

Facultad de Tecnología de la Construcción

“ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE CASA DE MADERA, EN EL CENTRO TURISTICO PINAR DEL RIO – DIPILTO, NUEVA SEGOVIA”.

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero civil

Elaborado por:

Tutor:

Br. Jorge Manuel Chacon Garcia
Carnet: 2017-0494i

M.Sc. Ing. Marco Antonio Palma Cerrato

18 de octubre de 2023
Managua, Nicaragua

Miércoles 18 de agosto de 2023

M.SC. ING. MIGUEL FONSECA CHAVEZ

Decano Facultad de Tecnología de la construcción (FTC)

Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)

Su despacho

Estimado M.Sc Ing. Fonseca:

El motivo de la presente es para darle a conocer que he revisado el trabajo monográfico titulado **“ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE CASA DE MADERA, EN EL CENTRO TURISTICO PINAR DEL RIO – DIPILTO, NUEVA SEGOVIA”** realizada por el bachiller **JORGE MANUEL CHACON GARCIA**, para optar al título de Ingeniero Civil.

Este trabajo monográfico fue desarrollado por el sustentante de forma independiente bajo mi tutoría y cumple con todos los requisitos para que pueda ser presentada y defendida ante el honorable jurado que usted designo.

Sin más a que hacer referencia, me despido.

Atentamente;





Ing. Marco Antonio Palma Cerrato, M.Sc.

Docente Depto. de estructuras

UNI FTC

Cc. Archivo personal



DEC-FTC-REF-No.131

Managua, 03 de Noviembre del 2022

Bachiller

JORGE MANUEL CHACON GARCIA

Estimado Bachiller:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema **MONOGRAFICO**, titulado: "**ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE CASA DE MADERA, EN EL CENTRO TURISTICO PINAR DEL RIO-DIPILTO, NUEVA SEGOVIA**". Ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo, que el **ING. MARCO ANTONIO PALMA CERRATO**. Sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento final, debidamente revisado por el tutor guía será el **03 de mayo del 2023**.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,

M.Sc. Miguel Antonio Fonseca Chávez
Decano

CC: Protocolo

Tutor – ING. MARCO ANTONIO PALMA CERRATO

Archivo*Consecutivo





Decanatura | FTC

DEC.FTC.REF No. 035
Managua, 09 de mayo del 2023

Bachiller

JORGE MANUEL CHACON GARCIA

Estimado Bachiller:

En atención a su carta de solicitud de **AMPLIACION DEL TIEMPO DE ENTREGA**, para efectuar la pre-defensa de su trabajo de **Monografía** titulado: **"ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE CASA DE MADERA, EN EL CENTRO TURISTICO PINAR DEL RIO-DIPILTO, NUEVA SEGOVIA"**. Esta Decanatura le aprueba **3 MESES DE AMPLIACION**, considerando los problemas planteados en su comunicación.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el **03 de agosto del 2023**. Para la programación de su fecha de pre-defensa.

Esperando de ustedes puntualidad en la entrega de su trabajo final, me despido.

Atentamente,

M.Sc. Miguel Antonio Fonseca Chávez
Decano

CC. Prorroga

Ing. Marco Antonio Palma Cerrato.

Archivo-Consecutivo



Teléfono: (505) 8787 2944



Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso,
Managua, Nicaragua



miguel.fonseca@ftc.uni.edu.ni
www.ftc.uni.edu.ni

Resumen

El contenido desarrollado del siguiente trabajo monográfico presenta el procedimiento del análisis y diseño estructural de una casa de madera en el centro turístico pinar del rio-Dipilto, Nueva Segovia.

Para el análisis estructural se hace uso del **Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07)** para la determinación de lo que se menciona posteriormente, se realiza las estimaciones de cargas a aplicar en la vivienda, el análisis de las condiciones de regularidad para así clasificar el tipo de estructura propuesta. Se aplica el método estático equivalente determinando así los requerimientos previos para el desarrollo necesario, obteniendo así el valor de la fuerza sísmica; se auxiliará del software SAP 2000 para determinar el desplazamiento lateral debido a la fuerza sísmica obtenida mediante el método, de esta manera se obtendrá el periodo aproximado fundamental de vibración para así posteriormente aplicar la reducción de fuerzas sísmica y realizar la revisión de los desplazamientos y el efecto de segundo orden. Asimismo, se determinarán las cargas por viento realizando el análisis eólico para obtener las presiones de viento, para el diseño de los elementos que componen el techo (cercha y clavadores).

Como se mencionó anteriormente se utilizó como herramienta de cálculo el software computacional SAP 2000, para realizar el modelado de la estructura aplicando las cargas que se determinó en el análisis previo, proponiendo las dimensiones de las secciones de cada elemento principal que componen a la vivienda y de esta manera obtener los datos necesarios para el diseño de todos los elementos.

Para el diseño estructural y verificación de los elementos principales de madera de la vivienda (siendo esta de la especie de pino) se utiliza la norma norteamericana **National Design Specification for Wood Construction 2018**

(NDS 2018), utilizando el método que trata esta especificación, siendo este el Método de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD).

Para el diseño de las conexiones mecánicas de los elementos de madera se hace uso de la **National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018)**, aplicando todas las disposiciones necesarias, para la obtención de datos y verificación de la resistencia de los elementos de acero propuestos se utiliza el código **AISC 360-16**. Para la verificación de la placa base se hace uso del manual de la **AISC, Base Plate and Anchor Rod Design 2nd ed.**

Para la verificación de los pernos de anclaje adheridos al concreto y el diseño de la cimentación, se hará uso del código **ACI 318-19** y el manual **ACI 318 Reinforced Concrete Design Handbook Vol.2**, aplicando así las especificaciones necesarias para la comprobación de la resistencia de los elementos propuestos.

Índice

CAPITULO I: Generalidades.....	1
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes	4
1.3. Justificación.....	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos.....	6
CAPITULO II: Marco teórico.....	7
2.1. Diseño estructural con la madera	8
2.2. Análisis Estructural.....	8
2.2.1. Importancia de estudio.....	8
2.3. Diseño estructural.....	9
2.3.1. Diseño por resistencia ultima	9
2.3.2. Reglamento de uso RNC-07	9
2.4. Cimentación	11
2.4.1. Cimentaciones superficiales	12
2.4.2. Parámetros del ACI 318-19	12
2.4.3. Concreto	13
2.4.4. Resistencia del concreto.....	13
2.4.5. Relación agua cemento (a/c)	13
2.4.6. Acero	13
2.5. Madera	14
2.5.1. La madera y su uso estructural.....	14
2.5.1.1. La madera aserrada	15
2.6. Propiedades de la madera	15
2.6.1. Propiedades físicas.....	16
2.6.2. Propiedades mecánicas.....	17
2.6.3. Importancia de la determinación de las propiedades mecánicas....	18

2.6.4. Propiedades físicas y mecánicas de especies maderables en Nicaragua según el RNC-07.....	21
2.7. Conexiones o uniones en la madera	22
2.7.1. Tipos de uniones.....	22
CAPITULO III: Análisis estructural.....	24
3.1. Análisis estructural mediante RNC07	25
3.2. Cargas de diseño para análisis	25
3.2.1. Cargas Muertas	25
3.2.1.1. Peso específico de la madera	26
3.2.1.2. Peso de la lámina para cubierta de techo	26
3.2.1.3. Peso de las paredes.....	26
3.2.1.4. Peso de clavadores.....	26
3.2.2. Cargas muertas aplicadas sobre la estructura.....	26
3.2.2.1. Lamina de techo.....	26
3.2.2.2. Paredes	26
3.2.2.3. Clavadores de techo	26
3.2.3. Carga muerta total sobre la estructura.....	27
3.2.4. Cargas vivas	27
3.2.4.1. Carga viva reducida total sobre la estructura	28
3.3. Determinación del peso propio de la estructura	28
3.3.1. Dimensiones propuestas para todos los elementos estructurales ..	28
3.3.2. Peso propio del marco	28
3.3.2.1. Cálculo del Peso de las columnas.....	28
3.3.2.2. Cálculo del Peso de las vigas.....	29
3.3.2.3. Cálculo del Peso de las viguetas o diagonales de cercha.....	29
3.3.3. Peso de las vigas longitudinales	30
3.3.4. Peso propio de la estructura	31
3.4. Peso total del edificio para análisis por sismo	31
3.5. Análisis de las condiciones de regularidad RNC07	31
3.5.1. Condiciones de regularidad	31
3.5.2. Cumplimiento de las condiciones de regularidad.....	34

3.5.3. Corrección por irregularidad	35
3.6. Análisis sísmico	35
3.6.1. Clasificación de la estructura	35
3.6.2. Factor de comportamiento sísmico	36
3.6.3. Factor de reducción por ductilidad	36
3.6.4. Factor de reducción por sobre resistencia	36
3.6.5. Coeficiente de diseño sismo-resistente	37
3.6.6. Factor de amplificación por tipo de suelo.....	37
3.6.7. Aplicabilidad del Método de análisis	38
3.6.8. Método estático equivalente	38
3.6.9. Reducción de las fuerzas sísmicas.....	38
3.6.10. Revisión del desplazamiento lateral	42
3.6.11. Efecto de segundo orden.....	45
3.7. Determinación de cargas por viento	45
3.7.1. Clasificación de la estructura	45
3.7.2. Determinación de la Velocidad de diseño	46
• Velocidad regional.....	46
• Factor de Variación de altura	47
• Factor correctivo por topografía y rugosidad.....	47
3.7.3. Determinar Presión de diseño	47
• Coeficientes de Presión	48
• Cálculo de las presiones de diseño.....	49
CAPITULO IV: Diseño de elementos estructurales de madera	51
4.1. Consideraciones para el diseño de elementos de madera.....	52
4.2. Propiedades mecánicas de la especie maderable	52
4.3. Diseño de clavador de techo por cargas gravitacionales	52
4.3.1. Dimensiones del clavador.....	53
4.3.2. Cargas aplicadas en el elemento.....	53
4.3.3. Combinación crítica para el análisis.....	54
4.3.3.1. Cargas ajustadas con componentes actuantes debido a inclinación	54

4.3.4.	Cálculo de los momentos actuantes	54
4.3.5.	Cálculo del cortante	55
4.3.6.	Cálculo de los esfuerzos	55
4.3.6.1.	Esfuerzo flexionante en el eje mayor	55
4.3.6.2.	Esfuerzo flexionante en el eje menor	56
4.3.6.3.	Esfuerzo cortante	56
4.3.7.	Cálculo de la longitud efectiva	56
4.3.8.	Factores de ajuste	57
4.3.8.1.	Factor de servicio húmedo	57
4.3.8.2.	Factor de temperatura	57
4.3.8.3.	Factor de tamaño	57
4.3.8.4.	Factor de uso de cara ancha	58
4.3.8.5.	Factor de corte	58
4.3.8.6.	Factor de miembro repetitivo	58
4.3.8.7.	Factor de rigidez al pandeo	58
4.3.8.8.	Factor por efecto del tiempo	58
4.3.8.9.	Factor de estabilidad de viga	59
4.3.8.10.	Factor de estabilidad de columna	61
4.3.8.11.	Resumen de valores de factores de ajuste	63
4.3.9.	Esfuerzos de diseño ajustados	63
4.3.10.	Chequeo por ecuación de interacción	64
4.3.11.	Chequeo por flexión	65
4.3.12.	Chequeo por cortante	66
4.3.13.	Chequeo por deflexión	67
4.4.	Diseño de cuerda superior de techo	70
4.4.1.	Dimensiones de la cuerda superior	70
4.4.2.	Datos de fuerzas en cuerda superior	70
4.4.3.	Cálculo de los esfuerzos	71
4.4.3.1.	Esfuerzo a la compresión	71
4.4.3.2.	Esfuerzo flexionante en el eje mayor	71
4.4.3.3.	Esfuerzo cortante	71

4.4.4.	Cálculo de la longitud efectiva	72
4.4.5.	Factores de ajuste	72
4.4.5.1.	Factor de servicio húmedo	73
4.4.5.2.	Factor de temperatura	73
4.4.5.3.	Factor de tamaño	73
4.4.5.4.	Factor de uso de cara ancha	73
4.4.5.5.	Factor de corte	73
4.4.5.6.	Factor de miembro repetitivo	73
4.4.5.7.	Factor de rigidez al pandeo	74
4.4.5.8.	Factor por efecto del tiempo	74
4.4.5.9.	Factor de estabilidad de viga	74
4.4.5.10.	Factor de estabilidad de columna	76
4.4.5.11.	Resumen de valores de factores de ajuste	78
4.4.6.	Esfuerzos de diseño ajustados	78
4.4.7.	Chequeo por ecuación de interacción	79
4.4.8.	Chequeo por flexión	80
4.4.9.	Chequeo por compresión	81
4.4.10.	Chequeo por cortante	81
4.5.	Diseño de cuerda vertical de techo	83
4.5.1.	Dimensiones de la cuerda vertical	83
4.5.2.	Datos de fuerzas en cuerda vertical	83
4.5.3.	Cálculo de los esfuerzos	84
4.5.3.1.	Esfuerzo a la compresión	84
4.5.3.2.	Esfuerzo flexionante en el eje mayor	84
4.5.3.3.	Esfuerzo cortante	84
4.5.4.	Cálculo de la longitud efectiva	85
4.5.5.	Factores de ajuste	85
4.5.5.1.	Factor de servicio húmedo	85
4.5.5.2.	Factor de temperatura	85
4.5.5.3.	Factor de tamaño	85
4.5.5.4.	Factor de uso de cara ancha	85

4.5.5.5.	Factor de corte	86
4.5.5.6.	Factor de miembro repetitivo.....	86
4.5.5.7.	Factor de rigidez al pandeo	86
4.5.5.8.	Factor por efecto del tiempo.....	86
4.5.5.9.	Factor de estabilidad de viga	86
4.5.5.10.	Factor de estabilidad de columna.....	88
4.5.5.11.	Resumen de valores de factores de ajuste.....	90
4.5.6.	Esfuerzos de diseño ajustados	91
4.5.7.	Chequeo por ecuación de interacción.....	91
4.5.8.	Chequeo por flexión.....	92
4.5.9.	Chequeo por compresión.....	93
4.5.10.	Chequeo por cortante	94
4.6.	Diseño de cuerda inferior de cercha.....	95
4.6.1.	Dimensiones de la cuerda inferior.....	95
4.6.2.	Datos de fuerzas en cuerda inferior	95
4.6.3.	Cálculo de los esfuerzos.....	96
4.6.3.1.	Esfuerzo a la compresión.....	96
4.6.3.2.	Esfuerzo flexionante en el eje mayor	96
4.6.3.3.	Esfuerzo cortante	96
4.6.4.	Cálculo de la longitud efectiva	97
4.6.5.	Factores de ajuste	97
4.6.5.1.	Factor de servicio húmedo	97
4.6.5.2.	Factor de temperatura.....	97
4.6.5.3.	Factor de tamaño	97
4.6.5.4.	Factor de uso de cara ancha.....	97
4.6.5.5.	Factor de corte	97
4.6.5.6.	Factor de miembro repetitivo.....	98
4.6.5.7.	Factor de rigidez al pandeo	98
4.6.5.8.	Factor por efecto del tiempo.....	98
4.6.5.9.	Factor de estabilidad de viga	98
4.6.5.10.	Factor de estabilidad de columna.....	100

4.6.5.11. Resumen de valores de factores de ajuste.....	102
4.6.6. Esfuerzos de diseño ajustados	102
4.6.7. Chequeo por ecuación de interacción.....	103
4.6.8. Chequeo por flexión.....	104
4.6.9. Chequeo por compresión.....	105
4.6.10. Chequeo por cortante	106
4.7. Diseño de viga principal de piso.....	107
4.7.1. Dimensiones de la viga de piso	107
4.7.2. Datos de fuerzas en viga de piso.....	107
4.7.3. Cálculo de los esfuerzos.....	108
4.7.3.1. Esfuerzo a la compresión.....	108
4.7.3.2. Esfuerzo flexionante en el eje mayor	108
4.7.3.3. Esfuerzo cortante	108
4.7.4. Cálculo de la longitud efectiva	109
4.7.5. Factores de ajuste	109
4.7.5.1. Factor de servicio húmedo	109
4.7.5.2. Factor de temperatura.....	109
4.7.5.3. Factor de tamaño	109
4.7.5.4. Factor de uso de cara ancha.....	110
4.7.5.5. Factor de corte	110
4.7.5.6. Factor de miembro repetitivo.....	110
4.7.5.7. Factor de rigidez al pandeo.....	110
4.7.5.8. Factor por efecto del tiempo.....	110
4.7.5.9. Factor de estabilidad de viga	110
4.7.5.10. Factor de estabilidad de columna.....	113
4.7.5.11. Resumen de valores de factores de ajuste.....	115
4.7.6. Esfuerzos de diseño ajustados	115
4.7.7. Chequeo por ecuación de interacción.....	116
4.7.8. Chequeo por flexión.....	117
4.7.9. Chequeo por compresión.....	117
4.7.10. Chequeo por cortante	118

4.8.	Diseño de columna.....	120
4.8.1.	Dimensiones de la Columna	120
4.8.2.	Datos de fuerzas en columna	120
4.8.3.	Cálculo de los esfuerzos.....	121
4.8.3.1.	Esfuerzo a la compresión.....	121
4.8.3.2.	Esfuerzo flexionante en el eje mayor	121
4.8.3.3.	Esfuerzo cortante	121
4.8.4.	Cálculo de la longitud efectiva	122
4.8.5.	Factores de ajuste	122
4.8.5.1.	Factor de servicio húmedo	122
4.8.5.2.	Factor de temperatura.....	122
4.8.5.3.	Factor de tamaño	123
4.8.5.4.	Factor de uso de cara ancha.....	123
4.8.5.5.	Factor de corte	123
4.8.5.6.	Factor de miembro repetitivo.....	123
4.8.5.7.	Factor de rigidez al pandeo	123
4.8.5.8.	Factor por efecto del tiempo.....	123
4.8.5.9.	Factor de estabilidad de viga	124
4.8.5.10.	Factor de estabilidad de columna.....	126
4.8.5.11.	Resumen de valores de factores de ajuste.....	128
4.8.6.	Esfuerzos de diseño ajustados	128
4.8.7.	Chequeo por ecuación de interacción.....	129
4.8.8.	Chequeo por flexión.....	130
4.8.9.	Chequeo por compresión.....	130
4.8.10.	Chequeo por cortante	131
CAPITULO V:	Diseño de conexiones	133
5.1.	Conexión de cumbrera	134
5.1.1.	Dato de fuerza en cumbrera	134
5.1.2.	Datos de la conexión a utilizar	134
5.1.2.1.	Propiedades de los elementos	134
5.1.2.2.	Geometría de la Conexión	135

5.1.3.	Ecuaciones del límite de fluencia.....	135
5.1.3.1.	Resistencia al aplastamiento del miembro principal.....	135
5.1.3.2.	Modos de fluencia	136
5.1.3.3.	Resistencia lateral de referencia de la conexión	140
5.1.4.	Factores de ajuste para las conexiones.....	141
5.1.4.1.	Factor de servicio húmedo	141
5.1.4.2.	Factor de temperatura.....	141
5.1.4.3.	Factor de acción grupal.....	141
5.1.4.4.	Factor de geometría	143
5.1.4.5.	Factor de fibra extrema	143
5.1.4.6.	Factor de diafragma	143
5.1.4.7.	Factor de clavo de pie	143
5.1.4.8.	Factor de efecto del tiempo	144
5.1.4.9.	Resumen de los valores de factores de ajuste para las conexiones.....	144
5.1.5.	Resistencia lateral ajustada	144
5.1.6.	Chequeo de la resistencia en la conexión	145
5.2.	Conexión diagonal-cuerda superior.....	146
5.2.1.	Dato de fuerza en diagonal.....	146
5.2.2.	Datos de la conexión a utilizar	146
5.2.2.1.	Propiedades de los elementos	146
5.2.2.2.	Geometría de la Conexión	147
5.2.3.	Ecuaciones del límite de fluencia.....	147
5.2.3.1.	Resistencia al aplastamiento del miembro principal.....	147
5.2.3.2.	Modos de fluencia	148
5.2.3.3.	Resistencia lateral de referencia de la conexión	152
5.2.4.	Factores de ajuste para las conexiones.....	152
5.2.4.1.	Factor de servicio húmedo	153
5.2.4.2.	Factor de temperatura.....	153
5.2.4.3.	Factor de acción grupal.....	153
5.2.4.4.	Factor de geometría	154

