisel, las que se encuentran registradas en el código mencionado, consecuentemente se sustenta con un cálculo matemático enfatizando en demostrar el diámetro del perno en acero galvanizado grado 2 con rosca 1A.
- Se modeló la estructura en un software de la compañía Autodesk, particularmente REVIT 2017, generando una familia "columna" con extensión RFA para posteriormente anclar a la estructura global a un archivo RVT, detallando la geometría de la estructura, el sistema de la cubierta está conformado por columnas principales, columnas inclinadas, cordones superiores e inferior, montantes y diagonales, correas, vigas longitudinales, Riostras diagonales en columnas, apoyos de hormigón armado y cimentaciones.
- Se puede emplear cualquiera de los dos programas de análisis estructural según sea su preferencia, ya que ambos presentan resultados confiables y valores similares entre sí.
- El diseño de cada elemento estructural se realizó en base a los parámetros de diseño presentes en las normativas NEC-SE-GUADUA y NSR-10 cap. G.12, dándonos como resultado secciones de 6 culmos para columnas principales, 3

culmos para columnas inclinada, 3 culmos para cordones superiores e inferiores de las cerchas, 2 culmos para riostras diagonales en columnas, 2 culmos para correas, 1 culmo para montantes y diagonales en cercha.

- Para el anclaje entre los dados de hormigón y la estructura global de bambú se determinó que debe utilizar varilla corrugada A615 en base al cálculo de esfuerzos.
- El área de la varilla de anclaje entre el culmo de bambú y el dado de apoyo requería únicamente de 0.503 cm^2, y por seguridad, se diseñó con una varilla de 12 mm

5.2. RECOMENDACIONES

Una vez concluida investigación podemos sugerir las siguientes recomendaciones:

- Para el uso adecuada de los programas de análisis estructural es recomendable que el profesional tenga un nivel alto de conocimiento referente al funcionamiento de los mismos.
- Para futuras investigaciones se recomienda realizar el análisis de estructuras empleando bambú gigante (Dendrocalamus Asper).
- Como requisito fundamental para la ejecución de estructuras que contengan bambú como elemento estructural es necesario que el mismo sea inmunizado y tratado adecuadamente.
- Las conexiones entre elementos deben ser inspeccionadas y reajustadas cuanda la estructura entra en funcionamiento.
- Para futuros estudios se podría analizar estructuras mixtas de bambú y otros materiales.
- Es necesario que se realice un estudio geotécnico previo a la ejecución de la edificación.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] C. Takeuchi, «redalyc.org, Ingeniería e investigación, Comportamiento estructural de la Guadua Angustifolia. Uniones en guadua,» 3 septiembre 2004. [En línea]. Available: www.redalyc.org/pdf/643/64324201.pdf. [Último acceso: 20 noviembre 2017].

[2] P. A. Díaz Valcárcel, Análisis comparativo: Uso de Bambú vs perfiles de Acero para cobertura liviana, Arequipa: Universidad Nacional de San Austín (Escuela profesional de ingeniería civil), 2016.

[3] F. Cañizares y . J. Taco, Cálculo y diseño estructural para la cubierta del mercado central de la parroquia Pintag en base a Tenso-Estructuracon el uso de bambú gigante (Dendrocálamus Asper), Quito: Escuela Politécnica del Ejercito (carrera de ingeniería Civil), 2011.

[4] NEC-15, Estructuras de Guadua GaK, Quito: Ministerio de desarrollo Urbano y Vivienda, 2016.

[5] M. V. QUINCHIGUANO CÓRDOVA y D. M. TACO LOACHAMÍN, Análisis estructural de una edificación de Hormigón armado a través del software Robot Analysis Structural, Quito: Universidad Central del Ecuardor (carrera de ingeniería Cvil), 2016.

[6] M. Villena, Diseño y modelación de un edificio con una configuración en planta irregular, mediante la utilización del software de diseño "Revit STrcture" y su análisis mediante un software especializado "Robot Structural Analysis", Ambato: Univesidad Técnica de Ambato (carrera de ingeniería civil), 2017.

[7] INBAR, MANUEL DE CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE GaK Y OTROS BAMBÚES, QUITO , 2018.

[8] CELY MORENO, HERNÁNDEZ ROJAS y GUTIERREZ JUNCO, «CARACTERIZACIÓN DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNT CULTIVADA EN MIRAFLORES (BOYACÁ) DE ACUERDO CON LA NSR-10,» *REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA UPTC,* vol. 21, nº 33, pp. 53-71, 2012.

[9] J. A. COBOS FISCHER y X. A. LEÓN RODRÍGUEZ, PROPIEDADES FÍSICAS-MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH Y APLICACIÓN AL DISEÑO DE BATERIAS SANITARIAS DEL IASA II, SANGOLQUÍ: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO (CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL), 2007.

[10] C. &. S. CSI, «ETABS,» Computer & Structures CSI, 2018. [En línea]. Available: http://www.csiespana.com/software/5/etabs.

[11] AUTODESK, «AUTODESK,» © Copyright 2018 Autodesk, Inc. , 2018. [En línea]. Available: https://knowledge.autodesk.com/es/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ESP/Revit-Analyze/files/GUID-7CCD1413-93C6-4BD7-824B-7AB47E2AC71A-htm.html.

[12] 2. G. GROUP, «2ACAD GLOBAL GROUP,» 2018. [En línea]. Available: https://www.2acad.es/portfolio-item/robot-structural-analysis-professional/.

[13] HILDEBRANDT, «HILDEBRANDT GRUPPE,» ARQUITECTURA , 29 04 2015. [En línea]. Available: http://www.hildebrandt.cl/que-es-revit-y-para-que-sirve-en-el-modelado-bim/.

[14] ESCUELA ESDIMA SL. B-87546115, «ESDIMA ESCUELA DE DISEÑO DE MADRID,» [En línea]. Available: https://esdima.com/que-es-revit-y-para-que-sirve/.

[15] C. YOUSSEF y A. ARNEDO, Estado de conocimiento de las cubiertas metálicas, BARCELONA: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA , 2003.

[16] I. Y. C. CONSTRUMÁTICA MATAPORTAL DE ARQUITECTURA, «CONTRUMÁTICA.COM,» COSNTRUMÁTICA SERVICIOS DE INFORMACIÓN PROFESIONAL, [En línea]. Available: https://www.construmatica.com/construpedia/Cubiertas_Planas..

[17] NSR-10, Estructuras de Madera y estructuras de Guadúa, Bogotá: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2012.

[18] NEC-15, CARGAS SÍSMICAS, QUITO: Ministerio de desarrollo Urbano y Vivienda, 2015.

[19] E. E. RODRIGUEZ REINOSO, ANÁLISIS Y DISEÑO COMPARATIVO ENTRE UNA TORRE AUTOPORTADA TRIANGULAR DE 40m DE ALTURA CON MONTANTES UV Y UNA CON MONTANTES CIRCULARES, CUENCA -ECUADOR : CNIVERSIDAD DE CUENCA (FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL), 2015.

[20] NEC-15, Peligro Sísmico, Quito : Ministerio de desarrollo Urbano y Vivienda, 2015.

[21] NEC-15, Cargas Sísmicas, Quito : Ministerio de desarrollo Urbanio y Vivienda , 2015.

[22] INGEMECÁNICA, «ingemecánica.com,» [En línea]. Available: https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn110.html. [Último acceso: 18 junio 2018].

ANEXOS

Tabla comparativa de propiedades mecánicas de la guadua GaK.

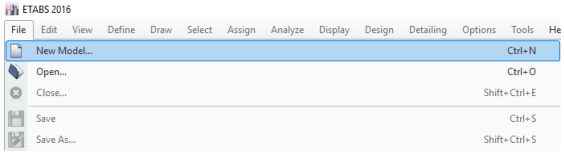
TABLA COMPARATIVA DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE GUADÚA										
FUENTE	DOCUMENTO	Obtención de las propiedades mecánicas y estructurales de la Caña Guadua angustifolia Kunth del Ecuador.	Diseño de puentes peatonales utilizando caña guadúa como elemento de construcción	Optimización de Unión en Guadua ante Solicitación de Fuerza Sísmica	Uniones Estructurales con Bambú (Guadua Angustifolia).	Metodología de Diseño de Estructuras en Guadua Angustifolia como Material Estructural por el Método de Esfuerzos Admisibles.	El Uso de la Guadua como Madera Alternativa para la Construcción y su Aplicación en la Elaboración de Tablas para Encofrado	Uso de la Caña guadúa en la Vivienda Modular.	Diseño de un Modelo de Vivienda Ecológica con Bambú para la Zona Rural de Yantzaza	Propiedades Físicas-Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth y Aplicación al Diseño de Baterías Sanitarias del IASA II
	AUTOR	Ing. Pedro Córdova	Ing. Kathia Vásconez Miranda/José R. Marín	Raúl Prieto Alzate	Ing. Sergio Gutiérrez	Ing. Caori Takeuchi	Ing. Industrial Ángel Murriagui	Arq. José Andrés Mendoza Castro / Arq. José Napoleón Rosales Salcedo	Ing. Luis Calva	Ing. Jorge Alberto Cobos Fischer / Ing. Xavier Antonio León Rodríguez
	UNIVERSIDAD	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. UCSG	Universidad de las Fuerzas Armadas. ESPE	Univ. Industrial de Santander	Universidad Nacional de Ingeniería	Universidad Nacional de Colombia	Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL	Universidad de Cuenca	Universidad de Loja	Universidad de las Fuerzas Armadas. ESPE
VARIABLE	PAÍS-FECHA DIMENSIONES	Ecuador-2014	Ecuador-2005	Colombia-2004	Perú-2010	Colombia-2011	Ecuador-2011	Ecuador-2014	Ecuador-2015	Ecuador-2007
Resistencia última a la compresión de la caña guadúa	σk = MPa	37,76	21,78	42,94	44,37	20,30	69,88	70,92	43,01	48,38
Módulo de Elasticidad de compresión	Ek = Gpa	14,35								
Resistencia última a la tensión de la caña guadúa	σk = MPa	117,60		161,47	107,69	40,70	258,49		52,46	242,43
Módulo de Elasticidad de tensión	Ek = GPa	8,31								
Resistencia última a la flexión de la caña guadúa	σk = MPa	45,85				37,40	172,70	33,31	17,16	34,98
Módulo de Elasticidad de flexión	Ek = GPa	12,16								10,36
Resistencia última al esfuerzo cortante de la caña guadúa	τk = Mpa	7,17		6,76	6,41	3,50	6,76		6,74	5,46

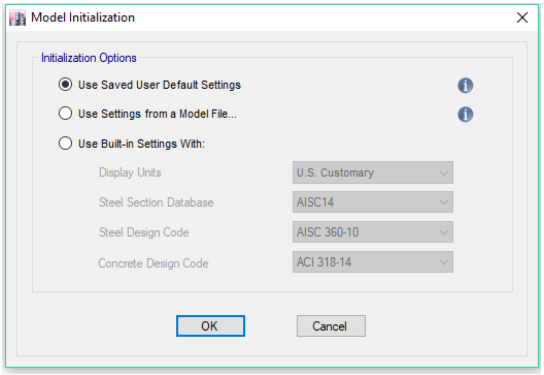
BORRADOR

MANUAL DE MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE CUBIERTA EN EL PROGRAMA ETABS

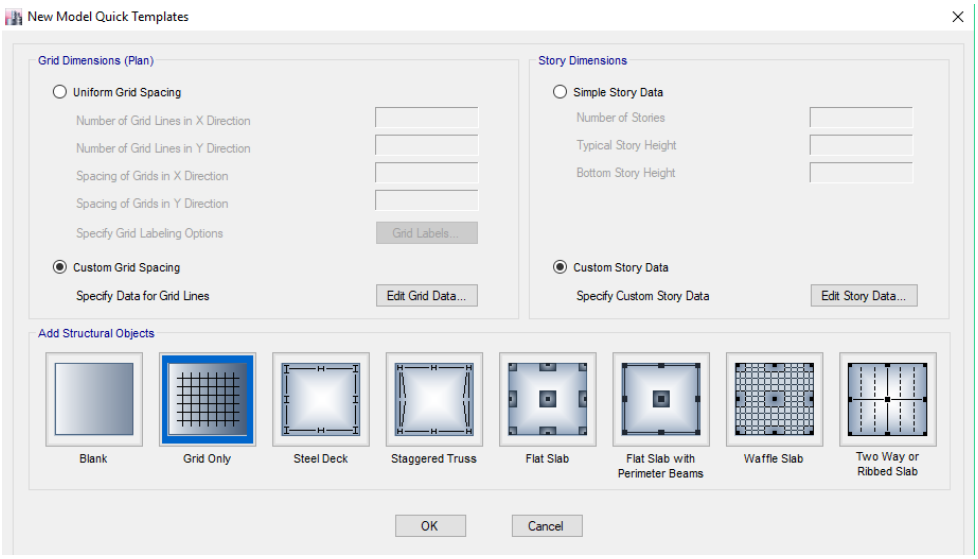
Abrimos el programa especializado de análisis estructural ETABS

Seleccionamos la opción "New Model", a continuación seleccionamos las normas con las cuales vamos a trabajar, pero en nuestro caso seleccionamos la opccioón "*por defecto"* ya que para moledar la estructura de bambú no existen normas cargadas en el programa

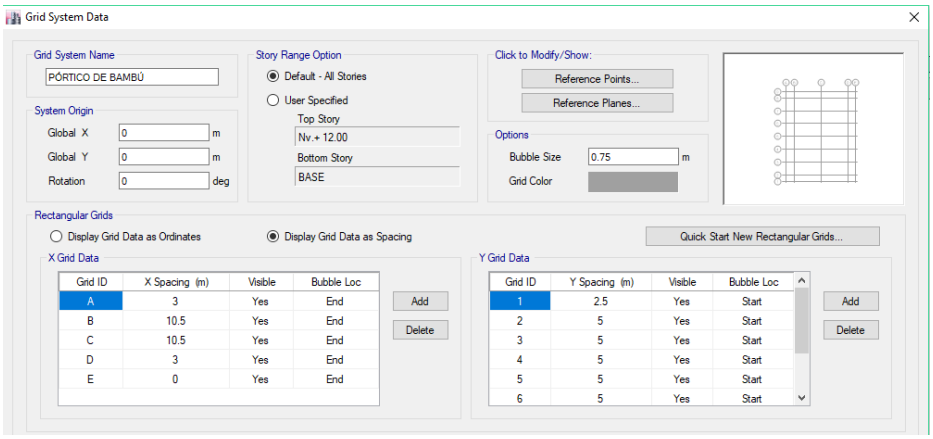




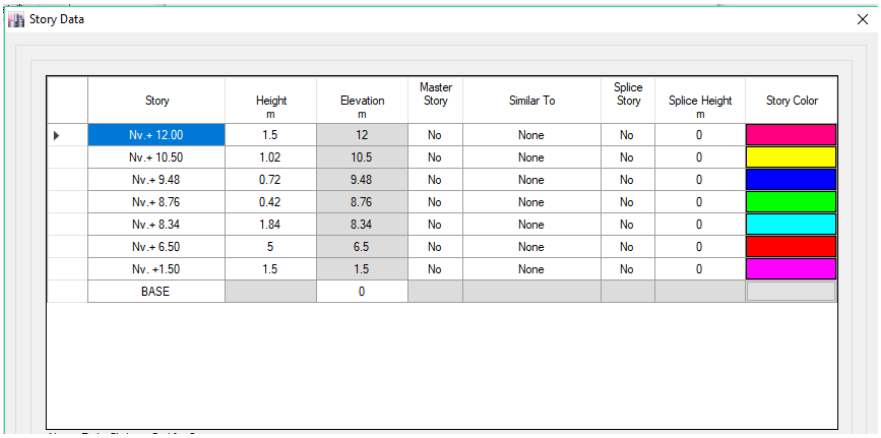
Para configurar la grilla en planta seleccionamos la opción "Custom grid Spacing"/ "Edit Grid Data"



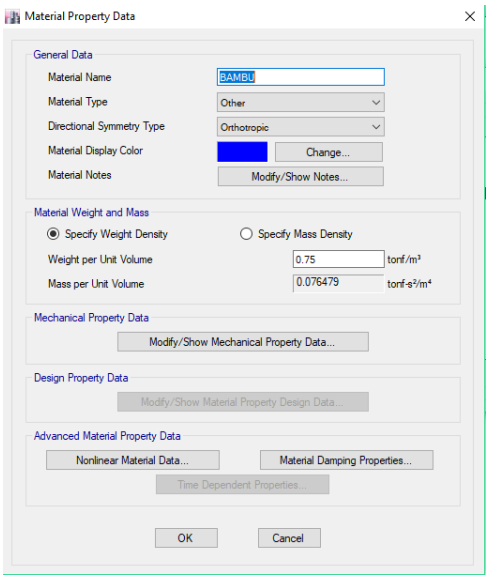
Damos valores a la grilla "ok"

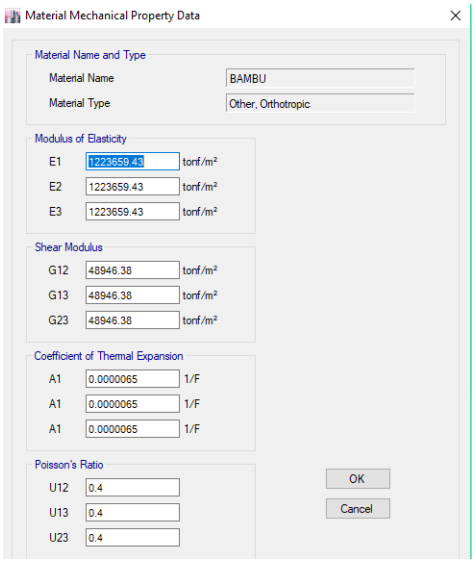


De la misma manera editamos la grilla en elevación "Custom Story Data"/ "Edit Grid Data"/ "ok"/ "ok"

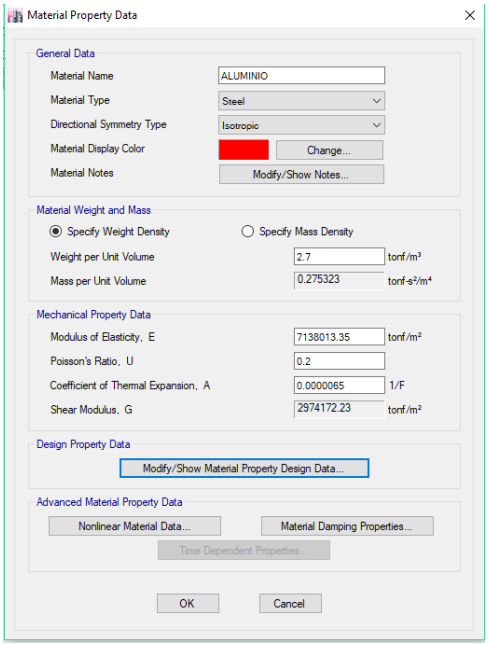


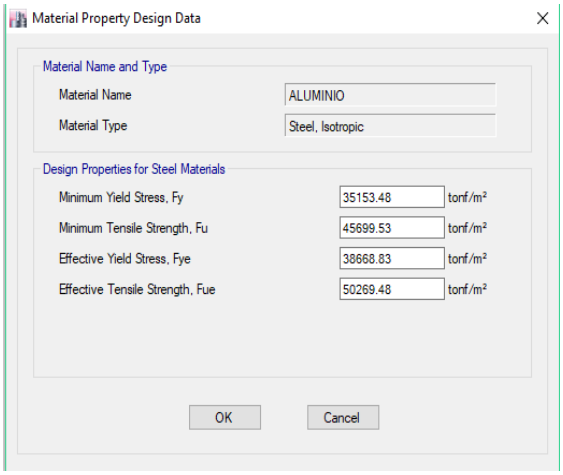
A continuación, definimos los materiales que vamos a emplear en la modelación "Define" / "Material Propieties" / "Add New Material" / "Modify/Show Mechanicla Propierties Data", e ingresar los valores propios del material "ok"/"ok"



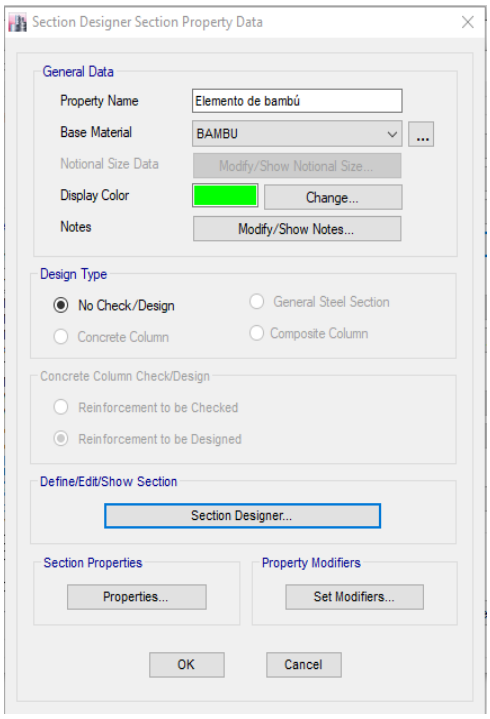


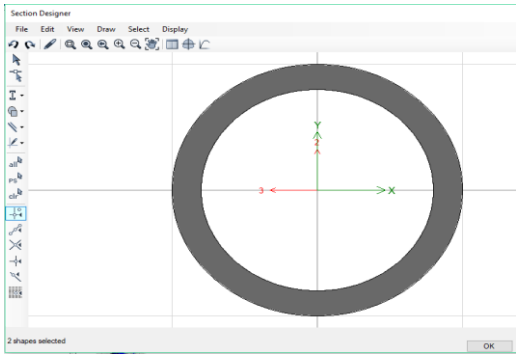
De la mima manera definimos el material con el que se modelará el techo de la cubierta "ok" / "ok"

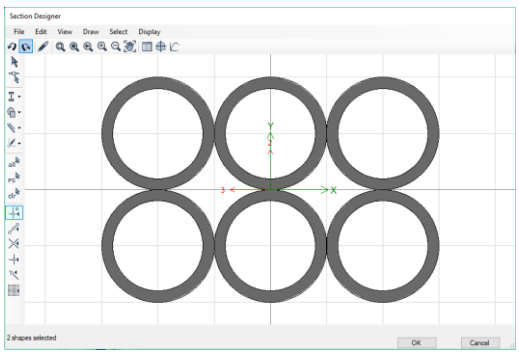




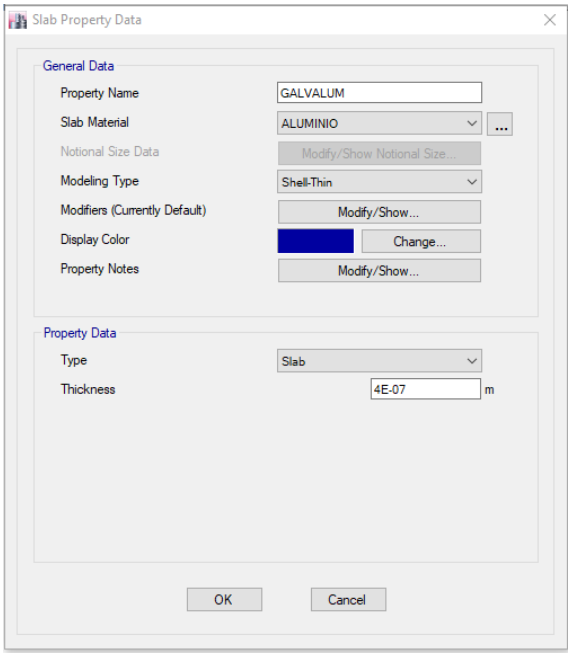
Una vez definido los materiales es necesario definir secciones de elementos "Define" / "Section Propierties" / "Frame sections"/ "Add new Property" / "Section Designer" y dibujamos la sección de cada elemento con su respectivo número de culmos "ok" / "ok"



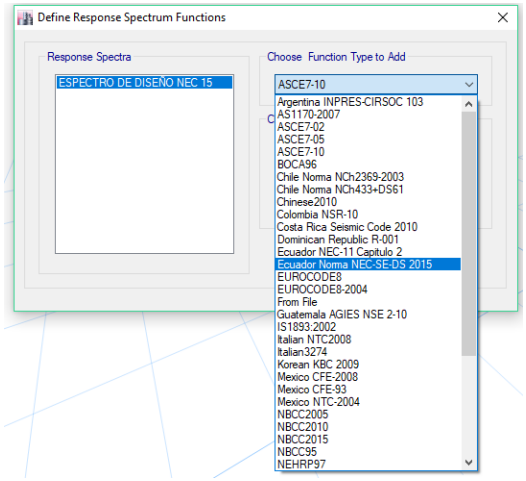


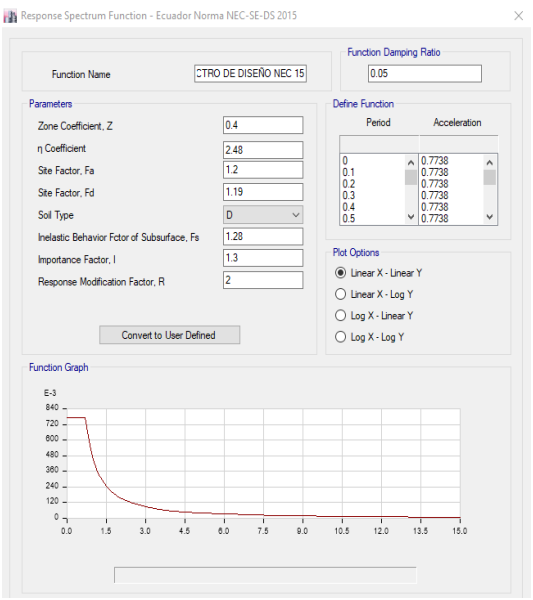


Ahora definimos la sección del techado de la cubierta "Define" / "Section Propierties" / "Slab Sections" / "Add New Property"

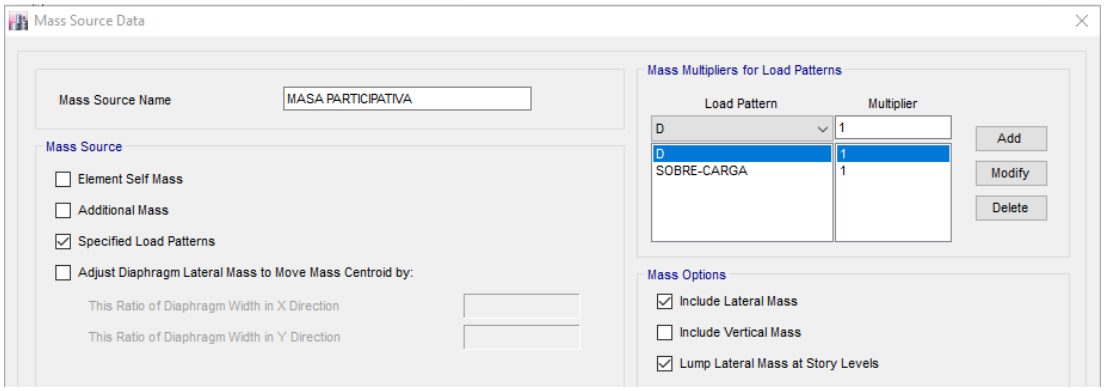


Cuando los materiales y las secciones de los elementos se encuentren definidos, es pertinente definir el espectro de diseño "Define" / "Funtions" / "Response Spectrum", seleccionar la norma, cabe recalcar que el ETABS 2016 cuanta con la norma NEC-11 y NEC-15, ingresamos las características símicas y de suelo según corresponda "ok" / "ok"