5.2.4.5.	Factor de fibra extrema	155
5.2.4.6.	Factor de diafragma	155
5.2.4.7.	Factor de clavo de pie	155
5.2.4.8.	Factor de efecto del tiempo	155
5.2.4.9.	Resumen de los valores de factores de ajuste para las conexiones.....	155
5.2.5.	Resistencia lateral ajustada	155
5.2.6.	Chequeo de la resistencia en la conexión	156
5.3.	Conexión cuerda inferior-columna.....	157
5.3.1.	Dato de fuerza en cuerda inferior	158
5.3.2.	Datos de la conexión a utilizar	158
5.3.2.1.	Propiedades de los elementos	158
5.3.2.2.	Geometría de la Conexión	159
5.3.3.	Ecuaciones del límite de fluencia.....	159
5.3.3.1.	Resistencia al aplastamiento del miembro principal.....	159
5.3.3.2.	Modos de fluencia	159
5.3.3.3.	Resistencia lateral de referencia de la conexión	164
5.3.4.	Factores de ajuste para las conexiones.....	164
5.3.4.1.	Factor de servicio húmedo	164
5.3.4.2.	Factor de temperatura.....	164
5.3.4.3.	Factor de acción grupal.....	164
5.3.4.4.	Factor de geometría	166
5.3.4.5.	Factor de fibra extrema	166
5.3.4.6.	Factor de diafragma	166
5.3.4.7.	Factor de clavo de pie	166
5.3.4.8.	Factor de efecto del tiempo.....	166
5.3.4.9.	Resumen de los valores de factores de ajuste para las conexiones.....	167
5.3.5.	Resistencia lateral ajustada	167
5.3.6.	Chequeo de la resistencia en la conexión	167
5.3.7.	Chequeo de la soldadura propuesta en la conexión	168

5.3.7.1.	Propiedades de los elementos	168
5.3.7.2.	Longitud efectiva de la soldadura	168
5.3.7.3.	Cálculo de la resistencia de diseño	169
5.4.	Conexión viga principal-columna.....	171
5.4.1.	Dato de fuerza en viga principal	171
5.4.2.	Datos de la conexión a utilizar	171
5.4.2.1.	Propiedades de los elementos	171
5.4.2.2.	Geometría de la Conexión	172
5.4.3.	Ecuaciones del límite de fluencia.....	172
5.4.3.1.	Resistencia al aplastamiento del miembro principal.....	172
5.4.3.2.	Modos de fluencia	172
5.4.3.3.	Resistencia lateral de referencia de la conexión	177
5.4.4.	Factores de ajuste para las conexiones.....	177
5.4.4.1.	Factor de servicio húmedo	178
5.4.4.2.	Factor de temperatura.....	178
5.4.4.3.	Factor de acción grupal.....	178
5.4.4.4.	Factor de geometría	179
5.4.4.5.	Factor de fibra extrema	180
5.4.4.6.	Factor de diafragma	180
5.4.4.7.	Factor de clavo de pie	180
5.4.4.8.	Factor de efecto del tiempo.....	180
5.4.4.9.	Resumen de los valores de factores de ajuste para las conexiones.....	180
5.4.5.	Resistencia lateral ajustada	181
5.4.6.	Chequeo de la resistencia en la conexión	181
5.5.	Conexión columna-pedestal	182
5.5.1.	Dato de fuerza en columna.....	182
5.5.2.	Datos de la conexión a utilizar	183
5.5.2.1.	Propiedades de los elementos	183
5.5.2.2.	Geometría de la Conexión	183
5.5.3.	Ecuaciones del límite de fluencia.....	184

5.5.3.1.	Resistencia al aplastamiento del miembro principal.....	184
5.5.3.2.	Modos de fluencia	184
5.5.3.3.	Resistencia lateral de referencia de la conexión	189
5.5.4.	Factores de ajuste para las conexiones.....	189
5.5.4.1.	Factor de servicio húmedo	189
5.5.4.2.	Factor de temperatura.....	189
5.5.4.3.	Factor de acción grupal.....	189
5.5.4.4.	Factor de geometría	191
5.5.4.5.	Factor de fibra extrema	191
5.5.4.6.	Factor de diafragma	191
5.5.4.7.	Factor de clavo de pie.....	191
5.5.4.8.	Factor de efecto del tiempo.....	191
5.5.4.9.	Resumen de los valores de factores de ajuste para las conexiones.....	192
5.5.5.	Resistencia lateral ajustada	192
5.5.6.	Chequeo de la resistencia en la conexión	192
5.5.7.	Chequeo de la soldadura propuesta en la conexión.....	193
5.5.7.1.	Propiedades de los elementos	193
5.5.7.2.	Longitud efectiva de la soldadura.....	194
5.5.7.3.	Espesor de la garganta	194
5.5.7.4.	Cálculo de la resistencia de diseño	194
5.5.8.	Verificación de la placa base	196
5.5.8.1.	Fuerza en columna.....	196
5.5.8.2.	Excentricidad equivalente	197
5.5.8.3.	Tensión máxima de apoyo del concreto	197
5.5.8.4.	Fuerza de apoyo resultante máxima	197
5.5.8.5.	Excentricidad crítica	198
5.5.8.6.	Chequeo de la inecuación.....	198
5.5.8.7.	Cálculo de la longitud de apoyo	199
5.5.8.8.	Cálculo de la tensión del perno	200
5.5.8.9.	Dimensiones críticas de la placa base	200

5.5.8.10. Espesor mínimo requerido de la placa base.....	200
5.5.9. Verificación de pernos de anclaje	203
5.5.9.1. Propiedades geométricas de los pernos de anclaje en la conexión placa base-pedestal	203
5.5.9.2. Resistencia al arrancamiento del concreto.....	203
5.5.9.3. Chequeo de la resistencia al arrancamiento del concreto	205
5.5.9.4. Resistencia al desprendimiento lateral del concreto	206
5.5.9.5. Chequeo de la resistencia al desprendimiento lateral	207
5.5.9.6. Resistencia a la falla por adherencia de anclajes.....	207
5.5.9.7. Chequeo de la resistencia a la falla por adherencia de anclajes 209	
CAPITULO VI: Diseño de Cimentación.....	210
6.1. Datos para el diseño.....	211
6.1.1. Dato de carga aplicada	211
7.1.1. Datos de la zapata sobre el terreno	212
7.1.2. Datos de la zapata	212
7.1.3. Datos del pedestal	212
6.2. Determinación del área	212
6.2.1. Dimensiones propuestas de la zapata	213
6.2.2. Área de la zapata.....	213
6.3. Esfuerzo último ejercido sobre el suelo	213
6.4. Resistencia al corte en una dirección	214
6.4.1. Cortante último en una dirección	214
6.4.2. Resistencia al corte del concreto	215
6.4.3. Comprobación del cortante en una dirección.....	215
6.5. Resistencia al corte en dos direcciones	216
6.5.1. Factor de modificación por efecto de tamaño	216
6.5.2. Factor α_s	217
6.5.3. Perímetro de la sección crítica	217
6.5.4. Cortante último en 2 direcciones.....	217
6.5.5. Esfuerzo resistente al corte del concreto en 2 direcciones	218

6.5.6.	Resistencia al corte en 2 direcciones.....	219
6.5.7.	Comprobación del cortante en dos direcciones	219
6.6.	Flexión en zapata	219
6.6.1.	Momento flexionante último crítico.....	220
6.6.2.	Momento nominal	220
6.6.3.	Determinación del acero en base a la verificación por flexión	221
6.6.3.1.	Verificación del acero mínimo a flexión	221
6.6.3.2.	Acero a utilizar.....	222
6.6.3.3.	Verificación del acero a utilizar	222
6.6.3.4.	Espaciamiento entre varillas.....	223
6.6.4.	Verificación por flexión.....	223
6.7.	Longitud de desarrollo	224
6.7.1.	Longitud de desarrollo propuesto de la zapata	225
6.7.2.	Verificación de la longitud de desarrollo	225
6.8.	Diseño del pedestal	225
6.8.1.	Determinación del acero	225
6.8.2.	Cantidad de varillas a utilizar	226
6.8.3.	Área de Refuerzo de acero propuesto	226
6.8.4.	Cuantía del acero propuesto.....	226
6.8.5.	Resistencia nominal axial con excentricidad igual a cero	227
6.8.6.	Resistencia nominal a la compresión máxima	227
6.8.7.	Resistencia nominal a la compresión.....	227
6.8.8.	Comprobación de la resistencia a compresión	228
6.8.9.	Transferencia de fuerza de columna a la base	228
6.8.9.1.	Resistencia nominal al aplastamiento	228
6.8.9.2.	Verificación de la Resistencia al aplastamiento.....	229
6.8.10.	Longitud de desarrollo para las varillas a compresión	229
Conclusiones		231
Recomendaciones		233
Bibliografía.....		234

ANEXOS	i
ANEXO A. National Design Specification for Wood Construction	i
ANEXO B. Tablas y figuras consultadas	xviii
ANEXO C. Modelado de la estructura en SAP2000	xxiii
ANEXO D. Planos estructurales	viii

Índice de figuras

Figura II.1: Cimentación superficial (Zapata aislada)	12
Figura II.2: Elemento sometido a compresión paralela a las fibras	18
Figura II.3: Elemento sometido a compresión perpendicular a las fibras ...	19
Figura II.4: Elemento sometido a tracción perpendicular a las fibras	19
Figura II.5: Elemento sometido a tracción perpendicular a las fibras	20
Figura II.6: Elemento sometido a flexión	20
Figura II.7: Elemento sometido a prueba de dureza	21
Figura II.8: Tipos de uniones según su forma de encuentro	22
Figura II.9: Uniones según el medio de unión empleado	23
Figura III.1: Área tributaria de techo	25
Figura III.2: Aplicación de fuerza sísmica en el software	39
Figura III.3: Aplicación de fuerza sísmica reducida en el software	42
Figura III.4: Angulo de inclinación del techo	48
Figura III.5: Presiones de viento en la estructura	50
Figura IV.1: Clavador de techo sobre cuerda superior	53
Figura IV.2: Cuerda superior de cercha	70
Figura IV.3: Cuerda vertical de cercha	83
Figura IV.4: Cuerda inferior de cercha	95
Figura IV.5: Viga principal de piso	107
Figura IV.6: Columna	120
Figura V.1: Detalle de la conexión cumbrera	134
Figura V.2: Detalle de la conexión diagonal-cuerda superior	146
Figura V.3: Detalle de la conexión cuerda inferior-columna	157
Figura V.4: Vista de planta de la conexión cuerda inferior-columna	157
Figura V.5: Detalle de la soldadura en la conexión cuerda inferior-columna	168
Figura V.6: Detalle de la conexión viga principal-columna	171
Figura V.7: Detalle conexión columna-pedestal	182
Figura V.8: Detalle de soldadura en conexión columna-placa base	193
Figura V.9: Geometría de la placa base	196
Figura V.10: Distancias del perno de anclaje con respecto al pedestal para determinar de A_{nc}	203
Figura VI.1: Geometría de zapata aislada cuadrada propuesta	211
Figura VI.2: Seccion critica de cortante en una dirección en zapatas	214
Figura VI.3: Sección crítica de cortante en dos direcciones en zapatas ...	216
Figura VI.4: Seccion critica de momento en zapata aislada	219

Índice de Tablas

Tabla II.1: Valores de esfuerzo unitario para especies de madera típica.....	21
Tabla III.1: Dimensiones propuestas para los elementos principales de madera.....	28
Tabla III.2: Resumen de las condiciones de regularidad aplicables	35
Tabla IV.1: Propiedades de la especie maderable a utilizar	52
Tabla IV.2: Datos de fuerzas aplicadas en cuerda superior	70
Tabla IV.3: Datos de fuerzas aplicadas en cuerda vertical	83
Tabla IV.4: Datos de fuerzas aplicadas en cuerda inferior	95
Tabla IV.5: Datos de fuerzas aplicadas en viga de piso	107
Tabla IV.6: Datos de fuerzas aplicadas en columna	120
Tabla V.1: Dato de fuerza aplicado en elementos de cumbrera.....	134
Tabla V.2: Dato de fuerza aplicada en elemento de diagonal.....	146
Tabla V.3: Dato de fuerza aplicada en elemento de cuerda inferior	158
Tabla V.4: Dato de fuerza aplicada en elemento de viga principal	171
Tabla V.5: Dato de fuerza aplicada en elemento de columna.....	182
Tabla V.6: Datos de fuerzas en columna.....	196
Tabla VI.1: Dato de carga máxima aplicada.....	211
Tabla VI.2: Dato de carga ultima aplicada	211

CAPITULO I: Generalidades

1.1. Introducción

La creciente demanda de vivienda de madera específicamente para la zona de los departamentos del país crea la necesidad de construir nuevas edificaciones y se convierten al mismo tiempo en una oportunidad para reinventar e innovar las opciones constructivas. También se puede ver que en nuestra región cada día se hace el uso de nuevos materiales que salen a la venta en el mercado laboral de altos costos económicos, dejando de un lado el poder a ser uso de materiales ya extraídos naturalmente como en el caso de la madera que es un material único en sus propiedades a ejemplos de otros materiales prefabricados o traídos del extranjero.

Cada material por lo general ha tenido su propio desarrollo; en este desarrollo entra en juego la madera por sus excelentes propiedades mecánicas que permiten un mejor uso de la misma. Las ventajas que presenta un diseño o una construcción de madera es que es un material de fácil acceso y muy liviano por lo cual ayuda a absorber las fuerzas sísmicas u otros eventos que se presenta la naturaleza.

La propuesta que se presenta en este tema de investigación es abrir una ventana más de innovación para los nuevos diseños de viviendas de madera de tipo Tambo; apegándonos a la normativas y reglamentos que nos rigen en el ámbito de la construcción para luego de esta manera poder realizar un diseño y análisis de forma muy eficiente por el por el método directo de diseño (LRFD). “Diseño por Resistencia Última”.

La idea de este diseño es una propuesta muy validada para la localidad de un centro turístico de Dipilto-Ocotlán, debido a la creciente demanda turística que yace en dicho lugar; con la iniciativa de hacer uso de la madera de la zona misma. Además, que es un diseño que será de costo óptimo y con la expectativa de que en un futuro este tipo de edificación presente demanda de usuarios que residen en la localidad; cuya característica primordial es que estará constituido en su

totalidad por elementos de madera maciza; tanto en la estructura principal como en la estructura secundaria; unidas por conexiones empernadas y uniones simples; apoyándonos en la norma norteamericana NDS 2018 y el reglamento nacional de la construcción RNC-07.

1.2. Antecedentes

La madera es uno de los materiales de construcción más antiguos que existen, y la evidencia muestra que las casas construidas hacen más de 10.000 años usaban la madera como principal material de construcción.

Se hizo revisión de investigaciones relacionadas específicamente en los métodos de diseño de la estructura y normas aplicadas en la presente investigación monográfica con el objeto de analizar y diseñar estructuralmente una casa de campo, de los cuales podemos mencionar 2 investigaciones referentes al estudio ambos realizadas por estudiantes de la Universidad Nacional de Ingeniería:

- En el año 2008, los autores Vásquez, Olivas y Solís estudiantes de la UNI, realizaron la monografía titulada “Diseño de una edificación de madera por el método de resistencia última”
- En el año 2017, los autores Sequeira y Gutiérrez estudiantes de la UNI, realizaron la monografía titulada “Diseño estructural de una nave industrial en madera para el Taller-Escuela del Programa Institucional de la Madera (PIMA), UNI- RUPAP 2015”

En las cuales se muestra una metodología de cálculo para el diseño de estructura de madera haciendo uso de las normas y reglamentos, partiendo de esta investigación nos facilitará una perspectiva de enfoque al diseño de estructura madera.

National Design Specification® para madera Construcción (NDS) fue emitido por primera vez por el National Asociación de Fabricantes de Madera (ahora la American Wood Council) (AWC) en 1944, bajo el título Especificación de diseño nacional para grado de estrés de la madera y sus fijaciones.

1.3. Justificación

Ante la situación que se presenta en el país, existe la demanda creciente de estructuras que cumplan con todos los requerimientos de seguridad y diseño que se establecen, una gran alternativa ante los diferentes materiales que se utilizan comúnmente en Nicaragua, podemos encontrar a la madera. Con el avance de la tecnología este material ha sido sometido a estudios los cuales nos expone que es un material apto para el uso estructural.

En Nicaragua no es común la aplicación de normativas y reglamentos específicos para el diseño de estructuras de madera. Actualmente se pueden encontrar una poca cantidad de estructuras de madera y esto debido a que se opta por la construcción con materiales como el concreto y el acero, los cuales son los que presentan una buena resistencia ante desastres. Pero eso no quiere decir que la madera no presenta resistencia, con una buena selección de piezas, con detalles de diseño adecuados, buenas técnicas de construcción y mantenimiento adecuado de los edificios, las estructuras de madera pueden brindar muchas décadas de servicio confiable.

En la zona de estudio donde se hará el diseño de esta casa de campo no es común ver estructuras hechas completamente de madera y esto conlleva a una innovación dándole ese aspecto campestre al local, ya que el turismo en el sitio se da constantemente y la demanda de habitaciones para los visitantes turísticos. Cabe mencionar también que en el sitio se encuentra una especie de madera predominante y esto es de gran beneficio cuando se sabe aprovechar adecuadamente. Nuestro diseño estará apegado a las normas nacionales e internacionales, esto para cumplir con los objetivos que se buscan, un óptimo servicio tanto en la estructura, así como lo será proteger el valor económico que se invertiría en dicha construcción, brindando la resistencia adecuada en la estructura.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Realizar el Análisis y diseño de una vivienda de madera haciendo uso de la normativa NDS-LRFD 2018.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar la estructura contemplando los parámetros del Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07) usando el método estático equivalente.
- Diseñar los elementos estructurales de madera (vigas, viguetas y columnas) aplicando los requerimientos de la normativa NDS 2018.
- Diseñar las conexiones mecánicas de los elementos aplicando los requerimientos de la norma NDS 2018.
- Diseñar zapata aislada con los parámetros del ACI 318-19.

CAPITULO II: Marco teórico

2.1. Diseño estructural con la madera

Para la realización de un diseño estructural se toman en cuenta varios factores involucrados para que la misma tenga resultados satisfactorios como la estabilidad, la resistencia, de los cuales se toma en cuenta el análisis de la estructura mediante las normas aplicables para así ver el comportamiento y realizar una verificación de todos los aspectos a tomar en cuenta, también para el diseño se debe tomar en consideración las cimentaciones ya que este soportara a la superestructura; en este caso este estará conformado por el material de la madera, por lo cual se necesita conocer sus propiedades mecánicas, el comportamiento ante las acciones de carga, consideraciones a tomar para el diseño de los elementos.

2.2. Análisis Estructural

Realizar un análisis estructural implica contar con una estructura resistente para así evitar un colapso, además de contar con un diseño económico al no estar sobredimensionada. El análisis estructural cubre el estudio de los efectos de las cargas y las fuerzas internas en una estructura.