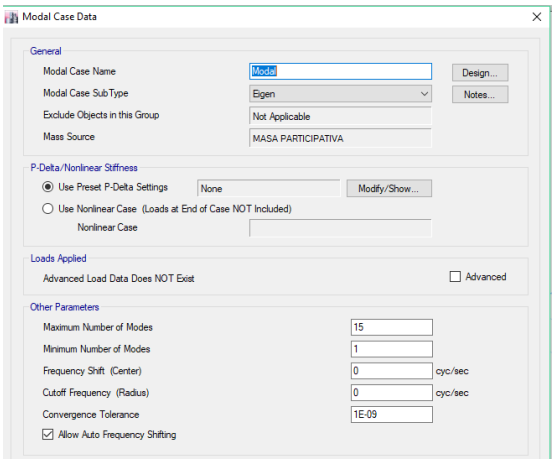




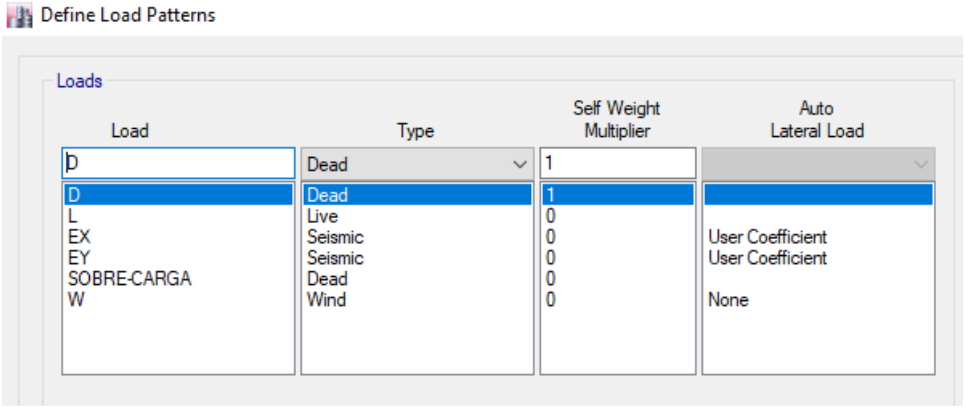
Definir la participación de masas "Define" / "Mass Sources" / "Add New Mass Source", seleccionamos el peso propi y la carga muerta adicional con el factor 1 "Add" / "ok" / "ok"



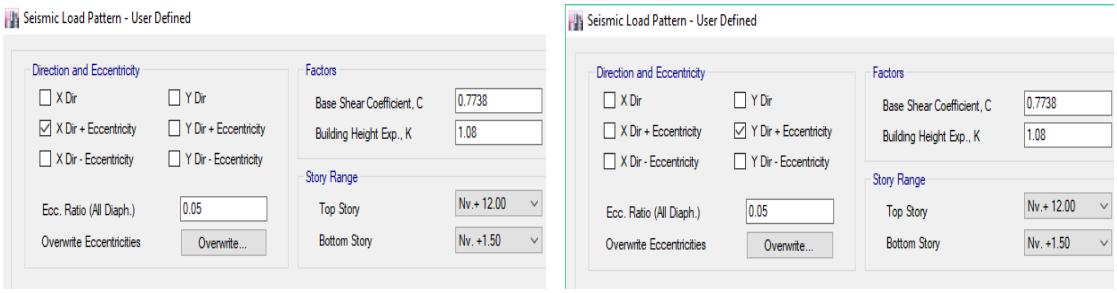
Definir el análisis modal "Define" / "Modal Cases" / "Add New Case" ingresamos el número de modos "ok" / "ok"



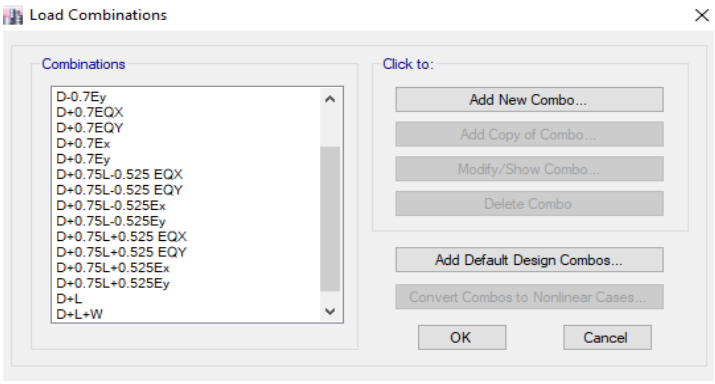
A continuación, se define los patrones de carga "Define" / "Load Patterns" / "Add New Load"



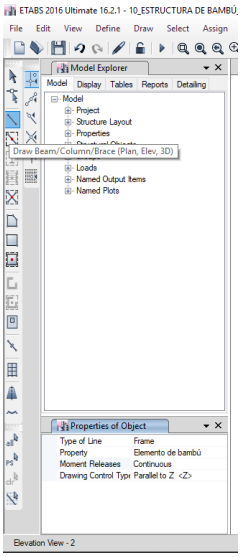
Modificar las cargar sísmicas o laterales X y Y "Modify Lateral Load", ingresar el coeficiente C en base al espectro calculado "ok" / "ok"



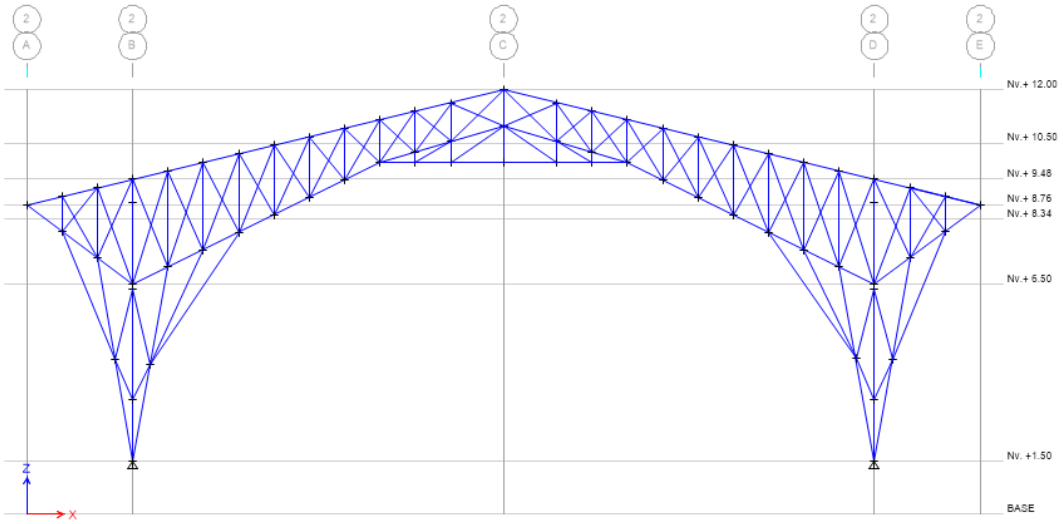
Definir combinaciones de carga "Define" / "Load Combinations" / "Add New Combo", ingresar las combinaciones respectivas que determina el código NEC_SE_GUADUA mas una combinación por efectos del viento "ok" / "ok"



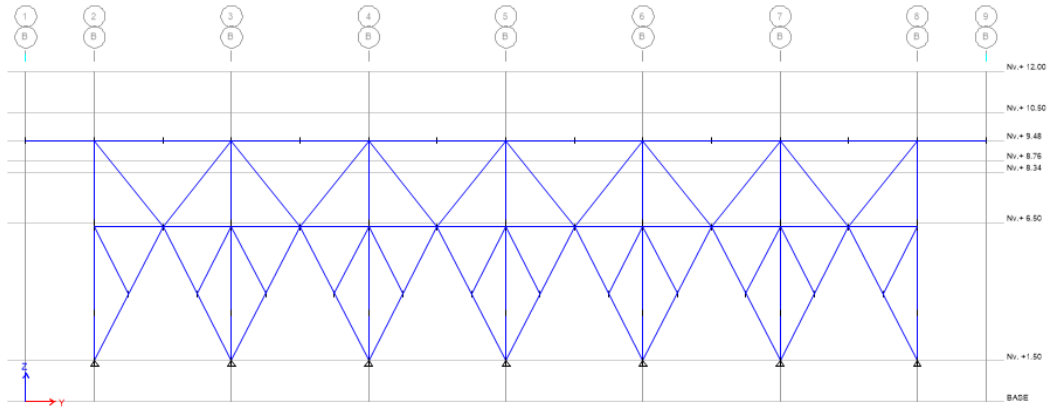
Modelar la estructura mediante las herramientas de dibujo que presenta el software "Draw/Beam/Column/Brace (Plan,Elev,3D)



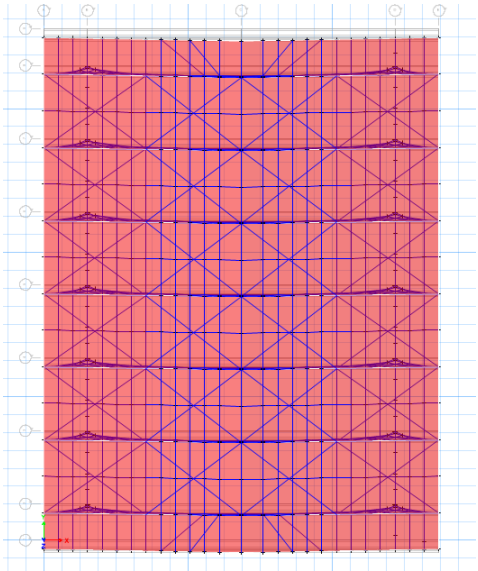
Dibujar el pórtico principal



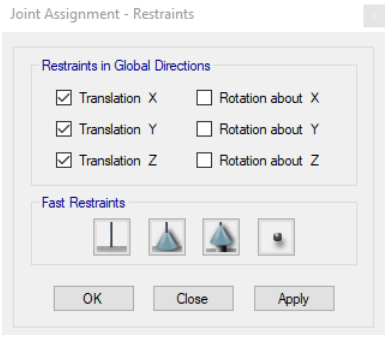
Dibujar pórticos longitudinales



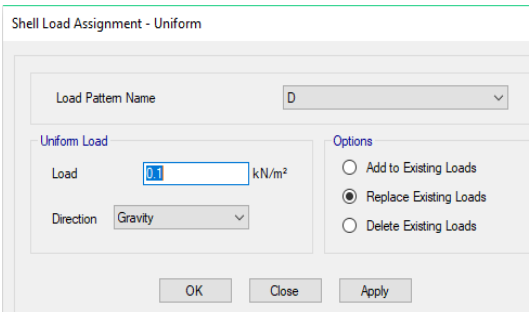
Dibujar correas, tensores y techo

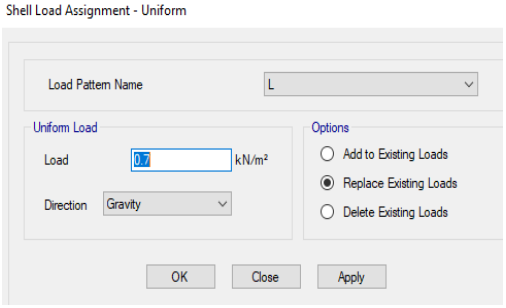


Asignar restricciones a los apoyos "Assign" / "Joint" / "Restraints", condición de apoyado

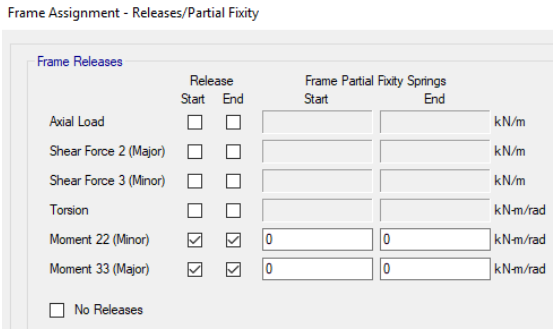


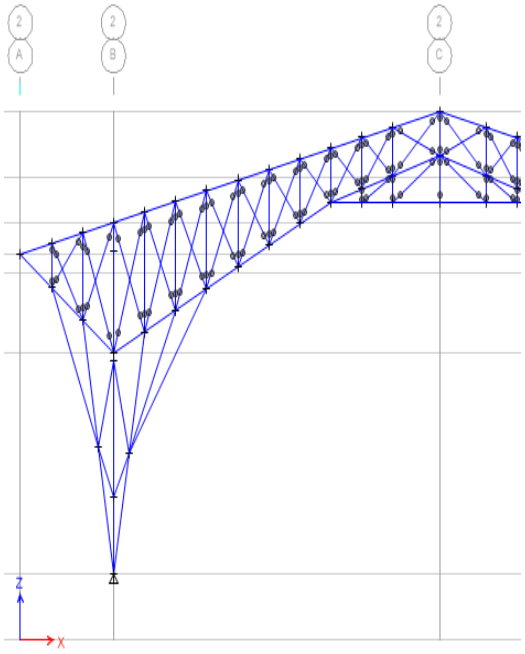
Asignar cargas a la cubierta "Assign" / "Shell Loads" / "Uniform" y asignar el tipo de carga actuante en el elemento



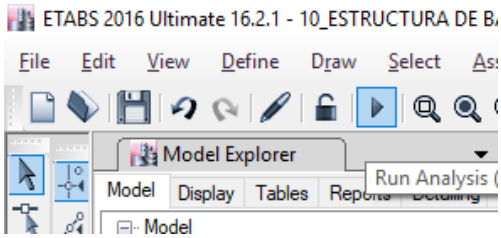


Liberar los momentos en los elementos de la cercha "Assign" / "Frame" / "Releases/Partial Fixity"