Predicción del desempeño o comportamiento de una estructura, ante las cargas prescritas o efectos externos, tales como movimientos en los apoyos y los cambios de temperatura al predecir el desempeño y la respuesta de la estructura ante las cargas actuantes debemos interesarnos por características como: el valor numérico de los esfuerzos ya sean estos axiales, cortantes o deflexión, el valor numérico de los desplazamientos y deflexiones y el valor numérico de las reacciones en los apoyos.

Kassimali, A. (2015). *Análisis Estructural*.

2.2.1. Importancia de estudio

Este análisis es necesario por que asigna el diseño, tamaño y materiales más convenientes de la estructura para incorporarlos al Proyecto Arquitectónico y Proyecto de construcción principalmente sismo resistente.

Realizar este cálculo es una parte fundamental y básica del proceso previo a la construcción, ya que garantiza una correcta ejecución y durabilidad de la obra. Los resultados que se proporcionan son: la cantidad, la resistencia y el tamaño del material preciso para llevar a cabo determinada estructura. Se grafican también las técnicas y detalles particulares de armado.

El análisis estructural es particularmente importante para comprender completamente las rutas de carga y los impactos que las cargas tienen en los diferentes diseños e identificar el comportamiento elástico de la estructura.

2.3. Diseño estructural

El diseño es un proceso creativo mediante el cual se definen las características de un sistema de manera que cumpla en forma óptima con sus objetivos. El objetivo de un sistema estructural es resistir las fuerzas a las que va a estar sometido, sin colapso o mal comportamiento.

Meli, R. (2002). *Diseño Estructural*.

2.3.1. Diseño por resistencia ultima

El método de la resistencia ultima, es conocido también como método de la resistencia, por medio del cual se estudia el comportamiento de la estructura en un instante de falla mayor al que normalmente soportan, tomando en cuenta en el diseño con factores de seguridad apropiadas.

ASCE/SEI 7-16, *Manual de diseño estructural*.

2.3.2. Reglamento de uso RNC-07

Basados en el RCN-07 (Reglamento Nacional de la construcción) en la presente investigación se estará aplicando las combinaciones de carga para diseño por resistencia última (LRFD), asimismo para el análisis estructural mediante el método estático equivalente que establece nuestra norma nacional, mostrando así conceptos básicos que expone la misma.

a) Combinaciones de carga

Esta combinación estará sujeta a ciertos cambios debido a los agentes que modifican los factores de dicha combinación de cargas variables que se presenten en la zona de estudio. Dicha combinación se encuentra en el inciso a) del Arto.15 del RNC-07 definido de la siguiente manera:

Diseño por métodos de resistencia ultima

$$1.4(CM)$$

$$1.2(CM)+1.6(CV+P_S)$$

$$1.2(CM)+1.6(P_Z)+CV$$

$$1.2(CM)+F_S+CV$$

$$0.9(CM)+1.6(P_Z)+1.6(P_S)$$

$$0.9(CM)+F_S+1.6(P_S)$$

Donde:

CM: Carga muerta

CV: Carga viva máxima

F_S: Fuerza sísmica horizontal

P_Z: Carga o presión del viento

P_Z: Carga debido a la presión lateral de la tierra, a la presión del agua subterránea, o a la presión de materiales a granel

b) Concepción estructural

El reglamento nacional en el Arto.19 contempla la planificación de edificaciones, con el fin de mejorar su desempeño sísmico en los cuales se deben considerar los siguientes factores:

- Simetría tanto en la distribución de masas como en las rigideces.
- Evitar cambios bruscos de estructuración.
- Menor peso en los pisos superiores.
- Evitar balcones volados, etc.

- Selección y uso adecuado de los materiales de construcción.
- Buena práctica constructiva e inspección rigurosa.
- Diseño con énfasis en la ductilidad para un mejor comportamiento de la estructura.

c) Método estático equivalente

El método estático de las fuerzas laterales equivalentes consiste en distribuir los esfuerzos sísmicos calculados en cada nivel de la estructura, ubicándolos en el centro de masa o centro de gravedad del mismos y verificar que las derivas de cada entrepiso no sobrepasen los límites establecidos en el Arto.32 del reglamento nacional de la construcción (RNC-07).

d) Clasificación de las estructuras

Para efectos del diseño estructural en Arto.20 del RNC-07 se consideran que las estructuras se pueden clasificar en:

- Grupo A: son aquellas estructuras esenciales que por su importancia estratégica es necesario que permanezcan operativas luego de un sismo intenso.
- Grupo B: son aquellas estructuras de normal importancia en el que el grado de seguridad requerido es intermedio.
- Grupo C: son aquellas estructuras de menor importancia o que no pone en riesgo la vida de las personas.

2.4. Cimentación

Son los elementos estructurales que transmiten las cargas de las edificaciones al suelo subyacente. Incluirán las cargas gravitacionales aplicadas al sistema estructural, fuerzas sísmicas de diseño, fuerzas por viento y empuje de suelo. La estructura proporciona esfuerzos, de tracción o compresión hasta las bases, y se deben distribuir en forma pareja para que no originen tensiones mayores de la que puede soportar.

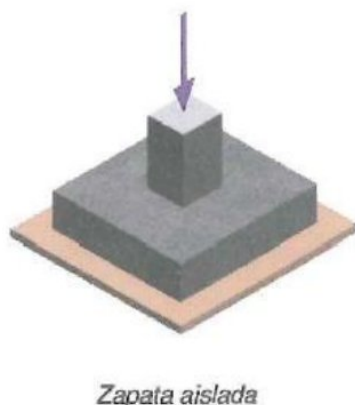
Debido a que la resistencia del suelo es, generalmente, menos que la de los muros o pilares que soporta, el área de contacto entre el suelo y la cimentación debe ser proporcionalmente más grande que los elementos soportados, excepto en suelos rocosos muy coherentes.

Ortega García, J. E. (2016). *Diseño de estructuras de concreto armado*

2.4.1. Cimentaciones superficiales

Zapatas (corrida y aislada): Sistema económico para cimentaciones cerca de la superficie del suelo. La zapata es utilizada cuando el suelo es resistente, es decir, es capaz de soportar pesos elevados.

Figura II.1: Cimentación superficial (Zapata aislada)



Fuente: Sección 13.1 de ACI 318-19.

2.4.2. Parámetros del ACI 318-19

De acuerdo al tema de investigación con respecto a cimentaciones superficiales, en el código se establece que:

El área mínima de la base de la cimentación debe dimensionarse para que no exceda la capacidad portante admisible cuando se vea afectada por las fuerzas y momentos aplicados a la cimentación. La capacidad portante admisible debe determinarse a través de los principios mecánica de suelos o de rocas.

2.4.3. Concreto

El concreto u hormigón es un conglomerado artificial de agregados finos (arena) y gruesos (piedra picada), unido entre sí por una pasta de cemento y agua. El concreto fresco, recién preparado, toma la forma del encofrado o molde que lo contiene, endureciéndose con el tiempo a medida que el agua se combina con los componentes del cemento hasta formar una especie de piedra artificial.

Ortega Garcia, J. E. (2016). *Diseño de estructuras de concreto armado*.

2.4.4. Resistencia del concreto

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , MPa. Cuando se habla de la resistencia del concreto, generalmente se hace referencia a la resistencia a compresión del concreto endurecido, la etapa de endurecimiento inicia con el fraguado final del concreto y prosigue en el tiempo dependiendo totalmente de las condiciones de curado del material alcanzando así su máxima resistencia de la vida útil.

Ortega Garcia, J. E. (2016). *Diseño de estructuras de concreto armado*.

2.4.5. Relación agua cemento (a/c)

Relación agua cemento (A/C): Una relación agua cemento adecuada puede incrementar significativamente el f_c' del concreto, una relación agua cemento típica en edificaciones oscila entre 0.40 y 0.60 litros por kg de cemento.

Ortega Garcia, J. E. (2016). *Diseño de estructuras de concreto armado*.

2.4.6. Acero

El acero es una aleación que está compuesta casi por completo de hierro (generalmente más del 98%). Contiene también pequeñas cantidades de carbono, silicio, manganeso, azufre, fósforo y otros elementos. El carbono es el elemento que tiene la mayor influencia en las propiedades del acero. La dureza y la

resistencia del acero aumentan con el porcentaje de carbono. Un incremento del 0.01 por ciento del contenido de carbono causará que la resistencia de fluencia del acero se eleve aproximadamente 0.5 klb/plg² (ksi).

Askeland, D. (1998). *Ciencia e ingeniería de los materiales*.

- **Resistencia del acero**

Los aceros con comportamiento frágil tienen un intervalo considerable donde el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria, pero no tienen esfuerzos de fluencia claramente definidos. Sin embargo, para aplicar muchas de las fórmulas dadas en las especificaciones de diseño para el acero estructural, es necesario contar con valores definidos del esfuerzo de fluencia, independientes de si los aceros son dúctiles o frágiles.

2.5. Madera

Es un material de estructura compleja y de carácter anisótropo, que forma un tejido leñoso, fisiológicamente inactivo. El término “madera” es un nombre comercial que damos a lo que en esencia es un tejido vegetal, es decir células asociadas en forma de fibras que a su vez serán órganos y estructura de un ser vivo, el árbol.

Una vez que se corta y se seca el árbol obtenemos lo que es la “madera” que es utilizada en la construcción de edificios y muebles mayormente en la actualidad, conocida también como “madera aserrada” o madera elaborada industrialmente; retomando un poco el hecho de que la madera utilizada para la construcción llamada también madera aserrada.

García, J. (2021). *Estructuras en madera, nociones básicas*.

2.5.1. La madera y su uso estructural

La madera es un material de construcción que ha sido utilizado desde hace años y la cual se puede reconocer que con ella se puede construir íntegramente una

vivienda, lógicamente con el uso de materiales complementarios. Teniendo en cuenta que se tiene que escoger el tipo correcto de madera estructural, conocer el tipo de especie y posteriormente las propiedades físicas y mecánicas de cada madera, de esta manera se conseguirá darle el uso apropiado.

La madera estructural es aquella madera aserrada que se usa específicamente para uso en estructuras o uso estructural y por tanto, las propiedades mecánicas de determinadas especies de madera lo permiten.

Garcia, J. (2021). *Estructuras en madera, nociones básicas*.

2.5.1.1. La madera aserrada

Es la que se obtiene cortando trozos longitudinales con sierra manual o mecánica, la mayor parte de la madera aserrada se destina para obras provisionales de diversos tipos (cimbras y obras falsas). Eso lo podemos ver en algunas partes del país, en muchas ocasiones se usa también para la fachada de edificios entre otros usos técnicos.

Garcia, J. (2021). *Estructuras en madera, nociones básicas*.

2.6. Propiedades de la madera

La madera es un material orgánico que tiene diferentes aplicaciones, cada especie presenta sus propias características, razón por la cual es utilizada para distintos fines, según sus propiedades físicas y mecánicas. Así como cada especie tiene distinto comportamiento en sus propiedades, se ha comprobado, a través de investigaciones, que una misma especie varía sus propiedades según las zonas geográficas y climas donde se desarrolla.

Las propiedades de la madera están determinadas por diversas características entre ellas, la disposición de las fibras, su tamaño, orientación, profundidad, etc. Las propiedades se pueden clasificar en:

2.6.1. Propiedades físicas

Determinan el comportamiento de las maderas ante los factores que intervienen en el medio ambiente natural, sin que este actúe química ni mecánicamente en su estructura interna:

- Peso específico
- Contenido de humedad
- Propiedades térmicas
- Propiedades acústicas

a) Peso específico

La densidad es la relación entre la masa (m) en gr y el volumen (V) en cm³ (gr/cm³). Esto quiere decir, que la densidad es la cantidad de materia leñosa por unidad de volumen. Como en los laboratorios, el peso y la masa se determinan de la misma forma, por medio de balanzas, se acepta que la masa es igual al peso, (m = p), obteniéndose la expresión del peso específico:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Ecuación II.1: Peso específico, Fuente: Suirezs, T. & Berger, G.

El peso específico es una de las propiedades físicas más importantes de la madera, porque de ella dependen la mayoría de sus características físicas y mecánicas. En la práctica sirve para clasificarlas. En general, puede decirse que las más pesadas son más resistentes, elásticas y duras que las maderas livianas, pero son de más difícil trabajabilidad y pueden presentar mayor variación volumétrica.

b) Contenido de humedad

La madera contiene agua en tres formas: agua libre, agua higroscópica y agua de constitución. El agua libre se encuentra llenando las cavidades celulares. El agua higroscópica se halla contenida en las paredes celulares. El contenido de humedad (CH) es el porcentaje en peso, que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhidra. Para una muestra de madera el CH será:

$$CH\% = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso anhidro}}{\text{Peso anhidro}} 100$$

Ecuación II.2: Contenido de humedad, Fuente: Suirezs, T. & Berger, G.

Donde el peso anhidro o peso seco es conseguido mediante el uso de un horno a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, también llamado peso seco al horno.

c) Propiedades térmicas

La madera es un buen aislante térmico, comparada con otros materiales de construcción. Por su baja conductividad térmica es aplicada como aislador térmico en construcciones y herramientas por ser un material poroso, podemos decir que es un mal conductor del calor.

Los factores que intervienen en la conductividad térmica son:

- Dirección de las fibras
- Densidad
- Contenido de humedad
- Presencia de extractivos
- Proporción de leño temprano y tardío.

d) Propiedades acústicas

La madera se toma en cuenta en las construcciones cuando se quiere proteger del sonido, por lo tanto, actúa como aislante del sonido, aproximadamente es 9 veces más aislante que el cemento.

Suirezs, T. M., & Berger, G. (2009). *Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera*.

2.6.2. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas son los comportamientos y las resistencias que ofrece la madera al ser sometida por fuerzas exteriores. Donde sus características principales son:

- Miden la aptitud y la capacidad para resistir cargas externas.
- Presenta diferentes propiedades en las distintas direcciones.
- De estas características se desprenden los diferentes grados de resistencia.

2.6.3. Importancia de la determinación de las propiedades mecánicas

- Obtener valores o magnitudes, con el fin de clasificarlas por su resistencia.
- Definir la resistencia de las maderas, para obtener las tensiones admisibles.
- Proveer de datos técnicos a los constructores de madera.

Dentro de estas propiedades tenemos:

- Compresión
- Tracción
- Flexión
- Dureza

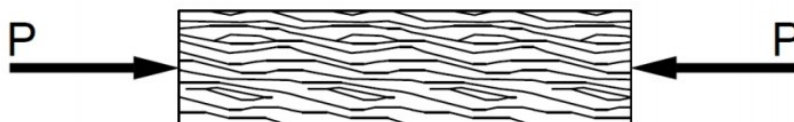
a) Compresión

Una pieza de madera está sometida a una carga de compresión cuando está bajo la acción de dos fuerzas iguales y de sentido contrario, y cuyo efecto es acortar la pieza y aumentar su sección. Esta se aplica en las 2 direcciones principales la longitudinal o paralela a las fibras y la transversal o perpendicular a las fibras.

• Compresión paralela a las fibras

Es la resistencia de la madera a una carga de compresión aplicada en la dirección paralela a las fibras. En la figura mostrada a continuación se puede apreciar el comportamiento de la compresión aplicada.

Figura II.2: Elemento sometido a compresión paralela a las fibras

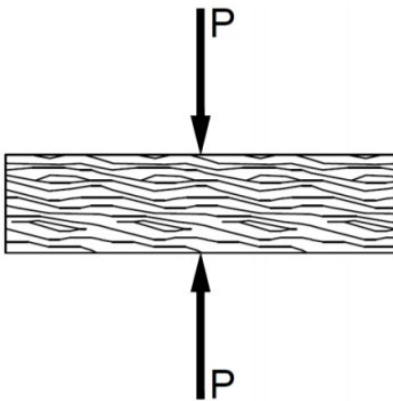


Fuente: Elaboración Propia.

- **Compresión perpendicular a las fibras**

Es la resistencia de la madera a una carga de compresión aplicada en la dirección perpendicular a las fibras. En la figura mostrada a continuación se puede apreciar el comportamiento de la compresión aplicada.

Figura II.3: Elemento sometido a compresión perpendicular a las fibras



Fuente: Elaboración propia.

b) Tracción

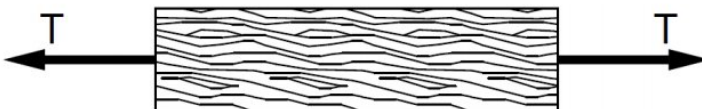
Una pieza de madera está sometida a una carga de tracción cuando actúan dos fuerzas de igual magnitud y sentido contrario, provocándole un alargamiento.

Esta se aplica en las 2 direcciones principales la longitudinal o paralela a las fibras y la transversal o perpendicular a las fibras.

- **Tracción paralela a las fibras**

Es la resistencia de la madera a una carga de tracción aplicada en la dirección paralela a las fibras. A como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura II.4: Elemento sometido a tracción perpendicular a las fibras

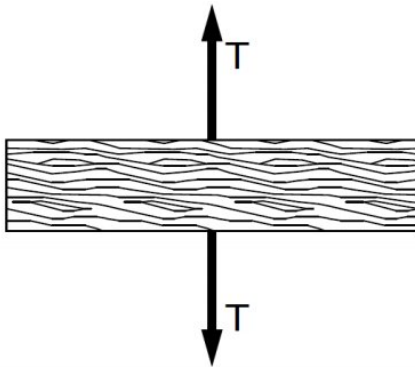


Fuente: Elaboración propia.

- **Tracción perpendicular a las fibras**

Es la resistencia de la madera a una carga de tracción aplicada en la dirección perpendicular a las fibras.

Figura II.5: Elemento sometido a tracción perpendicular a las fibras

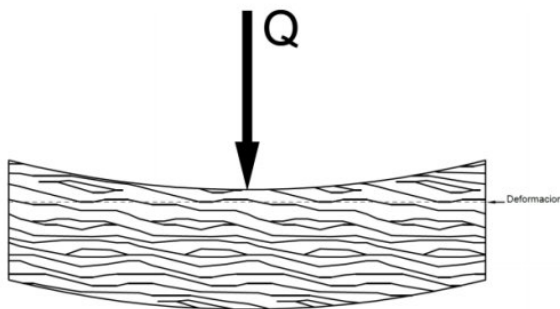


Fuente: Elaboración propia.

c) Flexión

Es la resistencia que ofrece la madera a la deformación por una carga aplicada en el centro del claro, esta fuerza es mayor cuando es aplicada perpendicularmente a las fibras y mínima en la dirección paralela a las fibras.

Figura II.6: Elemento sometido a flexión

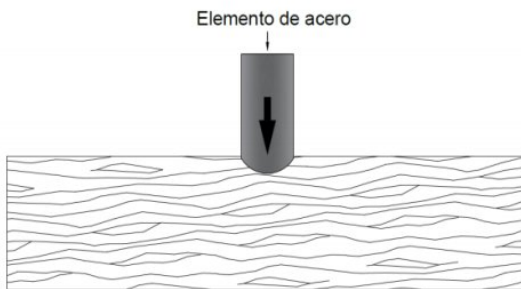


Fuente: Elaboración propia.

d) Dureza

La dureza de la madera es la resistencia que esta ofrece al intentar introducir un material solido en la superficie de la misma.

Figura II.7: Elemento sometido a prueba de dureza



Fuente: Elaboración propia.

Suirez, T. M., & Berger, G. (2009). *Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera*.