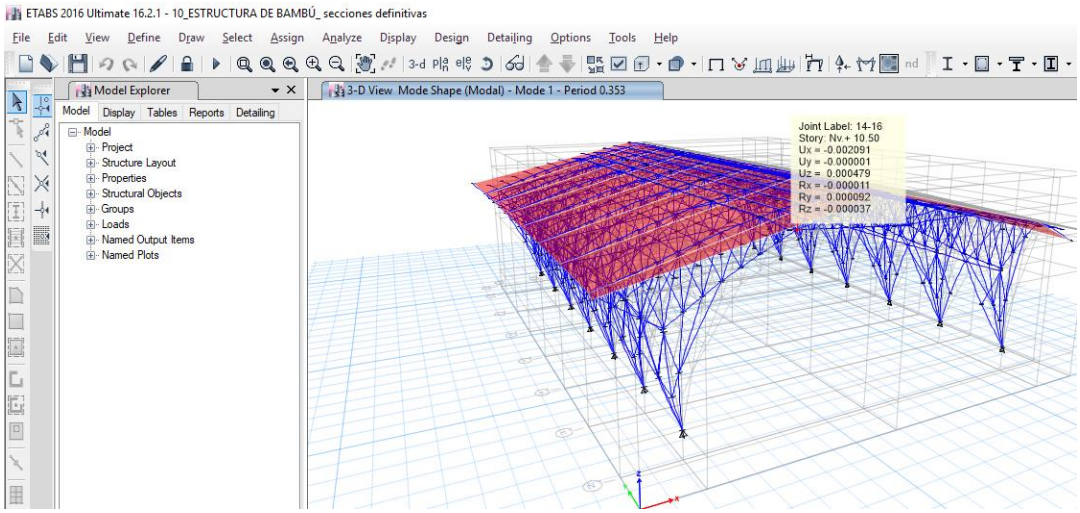




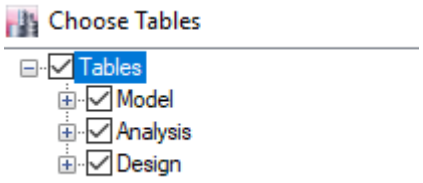
Correr el programa y verificar que cumpla con los chequeos pertinentes

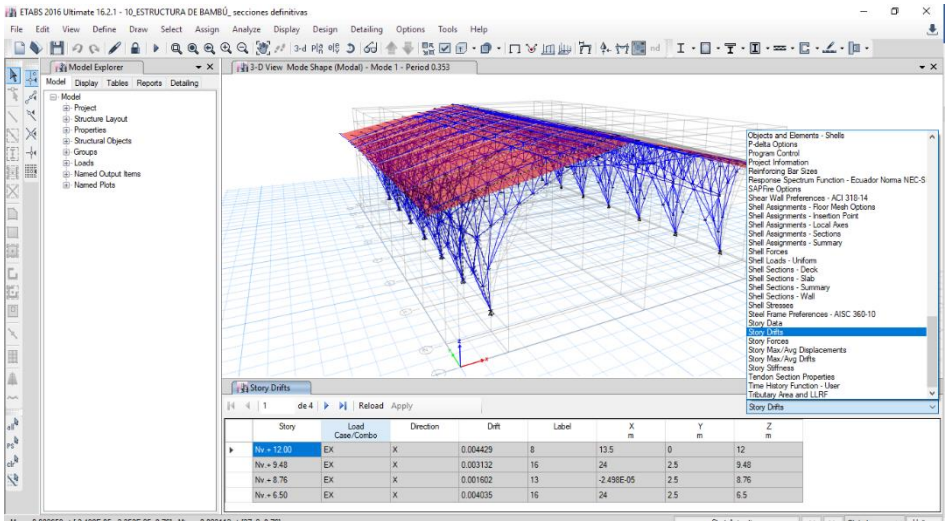


Verificar el período de vibración de la estructura



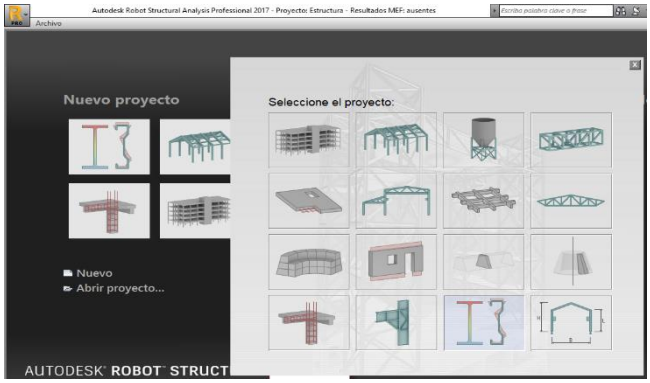
Verificar derivas "Display" / "Show Tables" / "Story Drifts"



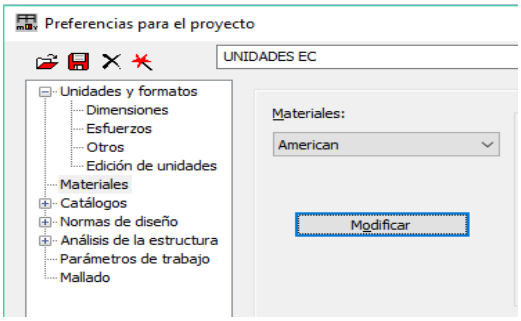


MANUAL DE MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE CUBIERTA EN EL PROGRAMA ROBOT STRUCTURE ANALYSIS

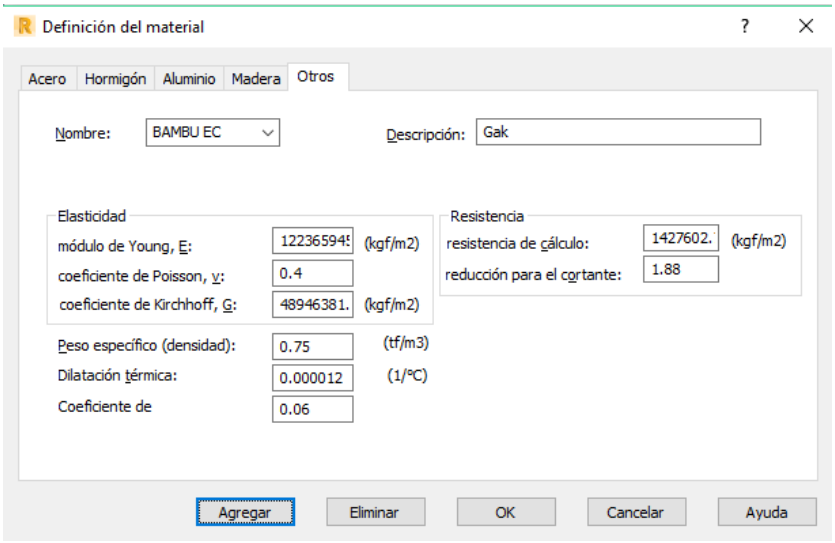
Ingresar al programa y previo a la modelación de estructura es necesario definir el material y las secciones "Nuevo" / "Definición de perfiles"



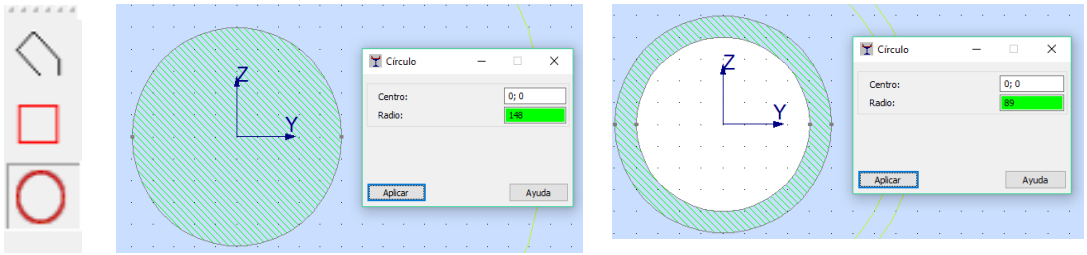
"Herramienta" / "Preferencias del proyecto" / "Materiales" / "Modificar"



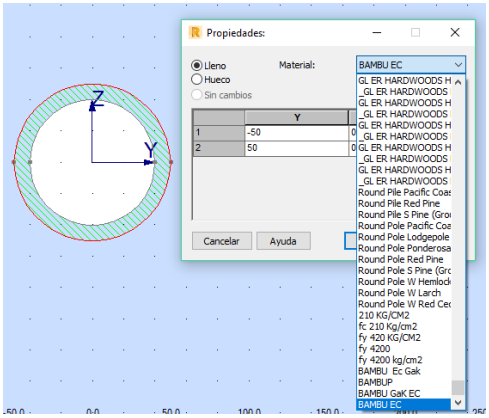
Seleccionar la pestaña "Otros" e ingresar las características mecánicas del bambú y "Agregar"



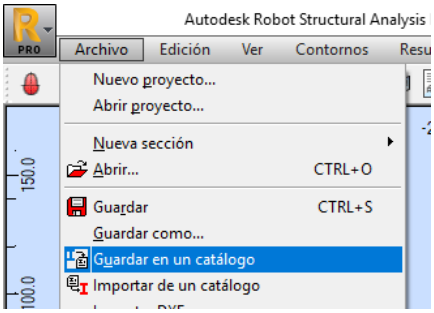
Dibujar la sección del material, seleccionar el centro de la sección e ingresar el valor del radio y dar click al botón "Aplicar"

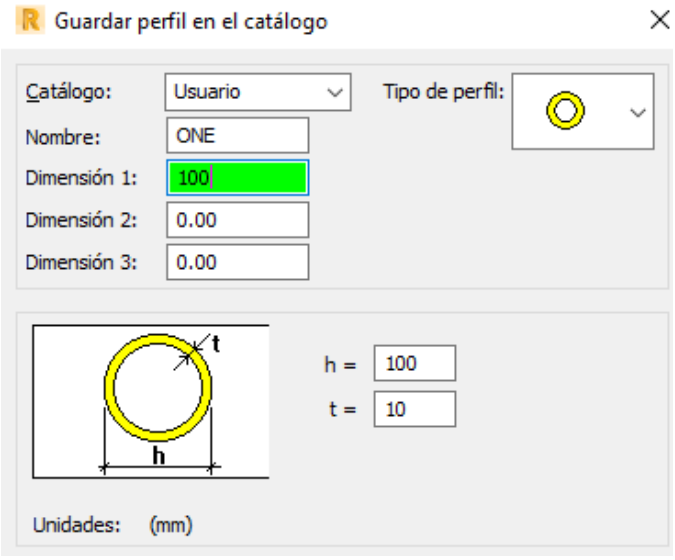


Click derecho sobre la circunferencia exterior y seleccionar el material de la sección "Aplicar"

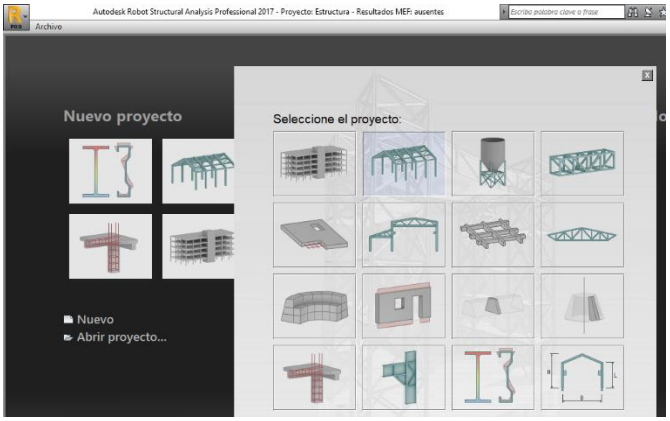


Guardar la sección creada en un catálogo "Archivo" / "Guardar en Catálago", seleccionar el catálogo, tipo de perfil ingresar el valor de la dimensión 1 "Ok"

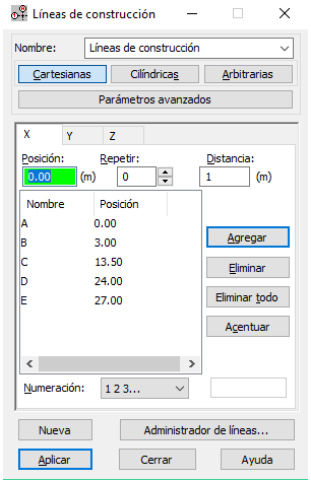


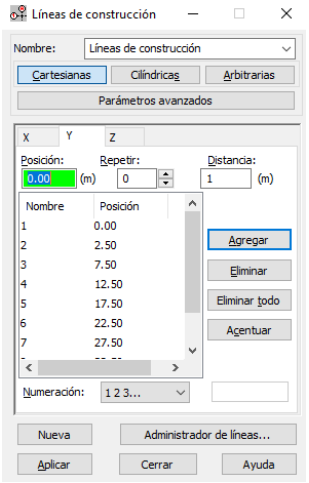


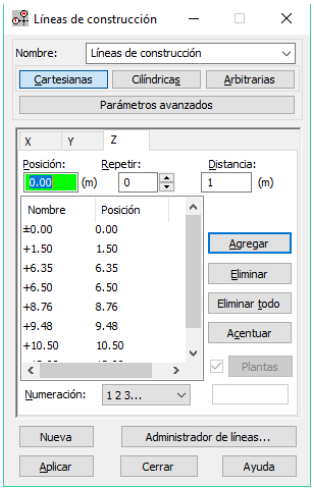
Nuevamente ingresamos al programa "Nuevo" / "Pórtico espacial"



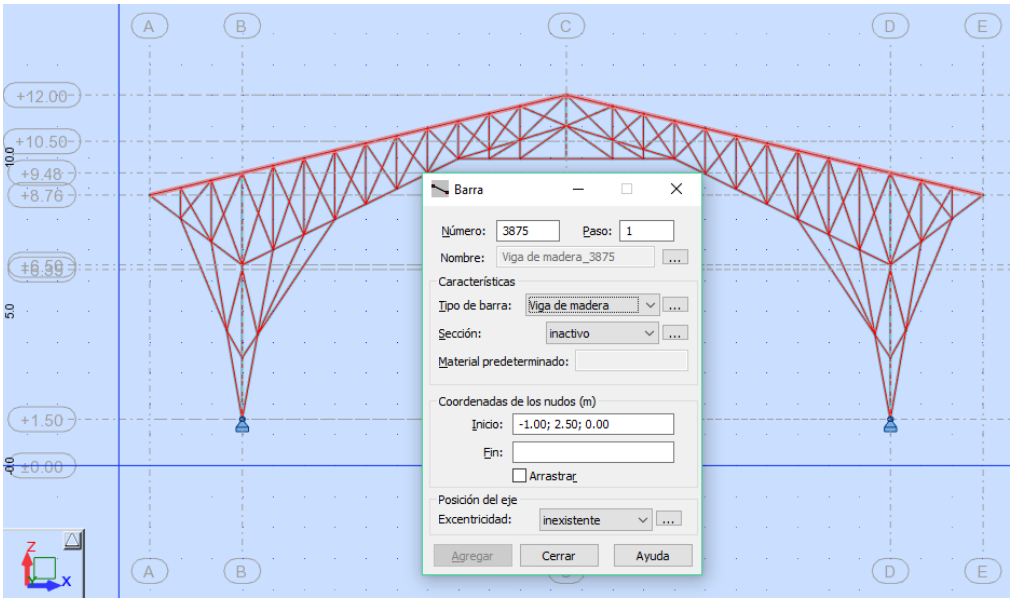
Click en "Líneas de construcción" para generar la grilla  *, e ingresamos las dimensiones en X,Y y Z para el proyecto "Aplicar"*



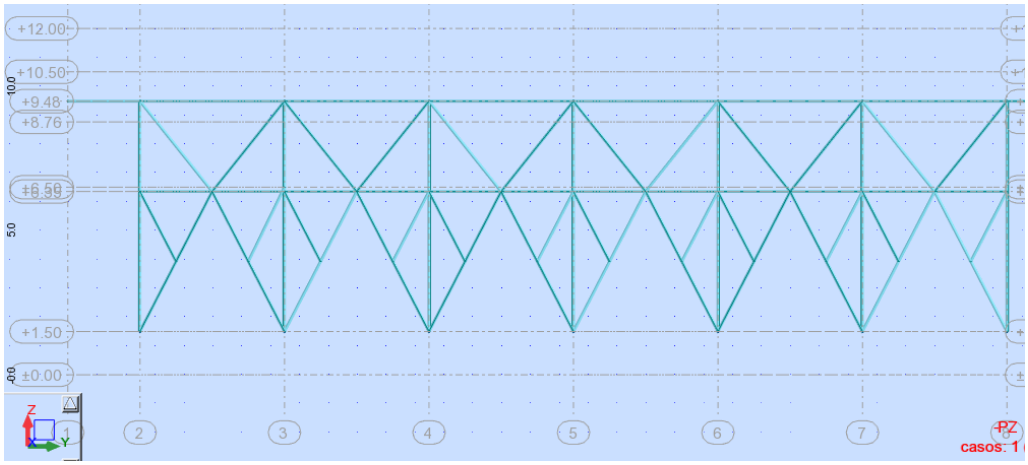




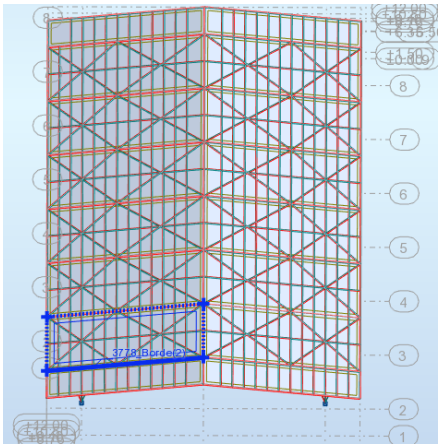
Dibujar el pórtico principal mediante la herramienta "Barras" 



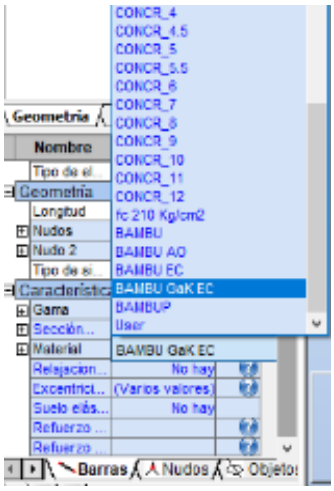
De la misma manera dibujar el pórtico longitudinal

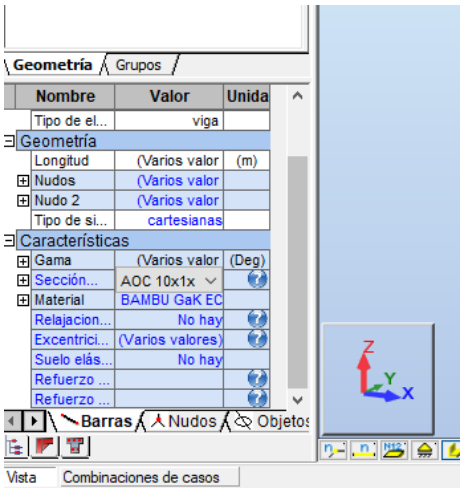


Dibujar correas, tensores y techo

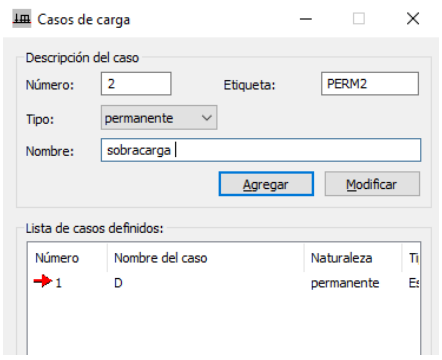


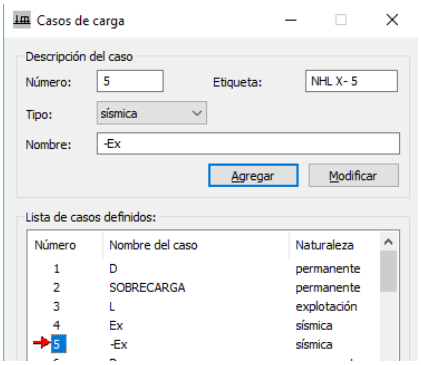
Cuando la estructura este modelada en su totalidad, es pertinente seleccionar el material y la sección de los elementos, seleccionamos toda la estructura



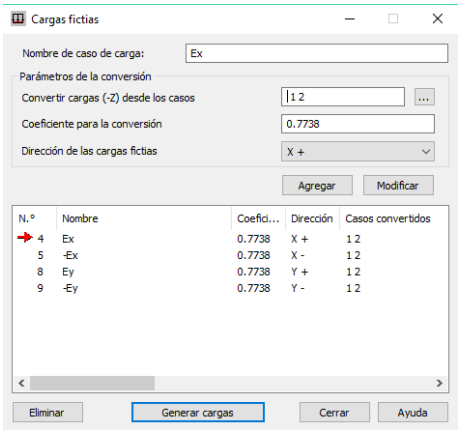


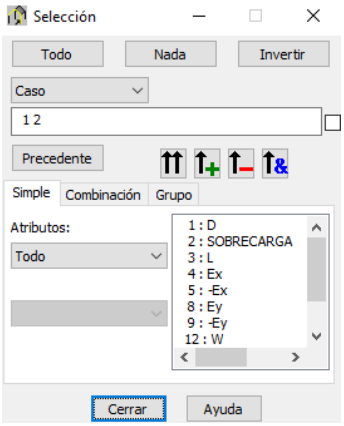
Definir tipos de carga "Cargas" / "Casos de carga", ingresamos los diferentes tipos de carga requeridos para el análisis de la estructura, "Agregar"



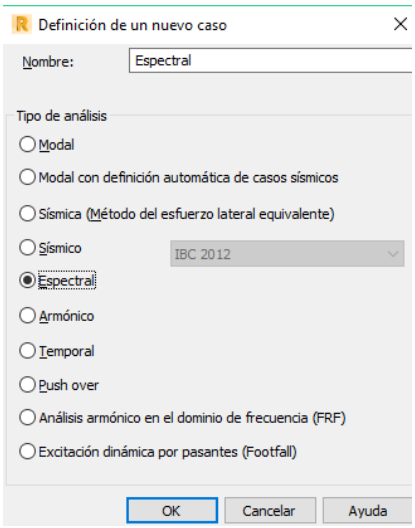


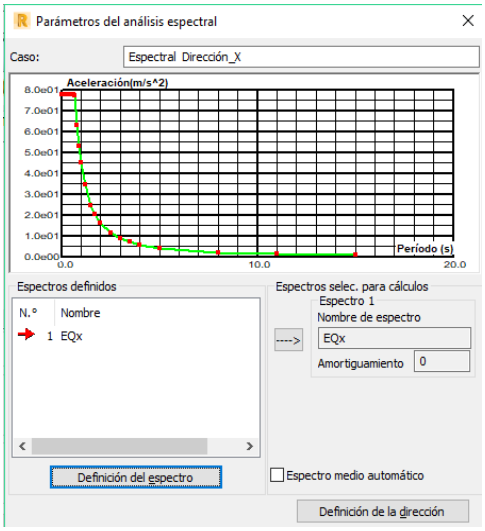
Definir cargas sísmicas "Cargas" / "Cargas especiales" / "Cargas fictias"



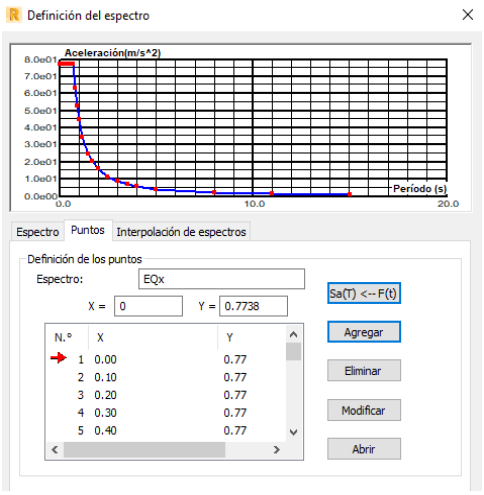


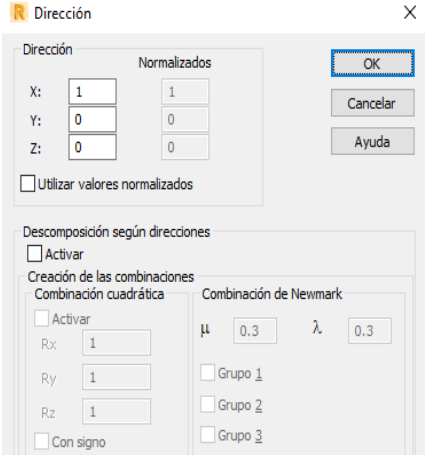
Genera el espectro de diseño "Análisis" / "Tipo de Análisis" / "Nuevo" / "Espectral" / "ok" / "Definir Espectro" / "Puntos", ingresamos los puntos "Agregar" / "Cerrar"



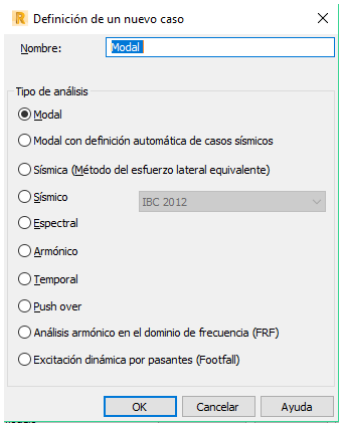


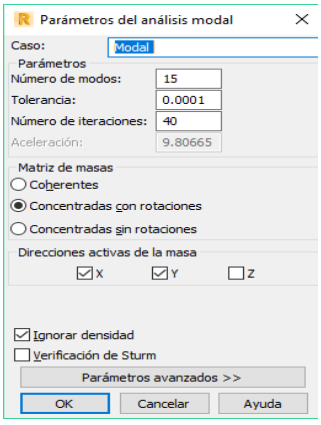
"Definir Dirección" y realizar el mismo proceso para ingresar el espectro para "Y"



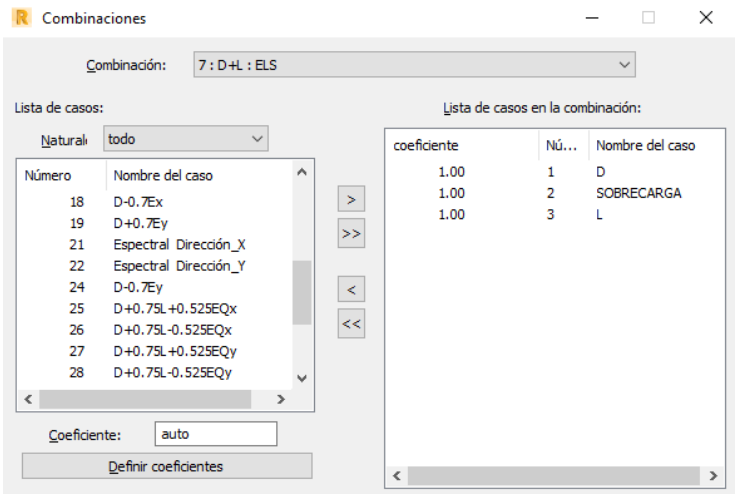


Definir el análisis modal de la estructura "Análisis" / "Topo de análisis" / "Nuevo" / "Modal" / "ok"