2.6.4. Propiedades físicas y mecánicas de especies maderables en Nicaragua según el RNC-07

En Nicaragua se encuentra una diversidad de especies maderables, de las cuales solo algunas poseen las propiedades físicas y mecánicas adecuadas para el uso estructural, la siguiente tabla muestra los tipos de madera aceptables:

Tabla II.1: Valores de esfuerzo unitario para especies de madera típica

Nombre Comercial de la Madera	Flexión en Fibra Extrema F_b (kg/cm ²)	Tensión Paralela al Grano F_t (Kg/cm ²)	Cortante Horizontal F_v (kg/cm ²)	Compresión Perpendicular al Grano F_p (kg/cm ²)	Compresión Paralela al Grano F_c (kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad E (kg/cm ²)
Pochote	98	66	5	22	69	74,500
Pino	116	78	7	26	81	130,000
Cedro Real	85	57	5	19	60	80,000
Cedro Macho	70	47	4	15	49	64,000
Genizaro	85	57	5	19	60	76,000
Guanacaste	90	60	5	20	63	100,000
Guayabo	175	117	10	39	122	155,000
Laurel Hembra	115	77	7	25	80	90,000
Laurel Macho	130	87	8	29	91	150,000
Caoba	105	70	6	23	74	85,000
Roble	180	120	10	40	126	150,000

Fuente: Tabla No.18, Art.82 del Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07).

2.7. Conexiones o uniones en la madera

Las uniones tienen el objetivo de dar continuidad a los esfuerzos generados en la estructura de la forma menos agresiva.

Los tipos de uniones para estructuras de madera se pueden definir según diferentes criterios. Principalmente se dividen en dos grandes grupos, en función del elemento utilizado en la unión: las uniones tradicionales y las uniones mecanizadas.

Arriaga, F., & Iñiguez, G.. *Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera*.

2.7.1. Tipos de uniones

Las uniones más comunes en las estructuras de madera se pueden clasificar en los siguientes:

a) Según su forma de encuentro

- Empalme: Este tipo de unión se usa para dar continuidad a las vigas.
- Ensamble: Esta unión se usa para unir piezas con diferentes directrices de la fibra.
- Acoplamiento: Esta unión tiene el objetivo de aumentar la sección de la pieza para que trabajen dos piezas simultáneamente.

Figura II.8: Tipos de uniones según su forma de encuentro



Fuente: Elaboración propia

b) Según el medio de unión empleado

- Unión carpintera, uniones de madera que transmiten el esfuerzo a través de la superficie de contacto. Se realizan mediante cortes en la sección para formar cajas y ensambles.
- Unión mecánica, estas uniones se realizan por medio de clavijas (grapas, clavos, tirafondos, pernos y pasadores) y conectores (anillo, placa, dentados y placas clavo).
- Uniones encoladas, se realiza mediante adhesivo, es importante elegir bien el tipo de cola en función de su exposición.

Figura II.9: Uniones según el medio de unión empleado



Fuente: Elaboración propia

Arriaga, F., & Iñiguez, G.. *Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera.*

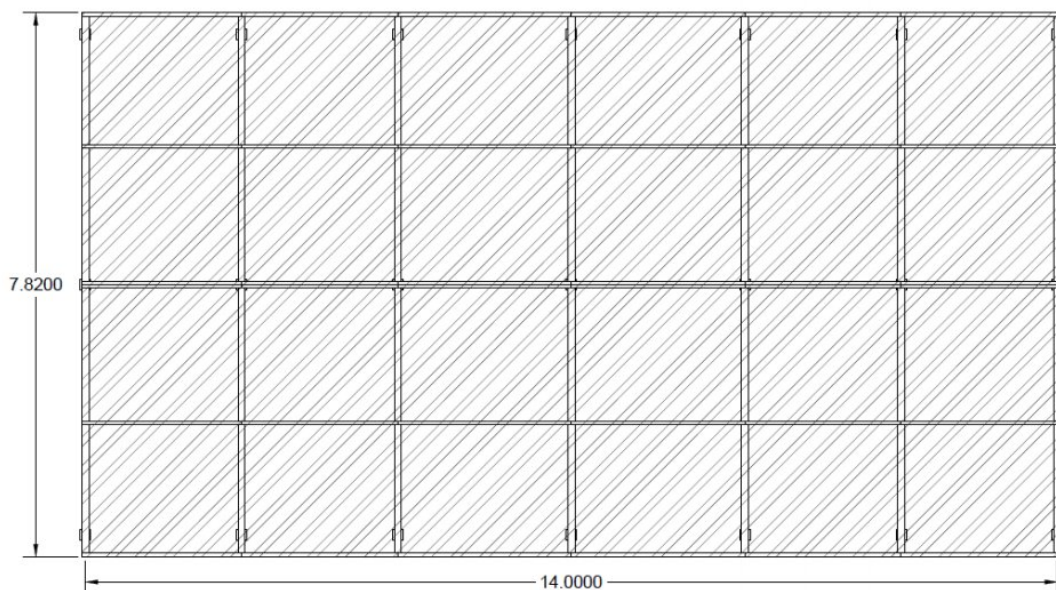
CAPITULO III: Análisis estructural

3.1. Análisis estructural mediante RNC07

En este capítulo ya se inicia con el análisis y diseño estructural de la vivienda propuesta, primeramente, realizando el análisis estructural haciendo el cálculo del peso de la estructura esto con el material utilizado el cual es la madera, igualmente determinando las cargas muertas, las cargas vivas para realizar el análisis sísmico de la estructura mediante el método estático equivalente, las cargas de viento se calcularán para ver aplicarlo a la estructura. Se utilizarán todas las especificaciones del Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07) para consideraciones en las cargas, para determinar todas las cargas muertas, la carga por sismo y las cargas por viento.

3.2. Cargas de diseño para análisis

Figura III.1: Área tributaria de techo



Fuente: Elaboración propia

3.2.1. Cargas Muertas

Los pesos de los materiales son tomados de las tablas de cargas muertas mínimas del RNC-07 los cuales están ubicadas en el Anexo A. Y los demás son calculados mediante sus dimensiones usuales.

3.2.1.1. Peso específico de la madera

Especie maderable: Pino Ocote

Peso específico: $\gamma_{\text{madera}} = 660 \text{ kg/m}^3$ (Tabla 5A del RNC-07)

3.2.1.2. Peso de la lámina para cubierta de techo

Se utilizará para el techo lámina de Zinc corrugado calibre 26 (0.45mm de espesor) con un peso de 5.4 kg/m^2 . (Tabla 1A del RNC-07)

3.2.1.3. Peso de las paredes

Esqueleto de madera 2"x3" con Plycem 6mm ambas caras con un peso de 16 kg/m^2 . (Tabla 4A del RNC-07)

3.2.1.4. Peso de clavadores

$$P_{\text{clavadores}} = \gamma_{\text{madera}} * \text{Area}_{\text{clavadores}} * \text{longitud}$$

$$P_{\text{clavadores}} = 660 \text{ kg/m}^3 * 0.0508 \text{ m} * 0.1016 \text{ m} * 2.5 \text{ m}$$

$$P_{\text{clavadores}} = 8.52 \text{ kg}$$

3.2.2. Cargas muertas aplicadas sobre la estructura

3.2.2.1. Lámina de techo

$$P_{\text{Total, lámina}} = W_{\text{lámina}} * A_{\text{techo}}$$

$$P_{\text{Total, lámina}} = (5.4 \text{ kg/m}^2)(7.82 \text{ m} * 14.1 \text{ m})$$

$$P_{\text{Total, lámina}} = 595.41 \text{ kg}$$

3.2.2.2. Paredes

$$P_{\text{Total, paredes}} = W_{\text{paredes}} * A_{\text{vigas}}$$

$$P_{\text{Total, paredes}} = (16 \text{ kg/m}^2)(0.15 \text{ m} * 67.2 \text{ m})$$

$$P_{\text{Total, paredes}} = 161.28 \text{ kg}$$

3.2.2.3. Clavadores de techo

$$P_{\text{Total, clavadores}} = P_{\text{clavadores}} * N_{\text{nodos}} * N_{\text{marcos}}$$

$$P_{\text{Total, clavadores}} = 8.52 \text{ kg} * 6 * 7$$

$$P_{\text{Total, clavadores}} = 357.84 \text{ kg}$$

3.2.3. Carga muerta total sobre la estructura

Una vez habiendo determinado las cargas totales de cada elemento que conforman las cargas muertas se hará la sumatoria de estas mismas para obtener el total que está soportando la edificación como se muestra a continuación:

$$C_{\text{Muerta, Total}} = P_{\text{Total, lamina}} + P_{\text{Total, paredes}} + P_{\text{Total, clavadores}}$$

$$C_{\text{Muerta, Total}} = 595.41 \text{ kg} + 161.28 \text{ kg} + 357.84 \text{ kg}$$

$$C_{\text{Muerta, Total}} = 1,114.53 \text{ kg}$$

3.2.4. Cargas vivas

Para el caso de esta vivienda, se aplica carga viva a los clavadores que componen la estructura de techo, de esta manera será transmitida a la cuerda superior de la armadura. En el Arto.11 del RNC-07 se dispone de las cargas vivas en techos y pisos livianos, en este caso se toma el inciso a, que dice lo siguiente:

a) TECHOS LIVIANOS:

Para el caso de techos livianos de cubiertas onduladas (incluyendo la teja de barro), los elementos estructurales resistentes (tales como cuarterones de madera o perlines metálicos), podrán ser diseñados para los efectos que resulten de la superposición de una carga concentrada de 100 Kg. en la mitad del claro del miembro resistente, más una carga uniformemente distribuida de 10 Kg/m².

Para el caso de elementos estructurales principales (tales como cerchas, marcos y vigas principales) que soportan techos livianos de cubiertas onduladas, se considerará una carga concentrada de 200 Kg que se aplicará en la mitad del claro del elemento resistente, independientemente de la posición de la cumbrera cuando posee dos vertientes.

Se adicionará una carga uniformemente distribuida de 10 Kg/m². Para efecto de sismo, la carga viva reducida a emplearse será de 10 Kg/m².

3.2.4.1. Carga viva reducida total sobre la estructura

$$C_{\text{Viva reducida, Total}} = W_{V, \text{ reducida}} * A_{\text{techo}}$$

$$C_{\text{Viva reducida, Total}} = (10 \text{ kg/m}^2)(7.82 \text{ m} * 14.1 \text{ m})$$

$$C_{\text{Viva reducida, Total}} = 1,102.62 \text{ kg}$$

3.3. Determinación del peso propio de la estructura

El peso propio de la estructura está conformado por los elementos principales como lo son las columnas, vigas (tanto las que forman el marco como las longitudinales que las unen entre sí), diagonales de cercha.

Se estará calculando el peso propio mediante ecuaciones básicas, tomando en cuenta las dimensiones y el peso propio del material en este caso el de la madera.

3.3.1. Dimensiones propuestas para todos los elementos estructurales

Tabla III.1: Dimensiones propuestas para los elementos principales de madera

Dimensiones (m)	Elementos estructurales			
	Columnas del marco	Vigas del marco	Vigueta de cercha	Vigas longitudinales
Base (b)	0.15	0.15	0.05	0.15
Peralte (d)	0.15	0.2	0.1	0.2
Longitud total (L)	10.875	7.2	21.38	14

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Peso propio del marco

3.3.2.1. Cálculo del Peso de las columnas

$$P_c = A_c * \gamma_m * L$$

Donde se sabe que el área de la columna es:

$$A_c = b * d$$

Por lo tanto, el peso total de columnas es el siguiente:

$$P_c = A_c \cdot \gamma_m \cdot L$$

$$P_c = (0.15 \text{ m} \cdot 0.15 \text{ m}) (660 \text{ kg/m}^3) (10.875 \text{ m})$$

$$P_c = 161.49 \text{ kg}$$

3.3.2.2. Cálculo del Peso de las vigas

$$P_v = A_v \cdot \gamma_m \cdot L$$

Donde se sabe que el área de la viga es:

$$A_v = b \cdot d$$

Por lo tanto, el peso total de vigas es el siguiente:

$$P_v = A_v \cdot \gamma_m \cdot L$$

$$P_v = (0.15 \text{ m} \cdot 0.2 \text{ m}) (660 \text{ kg/m}^3) (7.2 \text{ m})$$

$$P_v = 142.56 \text{ kg}$$

3.3.2.3. Cálculo del Peso de las viguetas o diagonales de cercha

$$P_d = A_d \cdot \gamma_m \cdot L$$

Donde se sabe que el área de la diagonal es:

$$A_d = b \cdot d$$

Por lo tanto, el peso total de las diagonales de cercha es el siguiente:

$$P_d = A_d \cdot \gamma_m \cdot L$$

$$P_d = (0.05 \text{ m} \cdot 0.10 \text{ m}) (660 \text{ kg/m}^3) (21.38 \text{ m})$$

$$P_d = 70.55 \text{ kg}$$

Por lo tanto, el peso propio del marco es la sumatoria de todo lo determinado anteriormente a como se muestra a continuación:

$$PP_{\text{Marco}} = P_c + P_v + P_d$$

$$PP_{\text{Marco}} = 161.49 \text{ kg} + 142.56 \text{ kg} + 70.55 \text{ kg}$$

$$PP_{\text{Marco}} = 374.6 \text{ kg}$$

La estructura está conformada por 7 marcos por lo tanto el total será el siguiente:

$$PP_{\text{Total, Marco}} = N * PP_{\text{Marco}}$$

$$PP_{\text{Total, Marco}} = (7)(374.6 \text{ kg})$$

$$PP_{\text{Total, Marco}} = 2,622.2 \text{ kg}$$

3.3.3. Peso de las vigas longitudinales

$$PP_{\text{vigas l}} = A_{vl} * \gamma_m * L$$

Donde se sabe que el área de la viga es:

$$A_{vl} = b d$$

Por lo tanto, el peso de vigas longitudinales es el siguiente:

$$PP_{\text{vigas l}} = A_{vl} * \gamma_m * L$$

$$PP_{\text{vigas l}} = (0.15 \text{ m} * 0.2 \text{ m})(660 \text{ kg/m}^3)(14 \text{ m})$$

$$PP_{\text{vigas l}} = 277.2 \text{ kg}$$

La estructura está conformada por 3 filas de vigas longitudinales por lo tanto el total será el siguiente:

$$PP_{\text{Total, vigas l}} = N * PP_{\text{vigas l}}$$

$$PP_{\text{Total, vigas l}} = (3)(277.2 \text{ kg})$$

$$PP_{\text{Total, vigas I}} = 831.6 \text{ kg}$$

3.3.4. Peso propio de la estructura

Una vez determinado los pesos propios de los elementos principales de la estructura, se realizará la suma de ellos para así obtener el peso propio total de la estructura.

$$PP_{\text{Total, Estructura}} = PP_{\text{Total, Marco}} + PP_{\text{Total, vigas I}}$$

$$PP_{\text{Total, Estructura}} = 2,622.2 \text{ kg} + 831.6 \text{ kg}$$

$$PP_{\text{Total, Estructura}} = 2,899.4 \text{ kg}$$

3.4. Peso total del edificio para análisis por sismo

$$W = C_{\text{Muerta, Total}} + C_{\text{Viva reducida, Total}} + PP_{\text{Total, Estructura}}$$

$$W = 1,114.53 \text{ kg} + 1,102.62 \text{ kg} + 2,899.4 \text{ kg}$$

$$W = 5,116.55 \text{ kg}$$

3.5. Análisis de las condiciones de regularidad RNC07

Se dice que una estructura puede llegar a considerarse regular, irregular o fuertemente irregular, para la determinación de que tipo de estructura se trata en este diseño, es necesario hacer el análisis de cada uno de los requisitos necesarios para así hacer la clasificación adecuada, todas estas condiciones influyen en la carga sísmica que se aplica a la estructura.

3.5.1. Condiciones de regularidad

Para que una estructura sea considerada regular esta debe de cumplir todos los requisitos estipulados en el Arto.23 del Reglamento nacional de la construcción (RNC-07), procediendo así a realizar el análisis de las mismas de la siguiente forma.

1) Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes. Estos son, además, sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.

La estructura presenta simetría en columnas y vigas con respecto a sus ejes ortogonales, por lo tanto, cumple con esta condición.

2) La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5.

Altura H (m)	Base menor b(m)
4.6482	7.2

$$\frac{H}{b} \leq 2.5$$

$$\frac{4.6482\text{m}}{7.2\text{m}} \leq 2.5$$

$0.64 < 2.5 \therefore$ Cumple con la condición

3) La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5.

Longitud mayor B (m)	Longitud menor b(m)
14	7.2

$$\frac{B}{b} \leq 2.5$$

$$\frac{14\text{m}}{7.2\text{m}} \leq 2.5$$

$1.94 < 2.5 \therefore$ Cumple con la condición

4) En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera del entrante o saliente.

La estructura no presenta entrantes ni salientes de ningún tipo, por lo tanto, cumple con la condición.

5) En cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.

La estructura de techo está formada por cerchas o armaduras las cuales aportan rigidez al sistema y por lo tanto cumple con la condición.

6) No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión en planta medida paralelamente a la abertura; las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro, y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20 por ciento del área de la planta.

La estructura no presenta ningún tipo de aberturas en su techo, por lo tanto, cumple con la condición.

7) El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 110 por ciento del correspondiente al piso inmediato inferior ni es menor que 70 por ciento de dicho peso, excepción hecha del último nivel de la construcción.

La estructura cuenta con 2 niveles tomando en cuenta el sistema de techo y de estar presente el caso de varios niveles este queda excluido por lo cual se considera que se cumple con esta condición.

8) Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110 por ciento de la del piso inmediato inferior ni menor que 70 por ciento de ésta. Se exime de este último requisito únicamente al último piso de la construcción.

Se cumple con la condición tomando en cuenta el inciso anterior.

9) Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones sensiblemente ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas.

La estructura posee un sistema de piso de madera con vigas ancladas a las columnas en las 2 direcciones teniendo así un diafragma por lo cual, se cumple con esta condición.

10) La rigidez al corte de ningún entrepiso excede en más de 50 por ciento a la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.

Se menciona en el inciso 7 que se cuenta con 2 niveles (tomando en cuenta el sistema de techo), debido a la configuración de la estructura se cuenta con 1 nivel de entrepiso, por lo cual se considera que no aplica esta condición.

11) La resistencia al corte de ningún entrepiso excede en más de 50 por ciento a la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.

Al igual que el inciso 10, no aplica para este.

12) En ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente “e”, excede del diez por ciento de la dimensión en planta de ese entrepiso medida paralelamente a la excentricidad mencionada.

Igual que el inciso 11, no aplica.

3.5.2. Cumplimiento de las condiciones de regularidad

Se presenta un resumen de las condiciones que se llegaron a cumplir en forma de tabla de la siguiente manera:

Tabla III.2: Resumen de las condiciones de regularidad aplicables

Condición	Cumplimiento
1	Si
2	Si
3	Si
4	Si
5	Si
6	Si
7	Si
8	Si
9	Si
10	N/A
11	N/A
12	N/A

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Corrección por irregularidad

El edificio cumple con 9 de las 12 condiciones que especifica el RNC-07 así con las otras 3 condiciones en las que no se puede aplicar, se ha cumplido con todos los requisitos posibles mostrados anteriormente por lo cual, la estructura se clasifica como regular; lo que indica que el factor de reducción Q' no será afectado por ningún valor y quedará igual.

3.6. Análisis sísmico

Se procede a realizar el análisis por sismo, haciendo uso de cada inciso del Capítulo II del Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07) necesarios para la debida aplicación del método estático equivalente.

3.6.1. Clasificación de la estructura

Como se especifica en el arto.20 del RNC-07, las estructuras por efectos de diseño se clasifican en 3 distintos grupos.

En nuestro caso, la estructura está destinada para uso de vivienda y es clasificada en el grupo B (Estructura de normal importancia).