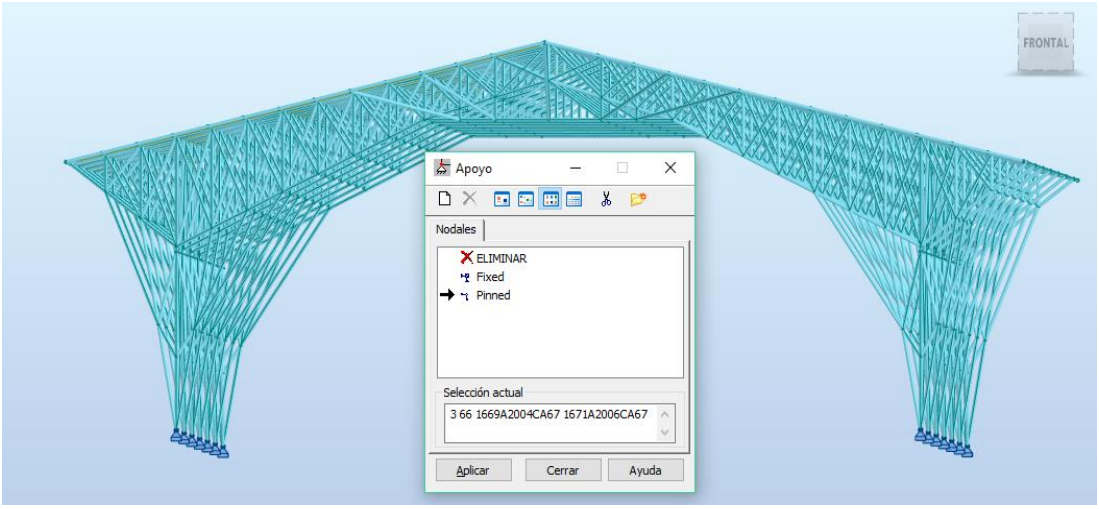




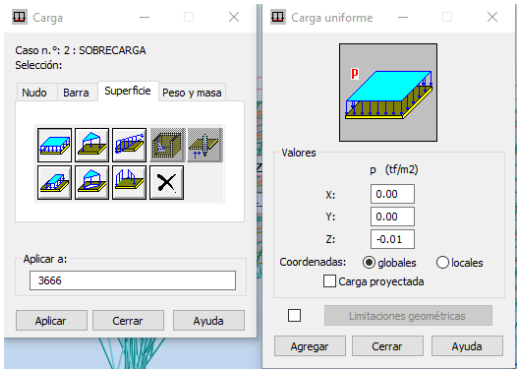
Ahora es conveniente definir las combinaciones de carga "Cargas" / "Combinaciones manuales" / "Nueva" y se ingresan todas las combinaciones que indica el código mas una combinación de viento

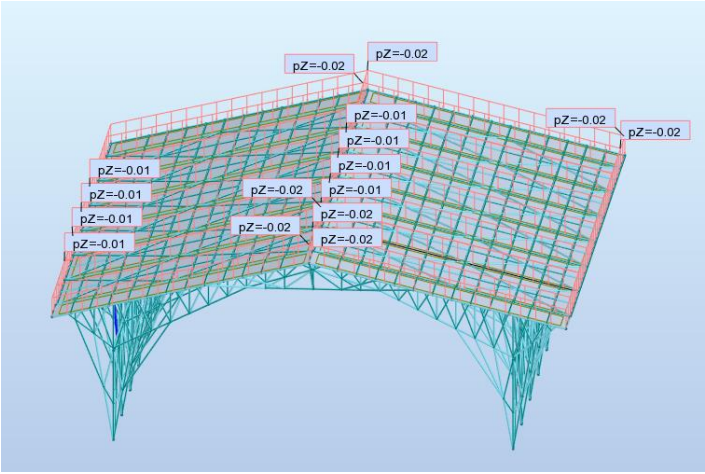


Asignar tipo de restricción para los apoyos de la estructura  *seleccionar "Pinned" ya que las estructuras de bambú o GaK se calculan como simplemente apoyadas*

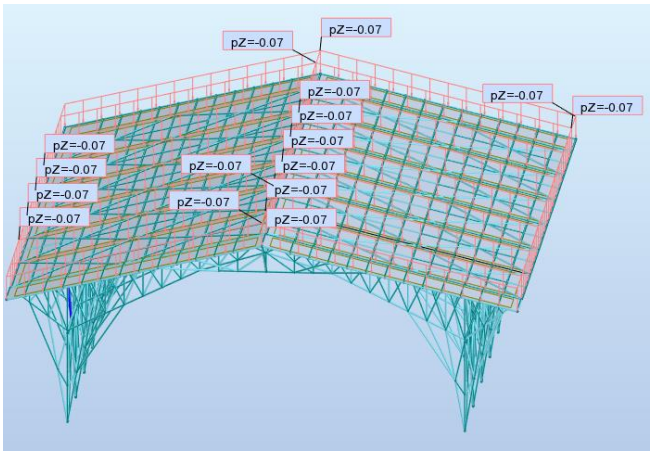


Una vez realizado todo lo anterior mencionado es necesario asignar valor a las cargas muertas, vivas y de viento "Cargas" / "Cargas" / "Superficie" / "Carga superficial uniforme" , e ingresar el valor en el sentido en la dirección en la que va a ser aplicada la carga "Agregar"

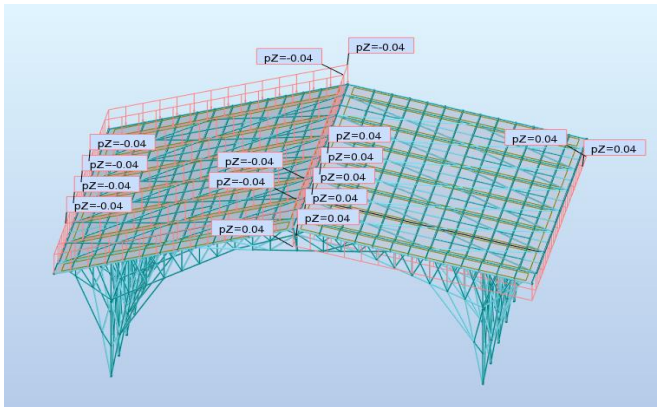




Repetimos el procedimiento para ingresar la carga viva y de viento



Carga de viento

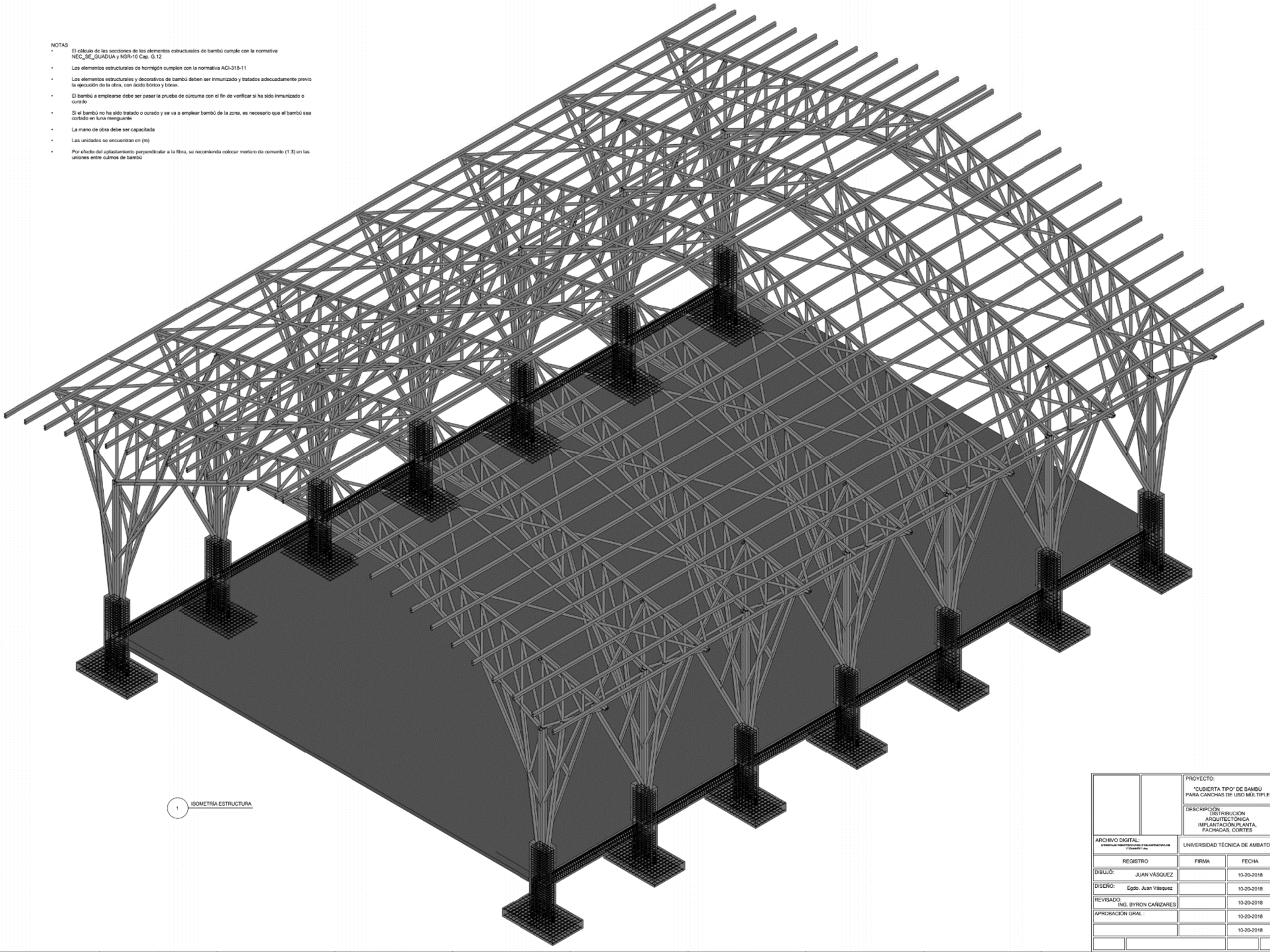


Cuando se haya ingresado todos los parámetros y características de la estructura se procede a calcular  *y verificar que la estructura cumpla con todos los chequeos pertinentes por ejemplo período de vibración en base al análisis modal "Resultados" / "Avanzado" / "Modos propios"*

Caso/Modo	Frecuencia (Hz)	Período (sec)	. UX (%)	. UY (%)	. UZ (%)	Masas corr. UX (%)	Masas corr. UY (%)	Masas corr. UZ (%)	Total masas UX (kg)	Total masas UY (kg)	Total masas UZ (kg)
20/ 1	1.89	0.53	98.99	0.00	0.0	98.99	0.00	0.0	23040.37	23040.35	0.0
20/ 2	3.14	0.32	98.99	61.89	0.0	0.00	61.89	0.0	23040.37	23040.35	0.0
20/ 3	3.31	0.30	99.03	63.84	0.0	0.04	1.95	0.0	23040.37	23040.35	0.0
20/ 4	3.59	0.28	99.05	64.14	0.0	0.02	0.31	0.0	23040.37	23040.35	0.0
20/ 5	5.39	0.19	99.10	64.16	0.0	0.06	0.02	0.0	23040.37	23040.35	0.0
20/ 6	5.54	0.18	99.11	64.25	0.0	0.01	0.09	0.0	23040.37	23040.35	0.0
20/ 7	5.60	0.18	99.11	64.31	0.0	0.00	0.06	0.0	23040.37	23040.35	0.0
20/ 8	5.69	0.18	99.11	64.32	0.0	0.00	0.01	0.0	23040.37	23040.35	0.0
20/ 9	5.80	0.17	99.11	64.32	0.0	0.00	0.00	0.0	23040.37	23040.35	0.0
20/ 10	5.84	0.17	99.12	64.48	0.0	0.01	0.16	0.0	23040.37	23040.35	0.0
20/ 11	5.99	0.17	99.12	65.46	0.0	0.00	0.98	0.0	23040.37	23040.35	0.0
20/ 12	6.22	0.16	99.12	67.18	0.0	0.00	1.72	0.0	23040.37	23040.35	0.0
20/ 13	6.32	0.16	99.12	94.82	0.0	0.00	27.64	0.0	23040.37	23040.35	0.0
20/ 14	6.38	0.16	99.12	94.84	0.0	0.00	0.02	0.0	23040.37	23040.35	0.0
20/ 15	6.47	0.15	99.12	94.87	0.0	0.00	0.04	0.0	23040.37	23040.35	0.0
21/ 1	1.89	0.53	98.99	0.00	0.0	98.99	0.00	0.0	23040.37	23040.35	0.0

NOTAS

- El cálculo de las secciones de los elementos estructurales de bambú cumple con la normativa NEC_SE_GUADUA y NSR-10 Cap. G.12
- Los elementos estructurales de hormigón cumplen con la normativa ACI-318-11
- Los elementos estructurales y decorativos de bambú deben ser inmunizado y tratados adecuadamente previo la ejecución de la obra, con ácido bórico y bórax.
- El bambú a emplearse debe ser pasar la prueba de cúrcuma con el fin de verificar si ha sido inmunizado o curado
- Si el bambú no ha sido tratado o curado y se va a emplear bambú de la zona, es necesario que el bambú sea cortado en luna menguante
- La mano de obra debe ser capacitada
- Las unidades se encuentran en (m)
- Por efecto del aplastamiento perpendicular a la fibra, se recomienda colocar mortero de cemento (1:3) en las uniones entre culmos de bambú



1 ISOMETRÍA ESTRUCTURA

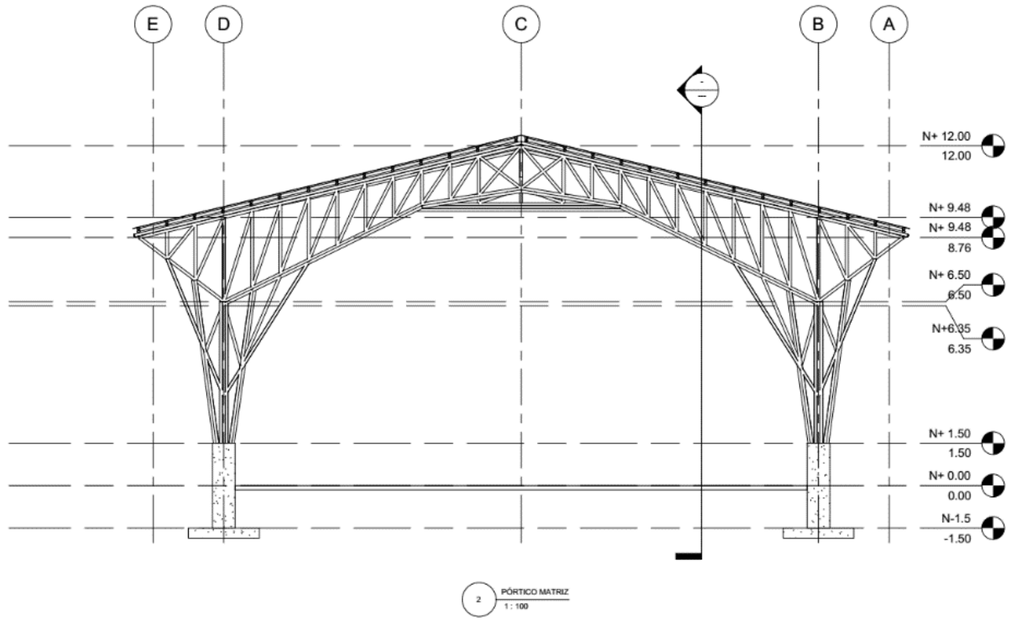
		PROYECTO: "CUBIERTA TIPO" DE BAMBÚ PARA CANCHAS DE USO MÚLTIPLE	PROPIETARIO:
		DESCRIPCIÓN: DISTRIBUCIÓN ARQUITECTÓNICA IMPLANTACIÓN,PLANTA, FACHADAS, CORTES	UBICACIÓN: ECUADOR TUNGURAHUA
ARCHIVO DIGITAL:		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
REGISTRO		FIRMA	FECHA
DIBUJÓ:	JUAN VÁSQUEZ		10-20-2018
DISEÑO:	Egdo. Juan Vásquez		10-20-2018
REVISADO:	ING. BYRON CAÑIZARES		10-20-2018
APROBACIÓN GRAL :			10-20-2018
			10-20-2018

OBS:

FORMATO: A1 | CÓDIGO: T01 | LÁMINA: E3/5

ESCALA: INDICADAS

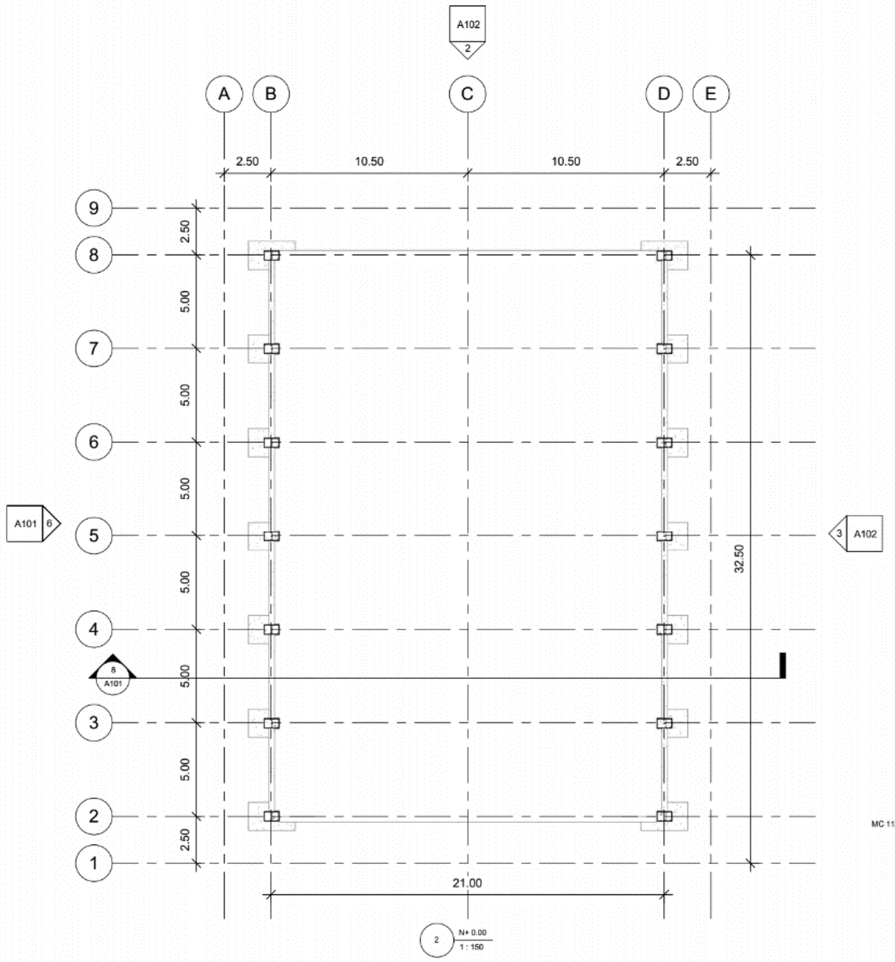
VERSIÓN:



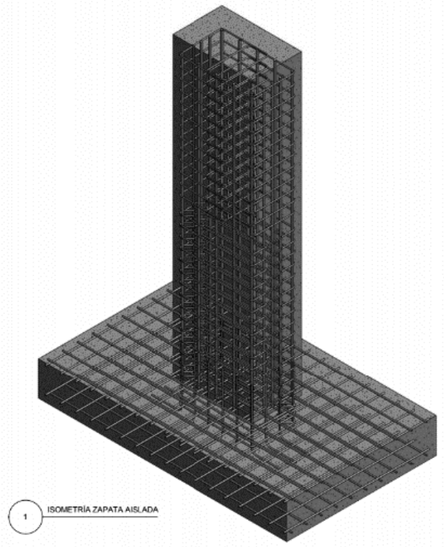
2 PÓRTICO MATRIZ
1 : 100

PLANILLA DE LEMENTOS

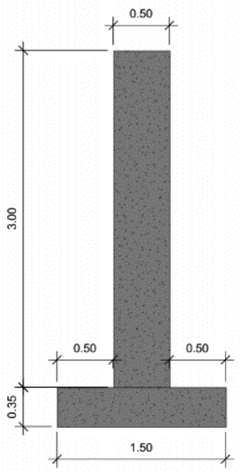
NIVEL BASE	EJE	LONGITUD	NIVEL SUPERIOR
N+ 1.50	B-2	5.00	N+ 6.50
N+ 1.50	B-3	5.00	N+ 6.50
N+ 1.50	B-4	5.00	N+ 6.50
N+ 1.50	B-5	5.00	N+ 6.50
N+ 1.50	B-6	5.00	N+ 6.50
N+ 1.50	B-7	5.00	N+ 6.50
N+ 1.50	B-8	5.00	N+ 6.50
N+ 1.50	C-2	5.00	N+ 6.50
N+ 1.50	C-3	5.00	N+ 6.50
N+ 1.50	C-4	5.00	N+ 6.50
N+ 1.50	C-5	5.00	N+ 6.50
N+ 1.50	C-6	5.00	N+ 6.50
N+ 1.50	C-7	5.00	N+ 6.50
N+ 1.50	C-8	5.00	N+ 6.50
N+ 1.50	D-2	5.00	N+ 6.50
N+1.5	D-3	3.00	N+ 1.50
N+1.5	D-4	3.00	N+ 1.50
N+1.5	D-5	3.00	N+ 1.50
N+1.5	D-6	3.00	N+ 1.50
N+1.5	D-7	3.00	N+ 1.50
N+1.5	D-8	3.00	N+ 1.50
N+1.5	E-2	3.00	N+ 1.50
N+1.5	E-3	3.00	N+ 1.50
N+1.5	E-4	3.00	N+ 1.50
N+1.5	E-5	3.00	N+ 1.50
N+1.5	E-6	3.00	N+ 1.50
N+1.5	E-7	3.00	N+ 1.50
N+1.5	E-8	3.00	N+ 1.50
N+ 1.50		5.81	N+6.35
N+ 1.50		5.55	N+6.35
N+ 1.50		5.24	N+6.35
N+ 1.50		5.67	N+6.35
N+ 1.50		3.52	N+6.35
N+ 1.50		14.64	N+6.35
N+ 1.50		7.80	N+6.35
N+ 1.50		3.54	N+6.35
N+ 1.50		14.04	N+6.35
N+ 1.50		7.80	N+6.35
N+ 1.50		5.81	N+6.35
N+ 1.50		5.55	N+6.35
N+ 1.50		5.24	N+6.35
N+ 1.50		5.67	N+6.35
N+ 1.50		3.52



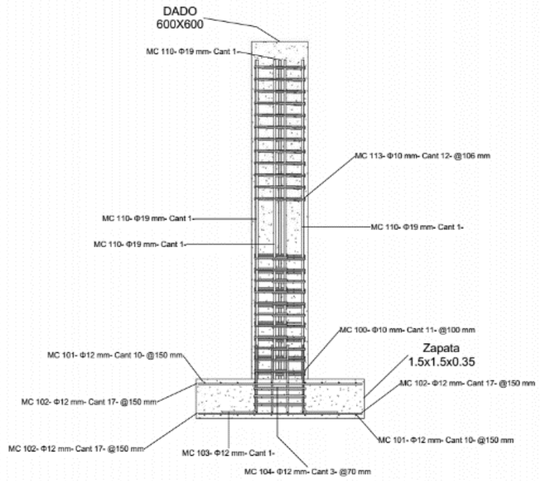
2 N+ 0.00
1 : 150



1 ISOMETRÍA ZAPATA AISLADA



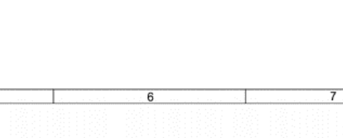
4 DIMENSIONES ZAPATA
1 : 25



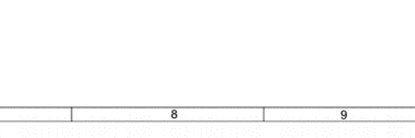
5 ARMADO DE ZAPATA AISLADA
1 : 25

VOLUMEN HORMIGON ZAPATAS			
VOLUMEN HORMIGON	ESPESOR	LARGO	ANCHO
1.31 m³	0.35	1.50	2.50
1.31 m³	0.35	1.50	2.50
1.31 m³	0.35	1.50	2.50
1.31 m³	0.35	1.50	2.50
1.31 m³	0.35	1.50	2.50
1.31 m³	0.35	1.50	2.50
1.31 m³	0.35	1.50	2.50
1.31 m³	0.35	1.50	2.50
1.31 m³	0.35	1.50	2.50
1.31 m³	0.35	1.50	2.50
1.31 m³	0.35	1.50	2.50
1.31 m³	0.35	1.50	2.50
1.31 m³	0.35	1.50	2.50
1.31 m³	0.35	1.50	2.50