3.6.2. Factor de comportamiento sísmico

Para el factor de comportamiento sísmico se toma en cuenta lo que se dice en el inciso d) del Arto.21 del RNC-07 en la siguiente línea: “La resistencia a fuerzas laterales está prevista por marcos y armaduras de madera”. Tomando en consideración que la estructura estará conformada por elementos de marco y armadura de madera, por lo cual el factor es el siguiente:

$$Q = 1.5$$

3.6.3. Factor de reducción por ductilidad

Para la determinación de las fuerzas sísmicas se aplicará un factor de reducción Q' el cual está dado en el Arto.21 del RNC-07 y este se determina a como se muestra a continuación:

$$Q' = \begin{cases} Q & \text{si se desconoce } T, \text{ o si } T > T_a \\ 1 + \frac{T}{T_a} & T \leq T_a \end{cases}$$

Ecuación III.1: Factor por reducción por ductilidad, Fuente: RNC-07.

Al desconocerse el periodo de la estructura se tomará inicialmente el factor de la siguiente forma:

$$Q' = Q$$
$$Q' = 1.5$$

3.6.4. Factor de reducción por sobre resistencia

El valor de la reducción por sobre resistencia está dado en el Arto.22 del RNC-07 siendo este el siguiente valor:

$$\Omega = 2$$

3.6.5. Coeficiente de diseño sismo-resistente

El coeficiente sísmico de una estructura se determina mediante la siguiente ecuación del Arto.24 del RNC-07 esto para la aplicación del método estático equivalente:

$$c = \frac{V_0}{W_0} = \frac{S(2.7 \cdot a_0)}{Q \cdot \Omega} \text{ Pero nunca menor que } (S)(a_0)$$

Ecuación III.2: Coeficiente de diseño sismo-resistente, Fuente: RNC-07.

3.6.6. Factor de amplificación por tipo de suelo

La vivienda propuesta está ubicada en el municipio de Dipilto, que en el mapa de zonificación sísmica de Nicaragua del Reglamento nacional de la construcción (Figura 2 del RNC-07) está ubicado en la zona B. Donde el mapa de zonificación sísmica especifica el valor de la aceleración máxima del terreno a_0 el cual para la zona B tiene el valor de, $a_0=0.2$

Tomando el valor de la tabla de los factores de amplificación por tipo de suelo S (Tabla 2 del Arto.25, RNC-07). En nuestro caso estamos ubicados en la zona B y nuestro tipo de suelo es firme por lo cual es del tipo II, por lo tanto, el factor es $S=1.7$

Por lo tanto, conociendo los datos necesarios se procede a calcular el coeficiente sísmico, sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$c = \frac{S(2.7 \cdot a_0)}{Q \cdot \Omega} \text{ Pero nunca menor que } (S)(a_0)$$

$$c = \frac{1.7(2.7 \cdot 0.2)}{1.5 \cdot 2} \text{ Pero nunca menor que } (1.7)(0.2)$$

$$c = 0.306 \text{ Pero nunca menor que } 0.34$$

El valor del coeficiente sísmico está condicionado que no debe ser menor que $(S)(a_0)$, y el coeficiente calculado fue menor que este por lo que se tomara como factor lo resultante a esa expresión siendo este el siguiente:

$$c= 0.34$$

3.6.7. Aplicabilidad del Método de análisis

Para la elección del método los requisitos especificados en el inciso b) del Arto.30 del RNC-07, se menciona que “El método estático equivalente puede utilizarse para analizar estructuras regulares de altura no mayor de 40 metros”, por lo que nuestra vivienda cumple con los requisitos necesarios para la aplicación de este método.

3.6.8. Método estático equivalente

Se establece la ecuación a utilizar en el inciso a) del Arto.32 del RNC-07 para la determinación de la fuerza sísmica tomando en consideración la altura, la masa, el coeficiente sísmico, siendo esta la siguiente:

$$F_{s_i} = c \sum W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}$$

Ecuación III.3: Fuerza de sismo lateral correspondiente al i-ésimo nivel, Fuente: RNC-07.

Donde:

$$c=0.34$$

$$h_i= 4.68 \text{ m}$$

Se procede a determinar el valor de la fuerza sísmica lateral de la siguiente manera:

$$F_{s_i} = (0.34) (5,116.55 \text{ kg})(4.68) \frac{5,116.55 \text{ kg}}{23,945.45 \text{ kg.m}}$$

$$F_{s_i} = 1,740 \text{ kg}$$

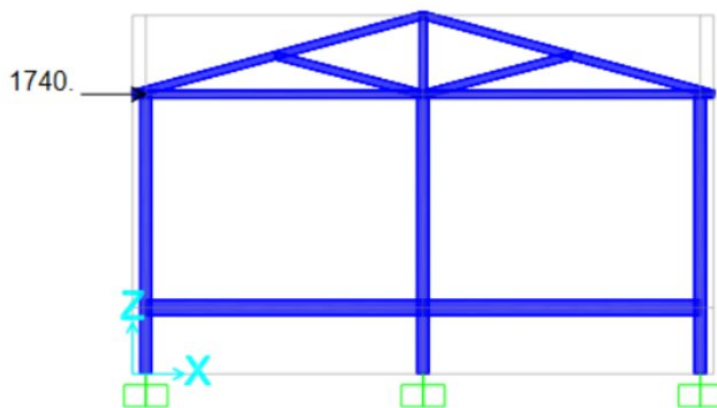
3.6.9. Reducción de las fuerzas sísmicas

En el inciso b del Arto.32 del RNC-07 se dice que pueden adoptarse fuerzas sísmicas menores que las calculadas anteriormente, siempre que se tome en cuenta el valor aproximado del periodo fundamental de vibración de la estructura.

a) Desplazamiento del nivel de la estructura

Para la determinación del desplazamiento se hará uso del software SAP2000 donde se aplicará la fuerza sísmica obtenida anteriormente esta estará sobre el nodo superior de la columna a como se muestra a continuación:

Figura III.2: Aplicación de fuerza sísmica en el software



Fuente: Elaboración propia mediante uso del software SAP2000.

Obteniendo así mediante el análisis en el software el siguiente valor para el desplazamiento en la dirección de x:

$$x_i = 0.025 \text{ m}$$

b) Periodo fundamental de vibración de la estructura

Para determinar el periodo fundamental se utiliza la ecuación del inciso b, Arto.22 del RNC-07, donde se toma en consideración la fuerza sísmica, el peso de la estructura, y el desplazamiento del nivel a como se muestra a continuación:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum W_i x_i^2}{g \sum F_{s_i} x_i}}$$

Ecuación III.4: Periodo fundamental de vibración, Fuente: RNC-07.

Sustituyendo los valores necesarios se tiene lo siguiente:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(5,116.55 \text{ kg}) (0.025 \text{ m})^2}{(9.81 \text{ m/s}^2) (7(1,740 \text{ kg})) (0.025 \text{ m})}}$$

$$T = 0.21 \text{ seg}$$

c) Ordenada del Espectro de Aceleraciones

Para la aplicación de la reducción de las fuerzas sísmicas es necesario determinar el valor de la ordenada espectral definida en el Arto.27 subtema II del RNC-07 mostrado a continuación:

$$a = \begin{cases} S \left[a_0 + (d - a_0) \frac{T}{T_a} \right] & \text{si } T < T_a \\ S d & \text{si } T_a \leq T \leq T_b \\ S d \left(\frac{T_b}{T} \right) & \text{si } T_b \leq T \leq T_c \\ S d \left(\frac{T_b}{T_c} \right) \left(\frac{T_c}{T} \right)^2 & \text{si } T > T_c \end{cases}$$

Ecuación III.5: Ordenada espectral de aceleraciones, Fuente: RNC-07.

Donde:

$S=1.7$ (Inciso 3.6.6 de este documento)

$a_0=0.2$ (Inciso 3.6.6 de este documento)

$d=2.7 a_0$ (Arto.27, subtema II del RNC-07)

$T_a=0.10 \text{ s}$ (Figura 3, RNC-07)

$T_b=0.60 \text{ s}$ (Figura 3, RNC-07)

$T_c=2.00 \text{ s}$ (Figura 3, RNC-07)

Al comparar el valor del periodo aproximado de vibración de la estructura se tiene que está contenido en el rango de $T_a \leq T \leq T_b$ por lo que se aplicara la 2da condición para el cálculo de la ordenada espectral a como se muestra a continuación:

$$a = S_d$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$a = S \cdot 2.7 \cdot a_0$$

$$a = (1.7) (2.7 (0.2))$$

$$a = 0.92$$

d) Corrección del factor de ductilidad

Se corrige el factor de reducción por ductilidad una vez calculado el periodo fundamental teniendo así que $T > T_a$ por lo tanto el factor es $Q' = Q$ a como se consideró en el inciso 3.6.3 de este documento siendo este el siguiente:

$$Q' = Q$$

$$Q' = 1.5$$

e) Fuerza sísmica reducida

Para el cálculo de la fuerza sísmica reducida se utiliza la ecuación definida en el Arto.27 subtema II del RNC-07 mostrado a continuación:

$$F_{s_i} = \frac{a}{\Omega \cdot Q'} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}$$

Ecuación III.6: Fuerza de sismo lateral reducido, Fuente: RNC-07.

Donde:

$$Q' = 1.5 \text{ (Inciso 3.6.3 de este documento)}$$

$$\Omega = 2 \text{ (Inciso 3.6.4 de este documento)}$$

Se procede a determinar el valor de la fuerza sísmica lateral reducida de la siguiente manera:

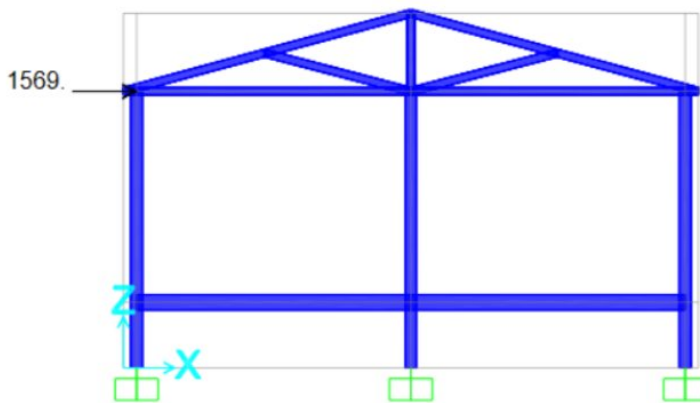
$$F_{s_i} = \frac{(0.92)}{(2)(1.5)} (5,116.55 \text{ kg})(4.68 \text{ m}) \frac{5,116.55 \text{ kg}}{23,945.45 \text{ kg.m}}$$

$$F_{s_i} = 1,569 \text{ kg}$$

f) Desplazamiento debido a la fuerza sísmica reducida

Se procede a realizar el análisis en el software SAP2000 aplicando la fuerza sísmica reducida calculada anteriormente para de esta manera determinar el desplazamiento de la estructura y de esta manera evaluarlo, a como se muestra a continuación:

Figura III.3: Aplicación de fuerza sísmica reducida en el software



Fuente: Elaboración propia mediante uso del software SAP2000.

Obteniendo así mediante el análisis en el software el siguiente valor para el desplazamiento en la dirección de x:

$$x_i = 0.022 \text{ m}$$

3.6.10. Revisión del desplazamiento lateral

a) Desplazamiento en estado límite de servicio

A como se menciona en el Arto.34, inciso a), acápite b del RNC-07: si se ha utilizado el método estático tomando en cuenta el efecto del periodo estructural, los desplazamientos serán los que resulten del análisis estructural ante fuerzas reducidas multiplicadas por el factor $Q'\Omega/2.5$ siendo este de la siguiente manera:

$$\Delta_{\text{servicio}} = \frac{\Delta Q' \Omega}{2.5}$$

Ecuación III.7: Desplazamiento en estado límite de servicio, Fuente: RNC-07.

Tomando en consideración todos los factores necesarios y sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\Delta_{\text{servicio}} = \frac{(0.022 \text{ m}) (1.5) (2)}{2.5}$$

$$\Delta_{\text{servicio}} = 0.025 \text{ m}$$

b) Desplazamiento en estado límite de colapso

A como se menciona en el Arto.34 inciso b del RNC-07: si se ha utilizado el método estático tomando en cuenta el efecto del periodo estructural tal como se prevé en el Arto.32 inciso b), los desplazamientos en este caso serán los que resulten del análisis estructural ante fuerzas reducidas multiplicados por el factor $Q\Omega$ siendo este de la siguiente manera:

$$\Delta_{\text{colapso}} = \Delta Q \Omega$$

Ecuación III.8: Desplazamiento en estado límite de colapso, Fuente: RNC-07.

Tomando en consideración todos los factores necesarios y sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\Delta_{\text{colapso}} = (0.022 \text{ m}) (1.5) (2)$$

$$\Delta_{\text{colapso}} = 0.06 \text{ m}$$

c) Revisión de desplazamientos laterales

Para la revisión de la estructura se verificará que su rigidez lateral cumpla con las condiciones como lo estipula el Arto.43 inciso c), siendo estas las siguientes:

i) Desplazamiento en estado límite de servicio

Para la limitación de danos a elementos no estructurales, las diferencias entre los desplazamientos laterales de pisos consecutivos (calculado mediante el Arto.34 inciso a), no excederán 0.002 veces las diferencias de elevaciones correspondientes siendo esto expresado de la siguiente manera:

$$\frac{\Delta_{\text{servicio}}}{H} < 0.004$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\frac{0.025 \text{ m}}{3.6 \text{ m}} < 0.004$$

$0.007 > 0.004 \therefore$ No Cumple ante las distorsiones máximas permitidas

ii) Desplazamiento en estado límite de colapso

Para seguridad contra colapso las diferencias entre los desplazamientos laterales de pisos consecutivos (calculado mediante el Arto 43. Inciso b), divididas por las diferencias de elevaciones correspondientes, no excederán las distorsiones de entrepiso establecidas en la tabla 4 para los distintos sistemas estructurales.

Al no tener un valor definido para las distorsiones máximas permitidas en la tabla 4 para estructuras de madera se utilizará las tablas que dispone el ASCE 7 donde primeramente se utiliza la tabla 1-1 (sección 1.8 del ASCE 7) que dispone de la categoría de ocupación que tiene la estructura en nuestro caso se clasifica en tipo II (al ser para uso habitacional), una vez determinado la categoría se utiliza la tabla 12.12-1 (sección 12.11 del ASCE 7) que dispone de las distorsiones máximas permitidas por tipo de estructura y ocupación teniendo así un valor máximo de 0.02 expresando esto de la siguiente forma:

$$\frac{\Delta_{\text{colapso}}}{H} < 0.02$$

Sustituyendo valores se tiene

$$\frac{0.06 \text{ m}}{3.6 \text{ m}} < 0.02$$

$0.016 < 0.02 \therefore$ Cumple ante las distorsiones máximas permitidas

3.6.11. Efecto de segundo orden

Los efectos de segundo orden pueden tener un impacto significativo en el diseño y la construcción de estructuras, por lo tanto, es importante considerar los efectos de segundo orden al diseñar estructuras que estén sujetas a cargas laterales o gravitatorias significativas.

a) Efecto P-delta

Para la verificación de la estructura en este caso se estipula en el Arto.32 inciso e, del RNC-07 que estos efectos pueden despreciarse en los entrepisos en los que se cumplen la siguiente condición:

$$\frac{\Delta}{H} \leq 0.08 \frac{V}{P_y}$$

Donde:

V= Fsi al tener una estructura de un solo nivel

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\frac{0.06 \text{ m}}{3.6 \text{ m}} \leq 0.08 \left(\frac{1,569 \text{ kg}}{5,116.55 \text{ kg}} \right)$$

$0.016 \leq 0.025$ $\therefore$ Se cumple y se ignora este efecto en la estructura

3.7. Determinación de cargas por viento

3.7.1. Clasificación de la estructura

Se realiza la clasificación de la estructura sabiendo que estas se pueden clasificar en cuatro tipos según lo definido en el Arto.45 del RNC-07, para lo cual se determina de la siguiente forma:

$$\text{Relación } h/b = \frac{h}{b_{\text{menor}}}$$

$$\text{Relación } h/b = \frac{4.6482 \text{ m}}{7.2 \text{ m}}$$

$$\text{Relación } h/b = 0.645 < 5$$

La relación h/b es menor que 5 por lo tanto la estructura es tipo 1 y comprende a una estructura poco sensible a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, por lo que para su análisis se puede emplear el método estático.

3.7.2. Determinación de la Velocidad de diseño

Para el cálculo de la velocidad de diseño se utiliza la siguiente ecuación del Arto.49 del RNC-07 mostrada a continuación:

$$V_D = F_{TR} * F_a * V_R$$

Ecuación III.9: Velocidad de diseño, Fuente: RNC-07

Para la determinación de la velocidad de diseño es necesario determinar los siguientes datos faltantes:

- **Velocidad regional**

La estructura se clasifica en el grupo B siendo estas las estructuras de normal importancia (inciso b, Arto.20 del RNC-07) ya que esta ubicado en el departamento de Dipilto, la cual se encuentra en la zona 2 en el mapa de zonificación eólica de Nicaragua para análisis por viento (Figura 7, Arto 50 del RNC-07), por lo que su periodo de retorno será de 50 años conociendo estos datos se toma así de la tabla 5 del Arto.50 del RNC-07 el siguiente valor para la velocidad regional:

$$V_R = 45 \text{ m/s}$$

- **Factor de Variación de altura**

La estructura cuenta con una altura de 4.64 metros, por lo que se aplica la primera condición del reglamento en el Arto 51 del RNC-07, cuando el nivel de altura no es mayor de los 10 metros, por lo que el valor es el siguiente:

$$F_a = 1$$

- **Factor correctivo por topografía y rugosidad**

Según las condiciones topográficas en la zona la cual está ubicado en el municipio de Dipilto presentando una forma plana ubicándose con una topografía tipo T3 (Figura 8, Arto.53 del RNC-07) y con un terreno tipo R3 (Figura 6, Arto.50 del RNC-07) en este caso en la localización del centro turístico hay áreas arboladas en el terreno, por lo que el factor de topografía y rugosidad es el siguiente:

$$F_{TR} = 0.88 \text{ (Tabla 7, Arto 54 del RNC-07)}$$

Retomando a la ecuación del Inciso 3.7.2 de este documento para la determinación de la velocidad de diseño teniendo ya todos los factores necesarios para dicho cálculo, se procede a sustituir valores y se tiene lo siguiente:

$$V_D = F_{TR} * F_a * V_R$$

$$V_D = (0.88)(1)(45 \text{ m/s})$$

$$V_D = 39.6 \text{ m/s}$$

3.7.3. Determinar Presión de diseño

Para el cálculo de la presión de diseño se hace uso de la siguiente ecuación del Arto.54 del RNC-07 para la cual se necesitan de datos obtenidos anteriormente, también de los coeficientes de presión estos dependen de la forma del edificio:

$$p_z = 0.0479 C_p V_D^2 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

- **Coeficientes de Presión**

Para la determinación de los coeficientes de presión del Arto.54 del RNC-07 se toma en consideración que estos dependen de la geometría de la vivienda que, en este caso, se tiene techos inclinados a dos aguas y por lo tanto se hará uso de un factor para cada lado del techo a como se muestra a continuación:

a) Techo inclinado: Lado de sotavento

$C_p = -0.7$ (Tabla 8, Arto 54 del RNC-07)

b) Techo inclinado: Lado de barlovento

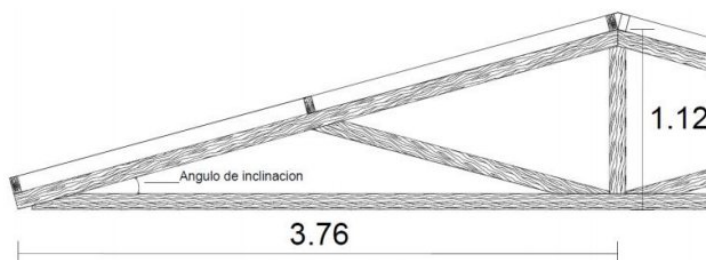
$C_p = -0.8 < 0.04\theta - 1.6 < 1.8$ (Tabla 8, Arto 54 del RNC-07)

Donde:

i) Cálculo del ángulo de inclinación del techo

Para la determinación del ángulo de inclinación se utilizan las razones trigonométricas básicas, tomando en cuenta los datos de las dimensiones mostradas en la siguiente figura:

Figura III.4: Angulo de inclinación del techo



Fuente: Elaboración propia.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{1.12\text{m}}{3.76\text{m}} \right)$$

$$\theta = 16.6^\circ$$

ii) Cálculo del coeficiente de presión

Teniendo en cuenta el valor del ángulo de inclinación del techo, el valor del coeficiente de presión estaría dado de la siguiente manera:

$$C_p = -0.8 < 0.04\theta - 1.6 < 1.8$$

$$C_p = -0.8 < 0.04(16.6) - 1.6 < 1.8$$

$$C_p = -0.8 < 0.664 - 1.6 < 1.8$$

$$C_p = -0.8 < 0.936 < 1.8$$

$$C_p = -0.8$$

- **Cálculo de las presiones de diseño**

Teniendo todos los coeficientes necesarios para el cálculo de la presión de diseño se procede a calcular el valor en ambos lados del techo, obteniéndose así lo siguiente:

a) Presión de diseño en el lado de sotavento

$$p_z = 0.0479C_pV_D^2 \text{ kg/m}^2$$

$$p_z = 0.0479(-0.7)(39.6 \text{ m/s})^2$$

$$p_z = -52.58 \text{ kg/m}^2 \text{ (Succión)}$$

b) Presión de diseño en el lado de barlovento

$$p_z = 0.0479C_pV_D^2 \text{ kg/m}^2$$

$$p_z = 0.0479(-0.8)(39.6 \text{ m/s})^2$$

$$p_z = -60.09 \text{ kg/m}^2 \text{ (Succión)}$$

Mediante de la siguiente figura se muestra la manera en la que se consideró el viento:

Diagrama de un edificio con estructura de acero que muestra el levantamiento por succión en el techo. El viento fluye desde la izquierda y la derecha, creando una succión en la superficie superior del techo. Las flechas azules indican la dirección del viento y las flechas verdes indican la succión en el techo. Las flechas verdes en la base indican la reacción de apoyo.

50

CAPITULO IV:Diseño de elementos estructurales de madera

4.1. Consideraciones para el diseño de elementos de madera

Para el diseño de los elementos de madera de la vivienda propuesta, se tomará en cuenta todas las especificaciones aplicables de la norma National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018), se estará diseñando los elementos principales, así como también los secundarios que conforma el sistema en sí, haciendo uso del software SAP2000 para la obtención de datos necesarios para los cálculos referentes al diseño de los elementos principales de madera. Donde uno de los datos importantes que se tomara en cuenta para la realización de los cálculos será el contenido de humedad de la madera, la cual se tomara en estado seco, se hará de esta forma para propósitos de diseño.

4.2. Propiedades mecánicas de la especie maderable

A continuación, se presentan las propiedades mecánicas de la especie maderable a utilizar, se muestra en forma de tabla ya que serán datos a utilizar en todo el diseño de los elementos estructurales de madera, estos valores son tomados del Reglamento Nacional de la Construcción, los cuales son el módulo de elasticidad y las diferentes resistencias a esfuerzos.

Tabla IV.1: Propiedades de la especie maderable a utilizar

Propiedades mecánicas del pino ocote	
Módulo de elasticidad E (kg/cm ²)	130,000
Resistencia a la compresión F_c (kg/cm ²)	78
Resistencia a la flexión F_b (kg/cm ²)	116
Resistencia al corte F_v (kg/cm ²)	7

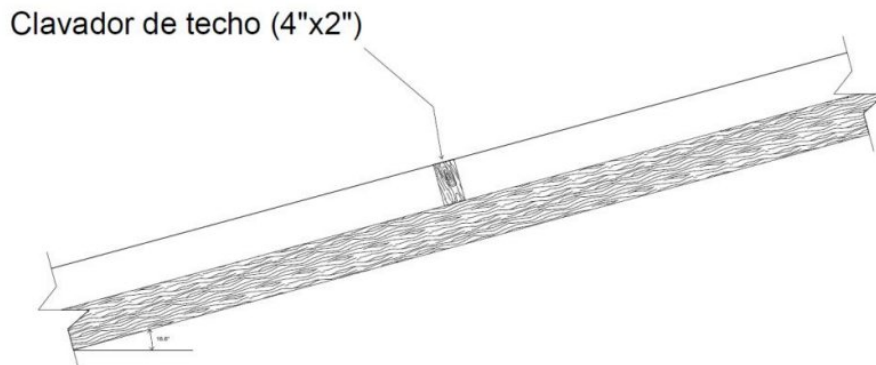
Fuente Elaboración propia con datos de la tabla No.18 del Reglamento Nacional de la Construcción (RNC07).

4.3. Diseño de clavador de techo por cargas gravitacionales

El clavador de techo se considerará como una viga simplemente apoyada para el debido análisis, en el cual mediante las cargas gravitacionales haciendo uso de estática básica se realizará el cálculo de los momentos actuantes en sus debidos

componentes ya que el elemento al estar inclinado por la pendiente de la caída de agua, y así también el cortante para realizar los cálculos para el diseño del elemento de madera.

Figura IV.1: Clavador de techo sobre cuerda superior



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1. Dimensiones del clavador

Dimensiones del clavador de techo	
Base b (in)	2
Peralte d (in)	4
Claro L (m)	2.5
Angulo de inclinación (grados)	18.1

4.3.2. Cargas aplicadas en el elemento

Cargas aplicadas	
Carga muerta distribuida, lamina de zinc, CM (kg/m)	10.45
Carga de viento a succión distribuida, Pz (kg/m)	150.23
Carga viva distribuida, techo liviano, CV (kg/m)	25
Carga viva puntual, techo liviano, CV (kg)	100

4.3.3. Combinación crítica para el análisis

$$W_u = 1.2CM + 1.6P_z + CV$$

$$W_u = 1.2(10.45 \text{ kg/m}) + 1.6(-150.23 \text{ kg/m}) + 25 \text{ kg/m}$$

$$W_u = -202.828 \text{ kg/m}$$

$$P_u = CV$$

$$P_u = 100 \text{ kg}$$

4.3.3.1. Cargas ajustadas con componentes actuantes debido a inclinación

-Eje X

$$W_{ux} = W_u \cdot \sin \theta$$

$$W_{ux} = (-202.828 \text{ kg/m}) \sin(16.6^\circ)$$

$$W_{ux} = -57.95 \text{ kg/m}$$

$$P_{ux} = P_u \cdot \sin \theta$$

$$P_{ux} = (100 \text{ kg}) \sin(16.6^\circ)$$

$$P_{ux} = 28.57 \text{ kg}$$

-Eje Y

$$W_{uy} = W_u \cdot \cos \theta$$

$$W_{uy} = (-202.828 \text{ kg/m}) \cos(16.6^\circ)$$

$$W_{uy} = -194.37 \text{ kg/m}$$

$$P_{uy} = P_u \cdot \cos \theta$$

$$P_{uy} = (100 \text{ kg}) \cos(16.6^\circ)$$

$$P_{uy} = 95.83 \text{ kg}$$

4.3.4. Cálculo de los momentos actuantes

Como se sabe que es una viga simplemente apoyada para el cálculo del momento actuante en el debido eje, se hará uso de la estática como se mencionaba anteriormente por lo que se tiene las siguientes ecuaciones para la determinación de los momentos.

$$M_u = \frac{W_u L^2}{8} + \frac{PL}{4}$$

Por lo tanto, sustituyendo los valores tomando en consideración los ambos ejes se tiene lo siguiente:

$$M_{u_x} = \frac{(-57.95 \text{ kg/m}) (2.5 \text{ m})^2}{8} + \frac{(28.57 \text{ kg})(2.5 \text{ m})}{4}$$

$$M_{u_x} = -27.42 \text{ kg.m}$$

$$M_{u_y} = \frac{(-194.37 \text{ kg/m}) (2.5 \text{ m})^2}{8} + \frac{(94.83 \text{ kg})(2.5 \text{ m})}{4}$$

$$M_{u_y} = -92.58 \text{ kg.m}$$

4.3.5. Cálculo del cortante

$$V = \frac{W_u L}{2} + \frac{P}{2}$$

$$V = \frac{(-202.828 \text{ kg/m}) (2.5 \text{ m})}{2} + \frac{100 \text{ kg}}{2}$$

$$V = -203.54 \text{ kg}$$

4.3.6. Cálculo de los esfuerzos

Los esfuerzos actuantes sobre el clavador de techo son el esfuerzo flexionante en sus ambos ejes tanto el eje mayor como el menor y el esfuerzo cortante debido a que solo tiene carga perpendicular a su eje longitudinal.

4.3.6.1. Esfuerzo flexionante en el eje mayor

$$f_b = \frac{6M}{bd^2} = \frac{6My}{bd^2} \text{ (Sección 3.3.2 de la NDS 2018)}$$

Ecuación IV.1: Esfuerzo flexionante en el eje mayor, Fuente: NDS 2018.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_{b_y} = \frac{6(92.58 \text{ kg.m}) (100 \text{ cm/m})}{(2 \text{ in} \cdot 2.54 \text{ cm/in})(4 \text{ in} \cdot 2.54 \text{ cm/in})^2}$$

$$f_{by} = 105.93 \text{ kg/cm}^2$$

4.3.6.2. Esfuerzo flexionante en el eje menor

$$f_b = \frac{6M}{bd^2} = \frac{6Mx}{bd^2} \text{ (Sección 3.3.2 de la NDS 2018)}$$

Ecuación IV.2: Esfuerzo flexionante en el eje menor, Fuente: NDS 2018.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_{bx} = \frac{6(27.42 \text{ kg.m}) (100 \text{ cm/m})}{(2 \text{ in} * 2.54 \text{ cm/in}) (4 \text{ in} * 2.54 \text{ cm/in})^2}$$

$$f_{bx} = 31.37 \text{ kg/cm}^2$$

4.3.6.3. Esfuerzo cortante

$$f_v = \frac{3V}{2bd} \text{ (Sección 3.3.2 de la NDS 2018)}$$

Ecuación IV.3: Esfuerzo cortante, Fuente: NDS 2018.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_v = \frac{3(203.54 \text{ kg})}{2(2 \text{ in} * 2.54 \text{ cm/in})(4 \text{ in} * 2.54 \text{ cm/in})}$$

$$f_v = 5.92 \text{ kg/cm}^2$$

4.3.7. Cálculo de la longitud efectiva

Para la evaluación de la longitud efectiva es necesario conocer la relación de esbeltez el cual es el siguiente:

$$\frac{l_u}{d} = \frac{(2.50 \text{ m} * 100 \text{ cm/m})}{(4 \text{ in} * 2.54 \text{ cm/in})} = 24.61$$

Ya que no existe un caso de carga igual que la del clavador de techo en la tabla 3.3.3 de la NDS 2018, se toma "Para miembros sometidos a flexión de un solo

claro o miembros en voladizo con condiciones de carga no especificadas en la tabla 3.3.3". Al evaluar se tiene que la relación l_u/d es mayor que 14.3, siendo este el límite.

$$l_e = 1.84l_u$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$l_e = 1.84(250 \text{ cm})$$

$$l_e = 460 \text{ cm}$$

4.3.8. Factores de ajuste

Los factores de ajuste (Sección 4.2.1 de la NDS 2018) son utilizados para los valores de diseño de los elementos de madera, en los cuales se toma en cuenta las condiciones a las que está sometido un miembro de madera.

4.3.8.1. Factor de servicio húmedo

Se toma en cuenta que la madera está seca por lo que el nivel de humedad en el elemento es menor al 19% y, por lo tanto, este factor no aplica.

C_M = No aplica (Tabla 4A de la NDS Supplement 2018)

4.3.8.2. Factor de temperatura

Se ha considerado que la madera se encuentra en estaco seco, por lo tanto, no aplica este factor.

C_t = No aplica (Tabla 2.3.3 de la NDS 2018)

4.3.8.3. Factor de tamaño

Al tener dimensiones de 4" para el peralte y 2" para el ancho se obtiene el siguiente valor para el factor:

C_F = 1.5 (Tabla 4A de la NDS Supplement 2018)

4.3.8.4. Factor de uso de cara ancha

Se tiene dimensiones de 4" para el peralte y 2" para el ancho, así que el factor es:
 $C_{fu}=1.1$ (Tabla 4A de la NDS Supplement 2018)

4.3.8.5. Factor de corte

Para E, E_{min}

$C_i = 0.95$ (Tabla 4.3.8 de la NDS 2018)

Para F_b , F_c , F_v

$C_i = 0.8$ (Tabla 4.3.8 de la NDS 2018)

4.3.8.6. Factor de miembro repetitivo

El distanciamiento entre los marcos supera el valor mínimo admisible, por lo que los elementos se comportan de manera individual así que este factor no aplica.

$C_r =$ No aplica (Sección 4.3.9 de la NDS 2018)

4.3.8.7. Factor de rigidez al pandeo

Este caso aplica para elementos sometidos a flexión y compresión axial en condiciones de servicio seco, que tienen hojas de plywood de espesor de 3/8" o superior clavadas paralelamente al peralte. Ya que los elementos no están sujetos a estas condiciones, este factor no aplica.

$C_T =$ No aplica (Sección 4.4.2 de la NDS 2018)

4.3.8.8. Factor por efecto del tiempo

Dada la combinación de cargas el factor es el siguiente:

$\lambda = 1$ (Tabla N3 de la NDS 2018)

4.3.8.9. Factor de estabilidad de viga

$$C_L = \frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} \right]^2 - \frac{F_{bE}/F_b^*}{0.95}} \quad (\text{Sección 3.3.3 de la NDS 2018})$$

Ecuación IV.4: Factor de estabilidad de viga, Fuente: NDS 2018.

Donde:

a) Valor crítico de Diseño al colapso para miembros a flexión

$$F_{bE} = \frac{1.20 E_{min}'}{Rb^2}$$

Donde:

i) Cálculo del módulo de elasticidad ajustado para los factores de estabilidad de viga y de columna

$$E_{min}' = E_{min} * C_M * C_t * C_i * C_T * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min} = E[1 - 1.645COV_E](1.03)/1.66$$

Donde COV_E coeficiente de variación del módulo de elasticidad esta dado por el apéndice F del NDS 2018 donde $COV_E = 0.25$

$$E_{min} = 130,000 \text{ kg/cm}^2 [1 - 1.645(0.25)] (1.03)/1.66$$

$$E_{min} = 47,490.14 \text{ kg/cm}^2$$

Debido a que no todos los factores aplican para el elemento, la ecuación pasa a ser la siguiente

$$E_{min}' = E_{min} * C_i * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min}' = 47,490.14 \text{ kg/cm}^2 * 0.95 * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min}' = 67,493 \text{ kg/cm}^2$$

ii) Relación de esbeltez

$$R_b = \sqrt{\frac{I_e d}{b^2}} \leq 50$$

$$R_b = \sqrt{\frac{(460 \text{ cm}) (10.16 \text{ cm})}{(5.08 \text{ cm})^2}} \leq 50$$

$$R_b = 13.46 < 50$$

iii) Cálculo del Valor crítico de Diseño al colapso para miembros a flexión

$$F_{bE} = \frac{1.20 E_{min}}{R_b^2}$$

$$F_{bE} = \frac{1.20 (67,493 \text{ kg/cm}^2)}{(13.46)^2}$$

$$F_{bE} = 447.04 \text{ kg/cm}^2$$

b) Valor de la flexión de diseño de referencia

Este cálculo es la multiplicación de la resistencia a la flexión de diseño F_b con todos los factores de ajuste excepto C_L y C_{fu}

$$F_b^* = F_b * C_M * C_t * C_F * C_i * C_r * 2.54 * 0.85 * \lambda$$

Simplificando la ecuación omitiendo todos los factores que no aplican se tiene lo siguiente:

$$F_b^* = F_b * C_F * C_i * 2.54 * 0.85 * \lambda$$

$$F_b^* = 116 \text{ kg/cm}^2 * 1.5 * 0.8 * 2.54 * 0.85 * 1$$

$$F_b^* = 282.85 \text{ kg/cm}^2$$

c) Cálculo del factor de estabilidad de viga

$$C_L = \frac{1 + \frac{(447.04 \text{ kg/cm}^2)}{(282.85 \text{ kg/cm}^2)}}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{(447.04 \text{ kg/cm}^2)}{(282.85 \text{ kg/cm}^2)}}{1.9} \right]^2 - \frac{(447.04 \text{ kg/cm}^2)}{(282.85 \text{ kg/cm}^2)}}{0.95}}$$

$$C_L = 0.95$$

4.3.8.10. Factor de estabilidad de columna

$$C_P = \frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_c^*}}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_c^*}}{2c} \right]^2 - \frac{F_{cE}}{F_c^*}} \quad (\text{Sección 3.7.1 de la NDS 2018})$$

Ecuación IV.5: Factor de estabilidad de columna, Fuente: NDS 2018.

Donde:

a) Valor del pandeo crítico de diseño para miembros en compresión

$$F_{cE} = \frac{0.822 E_{min}'}{(l_e/d)^2}$$

Donde:

i) Cálculo de E_{min}'

Donde E_{min}' fue calculado anteriormente en el inciso i) de la sección 4.3.8.9 siendo este valor el siguiente:

$$E_{min}' = 67,493 \text{ kg/cm}^2$$

ii) Cálculo de F_{cE}

$$F_{cE} = \frac{0.822 E_{min}'}{(l_e/d)^2}$$

$$F_{cE} = \frac{0.822 (67,493 \text{ kg/cm}^2)}{(460 \text{ cm}/10.16 \text{ cm})^2}$$

$$F_{cE} = 27.06 \text{ kg/cm}^2$$

b) Valor de compresión de diseño de referencia paralela al grano

Este cálculo es la multiplicación de la resistencia a la compresión de diseño F_c con todos los factores de ajuste excepto C_P .

$$F_c^* = F_c * C_M * C_t * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

Simplificando la ecuación omitiendo todos los factores que no aplican se tiene lo siguiente:

$$F_c^* = F_c * C_F * C_i * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

$$F_c^* = 78 \text{ kg/cm}^2 * 1.5 * 0.8 * 2.40 * 0.9 * 1$$

$$F_c^* = 202.18 \text{ kg/cm}^2$$

c) Cálculo del valor de c

El valor de c para madera aserrada $c = 0.8$

d) Cálculo del factor de estabilidad de columna

$$C_P = \frac{1 + F_{cE}/F_c^*}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + F_{cE}/F_c^*}{2c} \right]^2 - \frac{F_{cE}/F_c^*}{c}}$$

$$C_P = \frac{1 + (27.06 \text{ kg/cm}^2)/(202.18 \text{ kg/cm}^2)}{2(0.8)} - \sqrt{\left[\frac{1 + (27.06 \text{ kg/cm}^2)/(202.18 \text{ kg/cm}^2)}{2(0.8)} \right]^2 - \frac{(27.06 \text{ kg/cm}^2)/(202.18 \text{ kg/cm}^2)}{0.8}}$$

$$C_P = 0.13$$

4.3.8.11. Resumen de valores de factores de ajuste

Habiendo determinado todos los factores de ajuste en los incisos anteriores, se presenta un resumen de todos los valores mediante la siguiente tabla.