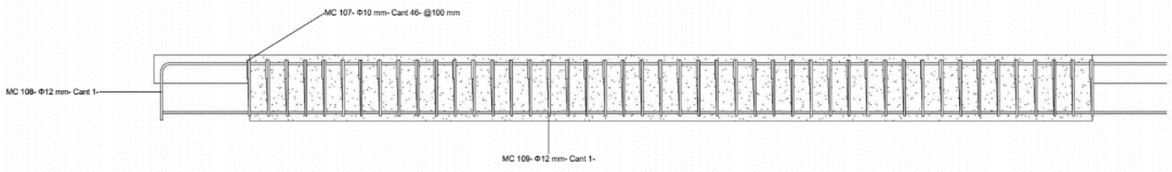
18.38 m³



7 N+ 0.00 Copy 1
1 : 20

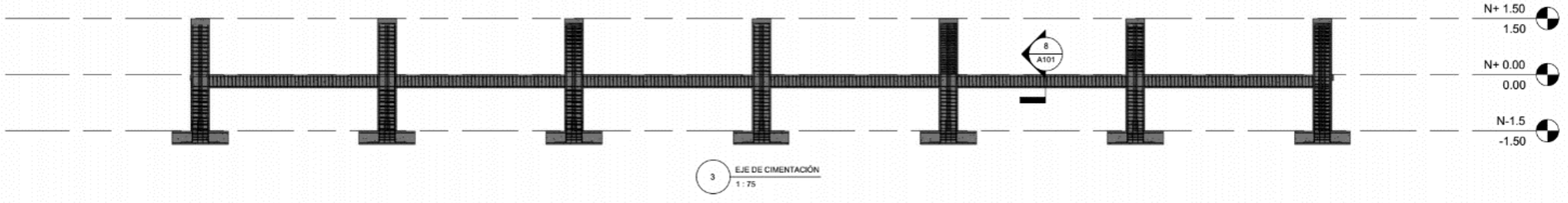


8 SECCIÓN VIGA DE AMARRE
1 : 10



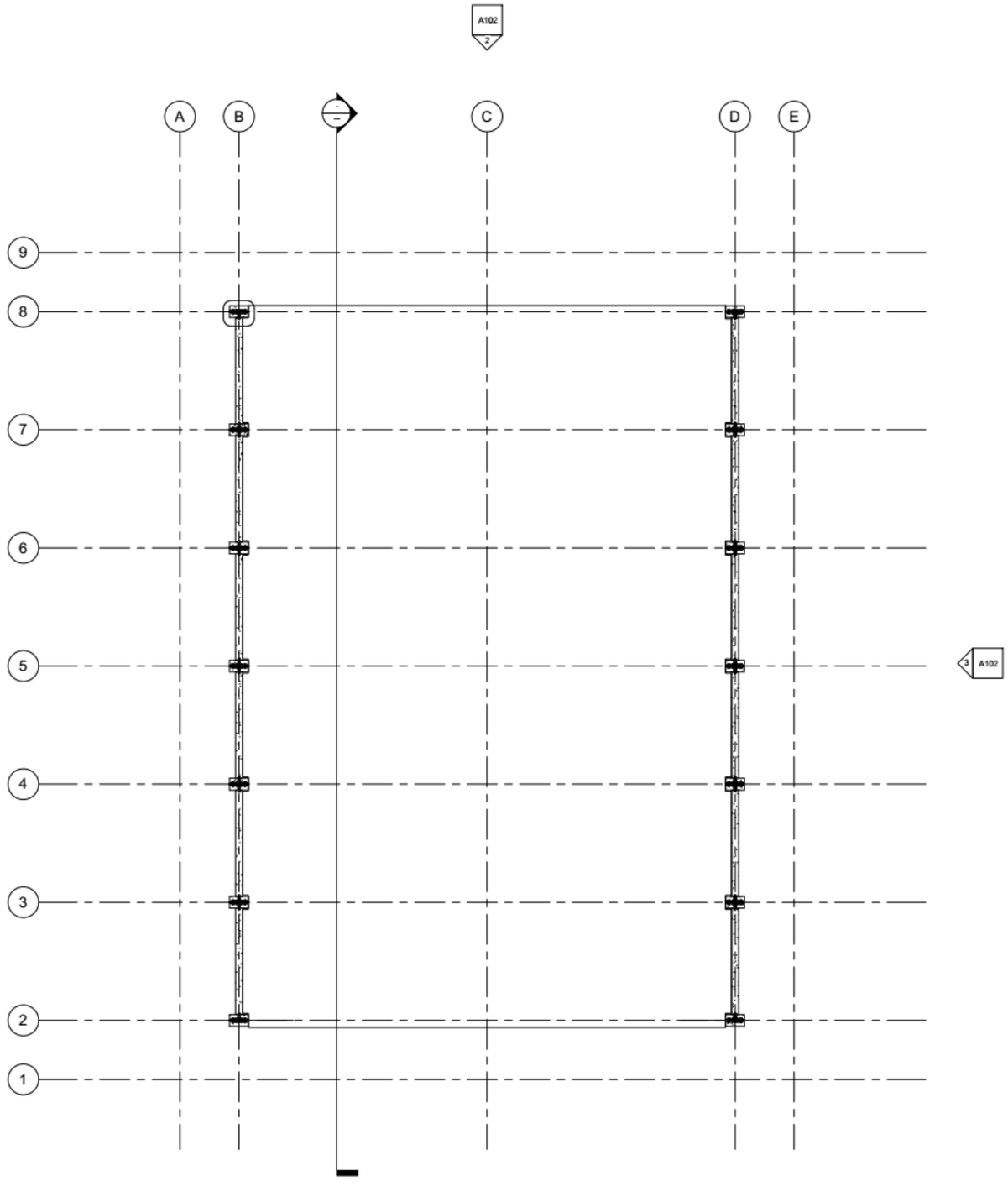
6 ARMADO DE VIGA DE AMARRE
1 : 15

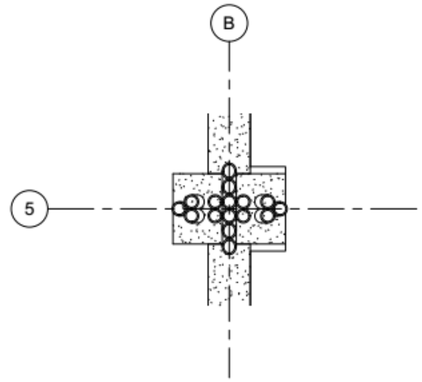
PLANILA DE ACEROS							
MARCA	DIAMETRO	CANTIDAD	LONG.	Spacing	LONG TOTAL	B	Shape
100	10 mm		2234 mm			750 mm	Stirrup - T1
101	12 mm	10	2460 mm	150 mm	24600 mm	2460 mm	Standard - 1
102	12 mm	17	1460 mm	150 mm	24820 mm	1460 mm	Standard - 1
103	12 mm	1	875 mm		875 mm	601 mm	Standard - 18
104	12 mm	3	2594 mm	70 mm	7782 mm	760 mm	Stirrup - T1
107	10 mm	46	1250 mm	100 mm	57483 mm	300 mm	Stirrup - T1
108	12 mm	1	30999 mm		30999 mm	306 mm	Standard - 17
109	12 mm	1	30426 mm		30426 mm	30426 mm	Standard - 1
110	19 mm	1	2837 mm		2837 mm	2837 mm	Standard - 1
111	10 mm	15	2309 mm	100 mm	34637 mm	750 mm	Stirrup - T1
112	10 mm		2009 mm			450 mm	Stirrup - T1
113	10 mm		1849 mm	106 mm		450 mm	Stirrup - T1

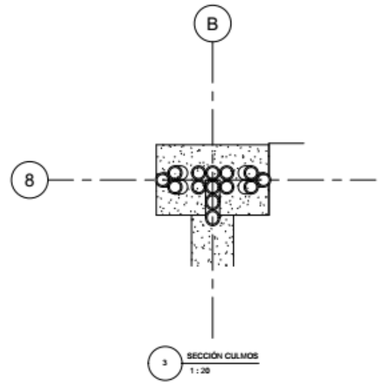


3 EJE DE CIMENTACIÓN
1 : 75

		PROYECTO: "CUBIERTA TIPO" DE BAMBÚ PARA CANCHAS DE USO MÚLTIPLE	PROPIETARIO:
		DESCRIPCIÓN: DISTRIBUCIÓN ARQUITECTÓNICA IMPLANTACIÓN,PLANTA, FACHADAS, CORTES	UBICACIÓN: ECUADOR TUNGURAHUA
ARCHIVO DIGITAL:		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
REGISTRO	FIRMA	FECHA	
DIBUJÓ: JUAN VÁSQUEZ		10-20-2018	
DISEÑO: Egdo. Juan Vásquez		10-20-2018	
REVISADO: ING. BYRON CAÑIZARES		10-20-2018	OBS:
APROBACIÓN GRAL :		10-20-2018	FORMATO: A1 / CÓDIGO: / LÁMINA: E1/5
		10-20-2018	ESCALA: INDICADAS
			VERSIÓN: V1



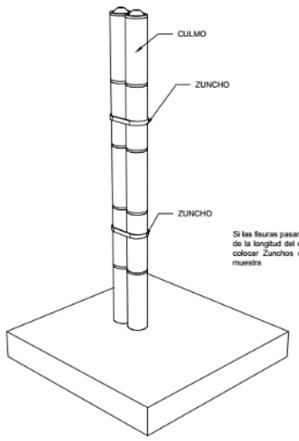




NOTAS

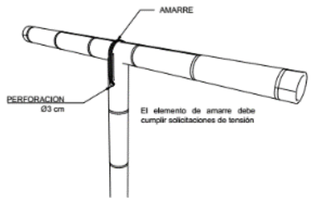
- El cálculo de las secciones de los elementos estructurales de bambú cumple con la normativa NEC_SE_GUADUA y NSR-10 Cap. G.12
- Los elementos estructurales de hormigón cumplen con la normativa ACI-318-11
- Los elementos estructurales y decorativos de bambú deben ser inmunizado y tratados adecuadamente previo la ejecución de la obra, con ácido bórico y bórax..
- El bambú a emplearse debe ser pasar la prueba de cúrcuma con el fin de verificar si ha sido inmunizado o curado
- Si el bambú no ha sido tratado o curado y se va a emplear bambú de la zona, es necesario que el bambú sea cortado en luna menguante
- La mano de obra debe ser capacitada
- Las unidades se encuentran en (m)
- Por efecto del aplastamiento perpendicular a la fibra, se recomienda colocar mortero de cemento (1:3) en las uniones entre culmos de bambú

		PROYECTO: "CUBIERTA TIPO" DE BAMBÚ PARA CANCHAS DE USO MÚLTIPLE	PROPIETARIO:
		DESCRIPCIÓN: DISTRIBUCIÓN ARQUITECTÓNICA IMPLANTACIÓN,PLANTA, FACHADAS, CORTES	UBICACIÓN: ECUADOR TUNGURAHUA
ARCHIVO DIGITAL:		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
REGISTRO	FIRMA	FECHA	
DIBUJÓ: JUAN VÁSQUEZ		10-26-2018	
DISEÑO: Egdo. Juan Vásquez		10-26-2018	
REVISADO: ING. BYRON CAÑIZARES		10-26-2018	OBS:
APROBACIÓN GRAL :		10-26-2018	FORMATO: A1 / CÓDIGO: / LÁMINA: E4/5
		10-26-2018	ESCALA: INDICADAS
			VERSIÓN:



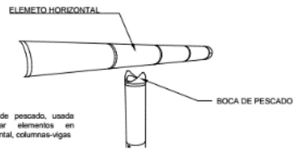
Si las fisuras pasan el 20% de la longitud del elemento colocar Zunchos como se muestra

① ZUNCHOS
Escala 1:10



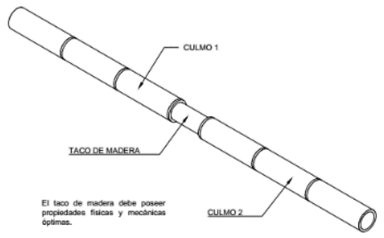
El elemento de amarre debe cumplir solicitaciones de tensión

② UNION AMARRADA
Escala 1:10



Unión Boca de pescado, usada para soportar elementos en sentido horizontal, columnas-vigas

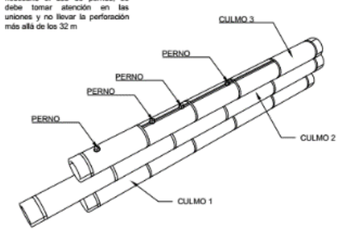
③ BOCA DE PESCADO
Escala 1:10



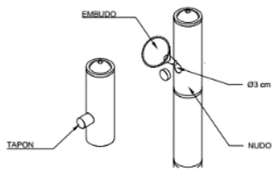
El taco de madera debe poseer propiedades físicas y mecánicas óptimas.

④ UNION LONGITUDINAL
Escala 1:10

Para generar un elemento compuesto por varios culmos es necesario el uso de pernos, se debe tomar atención en las uniones y no llevar la perforación más allá de los 32 m

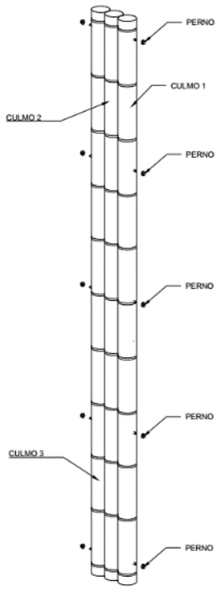


⑤ UNION CULMOS
Escala 1:10



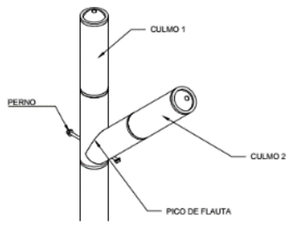
El taco de madera debe poseer propiedades físicas y mecánicas óptimas.

⑥ VACIADO DE MORTEROS
Escala 1:10



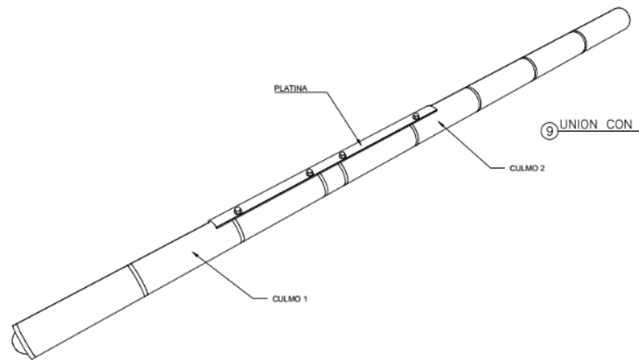
⑦ INERCIA VARIOS CULMOS
Escala 1:10

El taco de madera debe poseer propiedades físicas y mecánicas óptimas.

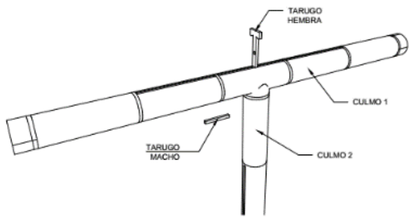


⑧ PICO FLAUTA
Escala 1:10

El taco de madera debe poseer propiedades físicas y mecánicas óptimas.

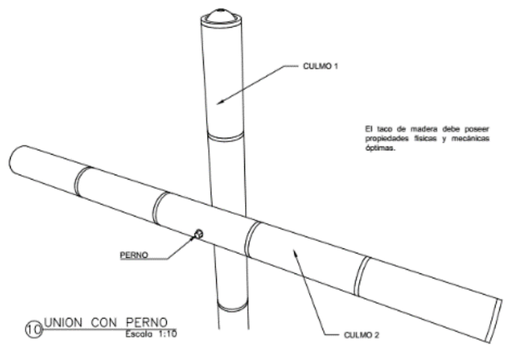


⑨ UNION CON PLATINA
Escala 1:10



⑩ UNION CON TARUGO
Escala 1:10

El taco de madera debe poseer propiedades físicas y mecánicas óptimas.



⑩ UNION CON PERNO
Escala 1:10

El taco de madera debe poseer propiedades físicas y mecánicas óptimas.

		PROYECTO: "CUBIERTA TIPO" DE BAMBÚ PARA CANCHAS DE USO MÚLTIPLE	PROPIETARIO:
		DESCRIPCIÓN : DETALLE DE CONEXIONES ENTRE ELEMENTOS DE BAMBÚ	UBICACIÓN: ECUADOR TUNGURAGUA
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
		FIRMA	FECHA
DIBUJÓ: JUAN VÁSQUEZ			10-20-2018
DISEÑO: Egdo. Juan Vásquez			10-20-2018
REVISADO: ING. BYRON CAÑIZARES			10-20-2018
			10-20-2018
			10-20-2018
			OBS:
			FORMATO: A1 / CÓDIGO: TE001 / LÁMINA: E5/5
			ESCALA: INDICADAS
			VERSIÓN: V1