Factor de ajuste	Valor
C_M	No aplica
C_t	No aplica
C_L	0.95
C_F	1.5
C_{fu}	1.1
C_i (Para E_{min})	0.95
C_i (Para F_c , F_b , F_v)	0.8
C_r	No aplica
C_P	0.13
C_T	No aplica
λ	1

4.3.9. Esfuerzos de diseño ajustados

Una vez ya determinados todos los factores de ajuste necesarios se realizarán los cálculos de cada uno de los esfuerzos de diseño ajustados, ya multiplicados por todos sus valores de factores de la siguiente forma:

$$F'_c = F_c * C_M * C_t * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

Ecuación IV.6: Esfuerzo a la compresión ajustado, Fuente: NDS 2018.

$$F'_b = F_b * C_M * C_t * C_L * C_{fu} * C_r * 2.54 * 0.85 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

Ecuación IV.7: Esfuerzo a la flexión ajustado, Fuente: NDS 2018.

$$F'_v = F_v * C_M * C_t * C_i * 2.88 * 0.75 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

Ecuación IV.8: Esfuerzo al cortante ajustado, Fuente: NDS 2018.

Resumiendo, las ecuaciones debido a los factores que no aplican se tienen lo siguiente:

$$F_c' = F_c * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

$$F_b' = F_b * C_L * C_F * C_{fu} * 2.54 * 0.85 * \lambda$$

$$F_v' = F_v * C_i * 2.88 * 0.75 * \lambda$$

Sustituyendo todos los valores tenemos que:

$$F_c' = 78 \text{ kg/cm}^2 * 1.5 * 0.8 * 0.13 * 2.40 * 0.9 * 1$$

$$F_c' = 26.28 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_b' = 116 \text{ kg/cm}^2 * 0.95 * 1.5 * 1.1 * 2.54 * 0.85 * 1$$

$$F_b' = 400.83 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_v' = 7 \text{ kg/cm}^2 * 0.8 * 2.88 * 0.75 * 1$$

$$F_v' = 12.09 \text{ kg/cm}^2$$

4.3.10. Chequeo por ecuación de interacción

Para miembros sometidos a esfuerzos de compresión y flexión en ambos ejes, se puede verificar si el miembro cumple mediante la siguiente condición que se encuentra en la sección 3.9.2 de la NDS 2018 mostrado a continuación:

$$\left(\frac{f_c}{F_c'}\right)^2 + \frac{f_{b1}}{F_{b1}'(1 - (f_c/F_{CE1}))} + \frac{f_{b2}}{F_{b1}'(1 - (f_c/F_{CE2}) - (f_{b1}/F_{bE})^2)} \leq 1.0$$

Ecuación IV.9: Ecuación de interacción, Fuente: NDS 2018.

En este caso el elemento no está sujeto a fuerzas de compresión por lo cual la ecuación se podría simplificar de la siguiente manera:

$$\frac{f_{b1}}{F_{b1}'} + \frac{f_{b2}}{F_{b1}'(1 - (f_{b1}/F_{bE})^2)} \leq 1.0$$

Tomando en cuenta que f_{b1} es el esfuerzo aplicado sobre la cara de menor dimensión y f_{b2} es la que se aplica a la cara de mayor dimensión por lo tanto se tiene de la siguiente forma la expresión:

$$\frac{f_{by}}{F_b'} + \frac{f_{bx}}{F_b' (1 - (f_{by}/F_{bE})^2)} \leq 1.0$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\frac{(105.93 \text{ kg/cm}^2)}{400.83 \text{ kg/cm}^2} + \frac{31.37 \text{ kg/cm}^2}{400.83 \text{ kg/cm}^2 (1 - (105.93 \text{ kg/cm}^2 / 447.04 \text{ kg/cm}^2)^2)} \leq 1.0$$

$0.52 < 1.0 \therefore$ La sección es adecuada

4.3.11. Chequeo por flexión

Para la verificación de un elemento de madera sometido a momento de flexión se debe cumplir que la capacidad de momento ajustada sea mayor que el momento de flexión al que el elemento está sometido que expresado de la siguiente manera debe ser:

$$M' \geq M \text{ (Sección M.3.3 del Manual NDS 2018)}$$

- **Cálculo del momento ajustado**

$$M' = F_b' S$$

$$M' = F_b' \frac{bd^2}{6} \text{ (Sección M.3.3 del Manual NDS 2018)}$$

Ecuación IV.10: Momento flexionante ajustado, Fuente: NDS 2018.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$M' = (400.83 \text{ kg/cm}^2) \frac{(2 \text{ in} \cdot 2.54 \text{ cm/in})(4 \text{ in} \cdot 2.54 \text{ cm/in})^2}{6}$$

$$M' = 35,032 \text{ kg.cm}$$

Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$M' \geq M$$

35,032 kg.cm > 9,258 kg.cm ∴ El elemento cumple

4.3.12. Chequeo por cortante

Para la verificación de un elemento de madera sometido a esfuerzos cortantes se debe cumplir que la fuerza cortante de diseño ajustado tiene que ser mayor al cortante actuante por lo tanto se debe cumplir lo siguiente:

$$V' \geq V \text{ (Seccion M.3.4 del Manual NDS 2018)}$$

- **Cálculo del cortante ajustado**

$$V' = \frac{2}{3} F_v' A \text{ (Seccion M.3.4 del Manual NDS 2018)}$$

Ecuación IV.11: Cortante ajustado, Fuente: NDS 2018.

Sustituyendo valores se tiene:

$$V' = \frac{2}{3} (12.09 \text{ kg/cm}^2) (2 \text{ in} \cdot 2.54 \text{ cm/in} \cdot 4 \text{ in} \cdot 2.54 \text{ cm/in})$$

$$V' = 416 \text{ kg}$$

Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$V' \geq V$$

416 kg > 213.54 kg ∴ El elemento cumple

4.3.13. Chequeo por deflexión

Para la verificación del elemento ante la deflexión se deben calcular los valores de deflexión actuante y compararlos con la deflexión permisibles.

a) Deflexión total actuante

Mediante la siguiente formula se determinará la deflexión total actuante en el elemento de madera:

$$\Delta_T = K_{cr} \Delta_{LT} + \Delta_{ST} \text{ (Sección 3.5.2 de la NDS 2018)}$$

Ecuación IV.12: Deflexión total, Fuente: NDS 2018.

Donde:

$K_{cr} = 0.5$ (Sección 4.1.3.3 del Structural Wood Design ASD/LRFD 2nd de Aghayere, A & Vigil, J)

Δ_{LT} : Deflexión inmediata debido al componente a largo plazo de la carga de diseño.

Δ_{ST} : Deflexión debida al componente de corto plazo de la carga de diseño.

Para la determinación de las deflexiones a largo y corto plazo se utilizará la siguiente ecuación:

$$\Delta = \frac{5wL^4}{384EI} \text{ (Sección M3.5 del Manual NDS 2018)}$$

Ecuación IV.13: Deflexión en viga rectangular, Fuente: NDS 2018.

Donde se tomará en cuenta el valor del módulo de elasticidad como el valor mínimo que fue calculado Inciso i de la sección 4.3.8.9 de este documento siendo este el siguiente:

$$E = E_{\min} = 47,490.14 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto, se realizará el cálculo de la deflexión de ambos casos de carga a largo plazo (carga muerta) y a corto plazo (carga viva).

- **Deflexión inmediata a largo plazo**

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\Delta = \frac{5wl^2}{384EI}$$

$$\Delta_{LT} = \frac{5(0.1045 \text{ kg/cm})(250 \text{ cm})^4}{384(47,490.14 \text{ kg/cm}^2) \left(\frac{(5.08 \text{ cm})(10.16 \text{ cm})^3}{12} \right)}$$

$$\Delta_{LT} = 0.25 \text{ cm}$$

- **Deflexión a corto plazo**

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\Delta = \frac{5wl^2}{384EI}$$

$$\Delta_{ST} = \frac{5(0.25 \text{ kg/cm})(250 \text{ cm})^4}{384(47,490.14 \text{ kg/cm}^2) \left(\frac{(5.08 \text{ cm})(10.16 \text{ cm})^3}{12} \right)}$$

$$\Delta_{ST} = 0.6 \text{ cm}$$

- **Determinación de Deflexión total actuante**

Retomando la ecuación IV.13 se sustituye valores para determinar la deflexión total de la siguiente manera:

$$\Delta_T = K_{cr} \Delta_{LT} + \Delta_{ST}$$

$$\Delta_T = 0.5 (0.25 \text{ cm}) + 0.6 \text{ cm}$$

$$\Delta_T = 0.125 \text{ cm} + 0.6 \text{ cm}$$

$$\Delta_T = 0.73 \text{ cm}$$

b) Verificación de la deflexión total con el límite permisible

Se comprobarán la deflexión total actuante en base al límite permitido, el valor límite serán tomado de la tabla 1604.3 del IBC 2021:

- **Para carga a largo plazo más carga a corto plazo (CM+CV):**

$$\Delta_{\max} = L/240$$

Ecuación IV.14: Deflexión máxima carga muerta, Fuente: IBC 2021.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\Delta_{\max} = \frac{(250 \text{ cm})}{240}$$

$$\Delta_{\max} = 1.04 \text{ cm}$$

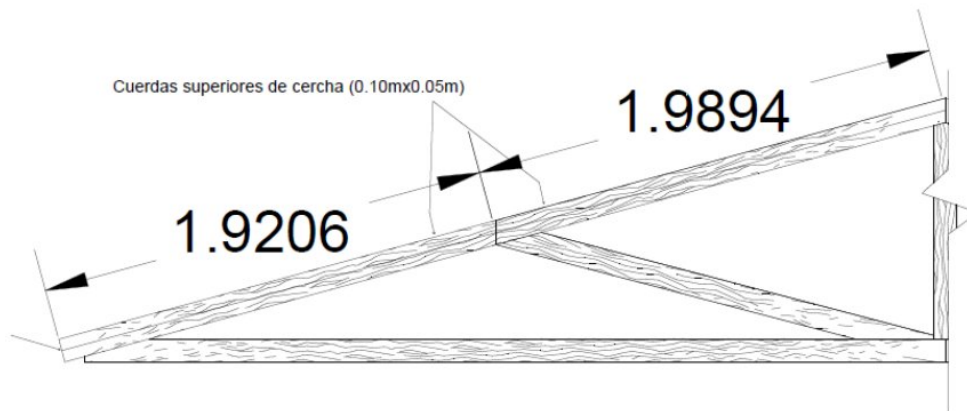
Al comparar el valor de la deflexión actuante con el máximo permitido se obtiene lo siguiente:

$$\Delta_T < \Delta_{\max}$$

0.73 cm < 1.04 cm ∴ El elemento cumple

4.4. Diseño de cuerda superior de techo

Figura IV.2: Cuerda superior de cercha



Fuente: Elaboración propia.

4.4.1. Dimensiones de la cuerda superior

Dimensiones de cuerda superior de cercha de techo	
Base b (m)	0.05
Peralte d (m)	0.10
Claro l_u (m)	1.9894

4.4.2. Datos de fuerzas en cuerda superior

Tabla IV.2: Datos de fuerzas aplicadas en cuerda superior

Combinación crítica	1.2CM+1.6Pz+CV
P (kg)	580.33
V (Kg)	43.7
My (kg.m)	18.34

Fuente: Elaboración propia con datos de SAP2000.

4.4.3. Cálculo de los esfuerzos

La cuerda superior de la cercha de techo está sometida a una fuerza de compresión por lo cual se determinará el esfuerzo a la compresión, también el esfuerzo flexionante (que actúa solo sobre el eje mayor) y el cortante respectivamente.

4.4.3.1. Esfuerzo a la compresión

$$f_c = \frac{P}{b d} \text{ (Sección 1.2A Mecánica de materiales de Beer Johnston)}$$

Ecuación IV.15: Esfuerzo a la compresión, Fuente: Mecánica de materiales.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_c = \frac{(580.33 \text{ kg})}{(0.05 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m})(0.10 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m})}$$

$$f_c = \frac{(580.33 \text{ kg})}{(5 \text{ cm})(10 \text{ cm})}$$

$$f_c = 11.61 \text{ kg/cm}^2$$

4.4.3.2. Esfuerzo flexionante en el eje mayor

Para la determinación del esfuerzo flexionante se utiliza la ecuación IV.1 de la sección 4.3.6.1 de este documento siendo esta la siguiente:

$$f_b = \frac{6M}{bd^2} = \frac{6My}{bd^2} \text{ (Sección 3.4.2 de la NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_{by} = \frac{6(18.34 \text{ kg} \cdot \text{m})(100 \text{ cm/m})}{(5 \text{ cm})(10 \text{ cm})^2}$$

$$f_{by} = 22 \text{ kg/cm}^2$$

4.4.3.3. Esfuerzo cortante

Para la determinación del esfuerzo cortante se utiliza la ecuación IV.3 de la sección 4.3.6.3 de este documento siendo esta la siguiente:

$$f_v = \frac{3V}{2bd} \text{ (Sección 3.4.2 de la NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_v = \frac{3(43.7 \text{ kg})}{2(5\text{cm})(10 \text{ cm})}$$

$$f_v = 1.31 \text{ kg/cm}^2$$

4.4.4. Cálculo de la longitud efectiva

Para la evaluación de la longitud efectiva es necesario conocer la relación de esbeltez el cual es el siguiente:

$$\frac{l_u}{d} = \frac{(1.99 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m})}{(10\text{cm})} = 19.9$$

De la tabla 3.3.3 de la NDS 2018, se toma “Para miembros sometidos a flexión de un solo claro o miembros en voladizo con condiciones de carga no especificadas en la tabla 3.3.3”. Al evaluar se tiene que la relación l_u/d es mayor que 14.3, siendo este el límite.

$$l_e = 1.84l_u$$

$$l_e = 1.84(199 \text{ cm})$$

$$l_e = 366.16 \text{ cm}$$

4.4.5. Factores de ajuste

Los factores de ajuste (Sección 4.2.1 de la NDS 2018) son utilizados para los valores de diseño de los elementos de madera, en los cuales se toma en cuenta las condiciones a las que está sometido un miembro de madera.

4.4.5.1. Factor de servicio húmedo

Se toma en cuenta que la madera esta seca por lo que el nivel de humedad en el elemento es menor al 19% y por lo tanto, este factor no aplica.

C_M = No aplica (Tabla 4A de la NDS Supplement 2018)

4.4.5.2. Factor de temperatura

Se ha considerado que la madera se encuentra en estaco seco, por lo tanto, no aplica este factor.

C_t = No aplica (Tabla 2.3.3 de la NDS 2018)

4.4.5.3. Factor de tamaño

Al tener dimensiones de 4" para el peralte y 2" para el ancho se obtiene el siguiente valor para el factor:

C_F = 1.5 (Tabla 4A de la NDS Supplement 2018)

4.4.5.4. Factor de uso de cara ancha

Al tener dimensiones que son equivalentes a 4" para el peralte y 2" para el ancho se obtiene el siguiente valor para el factor:

C_{fu} = 1.1 (Tabla 4A de la NDS Supplement 2018)

4.4.5.5. Factor de corte

Para E , E_{min}

C_i = 0.95 (Tabla 4.3.8 de la NDS 2018)

Para F_b , F_c , F_v

C_i = 0.8 (Tabla 4.3.8 de la NDS 2018)

4.4.5.6. Factor de miembro repetitivo

El distanciamiento entre los marcos supera el valor mínimo admisible, por lo que los elementos se comportan de manera individual así que este factor no aplica.

C_r = No aplica (Seccion 4.3.9 de la NDS 2018)

4.4.5.7. Factor de rigidez al pandeo

Este caso aplica para elementos sometidos a flexión y compresión axial en condiciones de servicio seco, que tienen hojas de plywood de espesor de 3/8" o superior clavadas paralelamente al peralte. Ya que los elementos no están sujetos a estas condiciones, este factor no aplica.

C_T = No aplica (Sección 4.4.2 de la NDS 2018)

4.4.5.8. Factor por efecto del tiempo

Dada la combinación de cargas el factor es el siguiente:

$\lambda = 1$ (Tabla N3 de la NDS 2018)

4.4.5.9. Factor de estabilidad de viga

Para el cálculo del factor de estabilidad de viga se utiliza la ecuación IV.5 de la sección 4.3.8.9 de este documento y todo el procedimiento necesario para la misma siendo esta la siguiente:

$$C_L = \frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} \right]^2 - \frac{F_{bE}/F_b^*}{0.95}} \quad (\text{Sección 3.3.3 de la NDS 2018})$$

Donde:

a) Valor crítico de Diseño al colapso para miembros a flexión

$$F_{bE} = \frac{1.20 E_{min}'}{Rb^2}$$

Donde:

i) Cálculo del módulo de elasticidad ajustado para los factores de estabilidad de viga y de columna

$$E_{min}' = E_{min} * C_M * C_t * C_i * C_T * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min} = E[1 - 1.645COV_E](1.03)/1.66$$

Donde COV_E coeficiente de variación del módulo de elasticidad esta dado por el apéndice F del NDS 2018 donde $COV_E=0.25$

$$E_{min} = 130,000 \text{ kg/cm}^2 [1 - 1.645(0.25)](1.03)/1.66$$

$$E_{min} = 47,490.14 \text{ kg/cm}^2$$

Debido a que no todos los factores aplican para el elemento, la ecuación pasa a ser la siguiente:

$$E'_{min} = E_{min} * C_i * 1.76 * 0.85$$

$$E'_{min} = 47,490.14 \text{ kg/cm}^2 * 0.95 * 1.76 * 0.85$$

$$E'_{min} = 67,493 \text{ kg/cm}^2$$

ii) Relación de esbeltez

$$R_b = \sqrt{\frac{I_e d}{b^2}} \leq 50$$

$$R_b = \sqrt{\frac{(366.16 \text{ cm}) (10 \text{ cm})}{(5 \text{ cm})^2}} \leq 50$$

$$R_b = 12.10 < 50$$

iii) Cálculo del Valor critico de Diseño al colapso para miembros a flexión

$$F_{bE} = \frac{1.20 E'_{min}}{R_b^2}$$

$$F_{bE} = \frac{1.20 (67,493 \text{ kg/cm}^2)}{(12.10)^2}$$

$$F_{bE} = 553.18 \text{ kg/cm}^2$$

b) Valor de la flexión de diseño de referencia

Este cálculo es la multiplicación de la resistencia a la flexión de diseño F_b con todos los factores de ajuste excepto C_L y C_{fu}

Simplificando la ecuación omitiendo todos los factores que no aplican se tiene lo siguiente:

$$F_b^* = F_b \cdot C_F \cdot C_i \cdot 2.54 \cdot 0.85 \cdot \lambda$$

$$F_b^* = 116 \text{ kg/cm}^2 \cdot 1.5 \cdot 0.8 \cdot 2.54 \cdot 0.85 \cdot 1$$

$$F_b^* = 282.85 \text{ kg/cm}^2$$

c) Cálculo del factor de estabilidad de viga

$$C_L = \frac{1 + \frac{(553.18 \text{ kg/cm}^2)}{(282.85 \text{ kg/cm}^2)}}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{(553.18 \text{ kg/cm}^2)}{(282.85 \text{ kg/cm}^2)}}{1.9} \right]^2 - \frac{(553.18 \text{ kg/cm}^2)}{(282.85 \text{ kg/cm}^2)}}{0.95}}$$

$$C_L = 0.95$$

4.4.5.10. Factor de estabilidad de columna

Para el cálculo del factor de estabilidad de columna se utiliza la ecuación IV.6 de la sección 4.3.8.10 de este documento y todo el procedimiento necesario para la misma siendo esta la siguiente:

$$C_P = \frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_c^*}}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_c^*}}{2c} \right]^2 - \frac{F_{cE}}{F_c^*}} \quad (\text{Sección 3.7.1 de la NDS 2018})$$

Donde:

a) Valor del pandeo crítico de diseño para miembros en compresión

$$F_{cE} = \frac{0.822 E_{min}'}{(l_e/d)^2}$$

Donde:

i) Cálculo de E_{min}'

Donde E_{min}' fue calculado anteriormente en el inciso i) de la sección 4.1.4.10 siendo este valor el siguiente:

$$E_{min}' = 67,493 \text{ kg/cm}^2$$

ii) Cálculo de F_{cE}

$$F_{cE} = \frac{0.822 E_{min}'}{(l_e/d)^2}$$

$$F_{cE} = \frac{0.822 (67,493 \text{ kg/cm}^2)}{(366.16 \text{ cm}/10 \text{ cm})^2}$$

$$F_{cE} = 41.37 \text{ kg/cm}^2$$

b) Valor de compresión de diseño de referencia paralela al grano

Este cálculo es la multiplicación de la resistencia a la compresión de diseño F_c con todos los factores de ajuste excepto C_P

$$F_c^* = F_c * C_M * C_t * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

Simplificando la ecuación omitiendo todos los factores que no aplican se tiene lo siguiente:

$$F_c^* = F_c * C_F * C_i * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

$$F_c^* = 78 \text{ kg/cm}^2 * 1.5 * 0.8 * 2.40 * 0.9 * 1$$

$$F_c^* = 202.18 \text{ kg/cm}^2$$

c) Cálculo del valor de c

El valor de c para madera aserrada es:

$$c = 0.8$$

d) Cálculo del factor de estabilidad de columna

$$C_P = \frac{1 + \frac{(41.37 \text{ kg/cm}^2)}{(202.18 \text{ kg/cm}^2)}}{2(0.8)} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{(41.37 \text{ kg/cm}^2)}{(202.18 \text{ kg/cm}^2)}}{2(0.8)} \right]^2 - \frac{(41.37 \text{ kg/cm}^2)}{(202.18 \text{ kg/cm}^2)} \cdot \frac{1}{0.8}}$$

$$C_P = 0.2$$

4.4.5.11. Resumen de valores de factores de ajuste

Habiendo determinado todos los factores de ajuste en los incisos anteriores, se presenta un resumen de todos los valores mediante la siguiente tabla.

Factor de ajuste	Valor
C_M	No aplica
C_t	No aplica
C_L	0.95
C_F	1.5
C_{fu}	1.1
C_i (Para E_{min})	0.95
C_i (Para F_c , F_b , F_v)	0.8
C_r	No aplica
C_P	0.2
C_T	No aplica
λ	1

4.4.6. Esfuerzos de diseño ajustados

Una vez ya determinados todos los factores de ajuste necesarios se realizarán los cálculos de cada uno de los esfuerzos de diseño ajustados, ya multiplicados por

todos sus valores de factores utilizando las ecuaciones IV.7, IV.8, IV.9 de la sección 4.3.9 de este documento a como se muestra a continuación:

$$F'_c = F_c * C_M * C_t * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

$$F'_b = F_b * C_M * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_r * 2.54 * 0.85 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

$$F'_v = F_v * C_M * C_t * C_i * 2.88 * 0.75 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

Resumiendo, las ecuaciones debido a los factores que no aplican se tienen lo siguiente:

$$F'_c = F_c * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

$$F'_b = F_b * C_L * C_F * C_{fu} * 2.54 * 0.85 * \lambda$$

$$F'_v = F_v * C_i * 2.88 * 0.75 * \lambda$$

Sustituyendo todos los valores tenemos que:

$$F'_c = 78 \text{ kg/cm}^2 * 1.5 * 0.8 * 0.2 * 2.40 * 0.9 * 1$$

$$F'_c = 40.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'_b = 116 \text{ kg/cm}^2 * 0.95 * 1.5 * 1.1 * 2.54 * 0.85 * 1$$

$$F'_b = 392.56 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'_v = 7 \text{ kg/cm}^2 * 0.8 * 2.88 * 0.75 * 1$$

$$F'_v = 12.09 \text{ kg/cm}^2$$

4.4.7. Chequeo por ecuación de interacción

Para miembros sometidos a esfuerzos de compresión y flexión en ambos ejes, se puede verificar si el miembro cumple mediante la ecuación IV.10 de la sección 4.3.10 de este documento a como se muestra a continuación:

$$\left(\frac{f_c}{F'_c} \right)^2 + \frac{f_{b1}}{F'_{b1} (1 - (f_c/F_{CE1}))} + \frac{f_{b2}}{F'_{b1} (1 - (f_c/F_{CE2}) - (f_{b1}/F_{bE})^2)} \leq 1.0$$

Tomando en cuenta que solo contamos con el esfuerzo flexionante en el eje mayor, la ecuación pasaría a ser la siguiente:

$$\left(\frac{f_c}{F_c'}\right)^2 + \frac{f_{by}}{F_b'(1 - (f_c/F_{CE}))} \leq 1.0$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\left(\frac{11.61 \text{ kg/cm}^2}{40.44 \text{ kg/cm}^2}\right)^2 + \frac{22 \text{ kg/cm}^2}{392.56 \text{ kg/cm}^2(1 - (11.61 \text{ kg/cm}^2/41.37 \text{ kg/cm}^2))} \leq 1.0$$

$0.16 < 1.0 \therefore$ La sección es adecuada

4.4.8. Chequeo por flexión

Para la verificación de un elemento de madera sometido a momento de flexión se debe cumplir que la capacidad de momento ajustada sea mayor que el momento de flexión al que el elemento está sometido que expresado de la siguiente manera debe ser:

$$M' \geq M$$

- **Cálculo del momento ajustado**

Para determinar el valor del momento ajustado que servirá para compararlo con el momento flexionante obtenido mediante el análisis estructural y comprobar el diseño del elemento se hará uso de la ecuación IV.11 de la sección 4.3.11 de este documento mostrado a continuación:

$$M' = F_b' S \text{ (Sección M.3.3 del Manual NDS 2018)}$$

$$M' = F_b' \frac{bd^2}{6}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$M' = (392.56 \text{ kg/cm}^2) \frac{(5 \text{ cm})(10 \text{ cm})^2}{6}$$

$$M' = 32,713 \text{ kg.cm}$$

Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$M' \geq M$$

32,713 kg.cm > 1,834 kg.cm ∴ El elemento cumple

4.4.9. Chequeo por compresión

Para la verificación de un elemento de madera sometido a compresión se debe cumplir que la fuerza de compresión ajustada sea mayor que la compresión aplicada sobre el elemento que expresado de la siguiente manera debe ser:

$$P' \geq P$$

- **Cálculo de la compresión ajustada**

$$P' = F_c' A \text{ (Sección M.3.6 del Manual NDS 2018)}$$

Ecuación IV.16: Compresión ajustada, Fuente: NDS 2018.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$P' = 40.44 \text{ kg/cm}^2 \text{ (5 cm} \times \text{10 cm)}$$

$$P' = 2,022 \text{ kg/cm}^2$$

Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$P' \geq P$$

2,022 kg > 580.33 kg ∴ El elemento cumple

4.4.10. Chequeo por cortante

Para la verificación de un elemento de madera sometido a esfuerzos cortantes se debe cumplir que la fuerza cortante de diseño ajustado tiene que ser mayor al cortante actuante por lo tanto se debe cumplir lo siguiente:

$$V' \geq V$$

- **Cálculo del cortante ajustado**

Para determinar el valor del cortante ajustado que servirá para compararlo con el cortante obtenido debido mediante el análisis estructural y comprobar el diseño del elemento, se hará uso de la ecuación IV.12 de la sección 4.3.12 de este documento mostrado a continuación:

$$V' = \frac{2}{3} F_v' A \text{ (Sección M.3.4 del Manual NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$V' = \frac{2}{3} (12.09 \text{ kg/cm}^2) (5 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm})$$

$$V' = 403 \text{ kg}$$

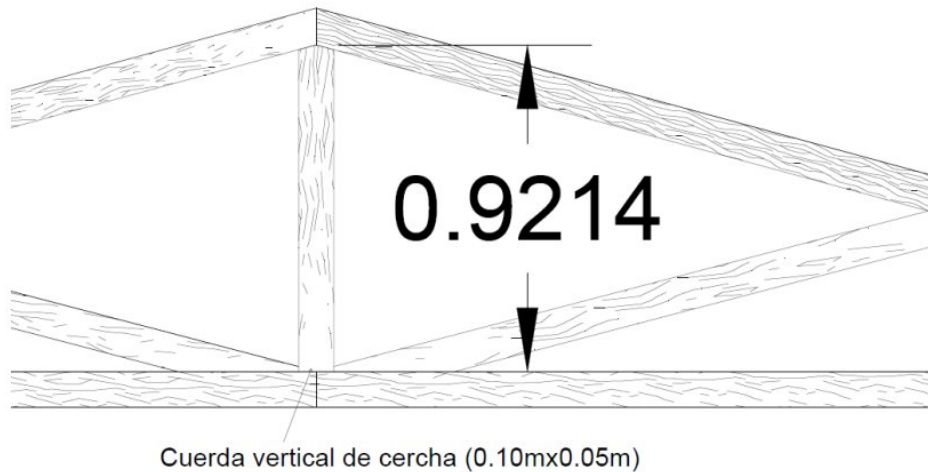
Al comparar ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$V' \geq V$$

403kg > 43.7kg ∴ El elemento cumple

4.5. Diseño de cuerda vertical de techo

Figura IV.3: Cuerda vertical de cercha



Fuente: Elaboración propia.

4.5.1. Dimensiones de la cuerda vertical

Dimensiones de cuerda vertical de cercha de techo	
Base b (m)	0.05
Peralte d (m)	0.10
Claro l_u (m)	0.9214

4.5.2. Datos de fuerzas en cuerda vertical

Tabla IV.3: Datos de fuerzas aplicadas en cuerda vertical

Combinación crítica	1.2CM-Fs+CV
P (kg)	244.22
V (Kg)	164.11
My (kg.m)	123.52

Fuente: Elaboración propia con datos de SAP 2000.

4.5.3. Cálculo de los esfuerzos

4.5.3.1. Esfuerzo a la compresión

Para la determinación del esfuerzo a la compresión se utiliza la ecuación IV.16 de la sección 4.4.3.1 de este documento siendo esta la siguiente:

$$f_c = \frac{P}{bd} \text{ (Sección 1.2A Mecánica de materiales de Beer Johnston)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_c = \frac{(244.22 \text{ kg})}{(0.05 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m})(0.10 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m})}$$

$$f_c = \frac{(580.33 \text{ kg})}{(5 \text{ cm})(10 \text{ cm})}$$

$$f_c = 4.9 \text{ kg/cm}^2$$

4.5.3.2. Esfuerzo flexionante en el eje mayor

Para la determinación del esfuerzo flexionante se utiliza la ecuación IV.1 de la sección 4.3.6.1 de este documento siendo esta la siguiente:

$$f_b = \frac{6M}{bd^2} = \frac{6My}{bd^2} \text{ (Sección 3.4.2 de la NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_{by} = \frac{6(123.52 \text{ kg} \cdot \text{m})(100 \text{ cm/m})}{(5 \text{ cm})(10 \text{ cm})^2}$$

$$f_{by} = 148.22 \text{ kg/cm}^2$$

4.5.3.3. Esfuerzo cortante

Para la determinación del esfuerzo cortante se utiliza la ecuación IV.3 de la sección 4.3.6.3 de este documento siendo esta la siguiente:

$$f_v = \frac{3V}{2bd} \text{ (Sección 3.4.2 de la NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_v = \frac{3V}{2bd}$$

$$f_v = \frac{3(164.11 \text{ kg})}{2(5 \text{ cm})(10 \text{ cm})}$$

$$f_v = 4.92 \text{ kg/cm}^2$$

4.5.4. Cálculo de la longitud efectiva

$$\frac{l_u}{d} = \frac{(0.92 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m})}{(10 \text{ cm})} = 9.2$$

$$l_e = 1.63l_u + 3d \text{ (Tabla 3.3.3. de la NDS 2018)}$$

$$l_e = 1.63(92 \text{ cm}) + 3(10 \text{ cm})$$

$$l_e = 180 \text{ cm}$$

4.5.5. Factores de ajuste

Los factores de ajuste (Sección 4.2.1 de la NDS 2018) son utilizados para los valores de diseño de los elementos de madera, en los cuales se toma en cuenta las condiciones a las que está sometido un miembro de madera.

4.5.5.1. Factor de servicio húmedo

C_M = No aplica (Tabla 4A de la NDS Supplement 2018)

4.5.5.2. Factor de temperatura

C_t = No aplica (Tabla 2.3.3 de la NDS 2018)

4.5.5.3. Factor de tamaño

C_F = 1.5 (Tabla 4A de la NDS Supplement 2018)

4.5.5.4. Factor de uso de cara ancha

C_{fu} = 1.1 (Tabla 4A de la NDS Supplement 2018)

4.5.5.5. Factor de corte

Para E, E_{min}

C_i= 0.95 (Tabla 4.3.8 de la NDS 2018)

Para F_b, F_c, F_v

C_i= 0.8 (Tabla 4.3.8 de la NDS 2018)

4.5.5.6. Factor de miembro repetitivo

C_r= No aplica (Sección 4.3.9 de la NDS 2018)

4.5.5.7. Factor de rigidez al pandeo

C_T= No aplica (Sección 4.4.2 de la NDS 2018)

4.5.5.8. Factor por efecto del tiempo

λ= 1 (Tabla N3 de la NDS 2018)

4.5.5.9. Factor de estabilidad de viga

Para el cálculo del factor de estabilidad de viga se utiliza la ecuación IV.5 de la sección 4.3.8.9 de este documento y todo el procedimiento necesario para la misma siendo esta la siguiente:

$$C_L = \frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} \right]^2 - \frac{F_{bE}/F_b^*}{0.95}} \quad (\text{Sección 3.3.3 de la NDS 2018})$$

Donde:

a) Valor critico de Diseño al colapso para miembros a flexión

$$F_{bE} = \frac{1.20 E_{min}'}{Rb^2}$$

Donde:

i) Cálculo del módulo de elasticidad ajustado para los factores de estabilidad de viga y de columna

$$E_{min}' = E_{min} * C_M * C_t * C_i * C_T * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min} = E [1 - 1.645 COV_E] (1.03) / 1.66$$

Donde COV_E coeficiente de variación del módulo de elasticidad esta dado por el apéndice F del NDS 2018 donde $COV_E = 0.25$

$$E_{min} = 130,000 \text{ kg/cm}^2 [1 - 1.645(0.25)] (1.03) / 1.66$$

$$E_{min} = 47,490.14 \text{ kg/cm}^2$$

Debido a que no todos los factores aplican para el elemento, la ecuación pasa a ser la siguiente:

$$E_{min}' = E_{min} * C_i * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min}' = 47,490.14 \text{ kg/cm}^2 * 0.95 * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min}' = 67,493 \text{ kg/cm}^2$$

ii) Relación de esbeltez

$$R_b = \sqrt{\frac{l_e d}{b^2}} \leq 50$$

$$R_b = \sqrt{\frac{(180 \text{ cm}) (10 \text{ cm})}{(5 \text{ cm})^2}} \leq 50$$

$$R_b = 8.5 < 50$$

iii) Cálculo del Valor critico de Diseño al colapso para miembros a flexión

$$F_{bE} = \frac{1.20 E_{min}'}{R_b^2}$$

$$F_{bE} = \frac{1.20 (67,493 \text{ kg/cm}^2)}{(8.5)^2}$$

$$F_{bE} = 1,121 \text{ kg/cm}^2$$

b) Valor de la flexión de diseño de referencia

Este cálculo es la multiplicación de la resistencia a la flexión de diseño F_b con todos los factores de ajuste excepto C_L y C_{fu}

$$F_b^* = F_b * C_M * C_t * C_F * C_i * C_r * 2.54 * 0.85 * \lambda$$

Simplificando la ecuación omitiendo todos los factores que no aplican se tiene lo siguiente:

$$F_b^* = F_b * C_F * C_i * 2.54 * 0.85 * \lambda$$

$$F_b^* = 116 \text{ kg/cm}^2 * 1.5 * 0.8 * 2.54 * 0.85 * 1$$

$$F_b^* = 282.85 \text{ kg/cm}^2$$

c) Cálculo del factor de estabilidad de viga

$$C_L = \frac{1 + \frac{(1121 \text{ kg/cm}^2)}{(188.57 \text{ kg/cm}^2)}}{1.9} -$$

$$\sqrt{\left[\frac{1 + \frac{(1121 \text{ kg/cm}^2)}{(188.57 \text{ kg/cm}^2)}}{1.9} \right]^2 - \frac{(1121 \text{ kg/cm}^2)}{(188.57 \text{ kg/cm}^2)}}{0.95}}$$

$$C_L = 0.98$$

4.5.5.10. Factor de estabilidad de columna

Para el cálculo del factor de estabilidad de columna se utiliza la ecuación IV.6 de la sección 4.3.8.10 de este documento y todo el procedimiento necesario para la misma siendo esta la siguiente:

$$C_P = \frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_c^*}}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_c^*}}{2c} \right]^2 - \frac{F_{cE}}{F_c^*}} \quad (\text{Sección 3.7.1 de la NDS 2018})$$

Donde:

a) Valor del pandeo crítico de diseño para miembros en compresión

$$F_{cE} = \frac{0.822 E_{min}'}{(l_e/d)^2}$$

Donde:

i) Cálculo de E_{min}'

Donde E_{min}' fue calculado anteriormente en el inciso i) de la sección 4.1.4.10 siendo este valor el siguiente:

$$E_{min}' = 67,493 \text{ kg/cm}^2$$

ii) Cálculo de F_{cE}

$$F_{cE} = \frac{0.822 E_{min}'}{(l_e/d)^2}$$

$$F_{cE} = \frac{0.822 (67,493 \text{ kg/cm}^2)}{(180 \text{ cm}/10 \text{ cm})^2}$$

$$F_{cE} = 171.23 \text{ kg/cm}^2$$

b) Valor de compresión de diseño de referencia paralela al grano

Este cálculo es la multiplicación de la resistencia a la compresión de diseño F_c con todos los factores de ajuste excepto $C_{P\tilde{N}}$

$$F_c^* = F_c * C_M * C_t * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

Simplificando la ecuación omitiendo todos los factores que no aplican se tiene lo siguiente:

$$F_c^* = F_c * C_F * C_i * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

$$F_c^* = 78 \text{ kg/cm}^2 * 1.5 * 0.8 * 2.40 * 0.9 * 1$$

$$F_c^* = 202.18 \text{ kg/cm}^2$$

c) Cálculo del valor de c

El valor de c para madera aserrada es:

$$c = 0.8$$

d) Cálculo del factor de estabilidad de columna

$$C_P = \frac{1 + \frac{(171.23 \text{ kg/cm}^2)}{(202.18 \text{ kg/cm}^2)}}{2(0.8)} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{(171.23 \text{ kg/cm}^2)}{(202.18 \text{ kg/cm}^2)}}{2(0.8)} \right]^2 - \frac{(171.23 \text{ kg/cm}^2)}{(202.18 \text{ kg/cm}^2)}}{0.8}}$$

$$C_P = 0.63$$

4.5.5.11. Resumen de valores de factores de ajuste

Habiendo determinado todos los factores de ajuste en los incisos anteriores, se presenta un resumen de todos los valores mediante la siguiente tabla.

Factor de ajuste	Valor
C_M	No aplica
C_t	No aplica
C_L	0.98
C_F	1.5
C_{fu}	1.1
C_i (Para E_{min})	0.95
C_i (Para F_c , F_b , F_v)	0.8
C_r	No aplica
C_P	0.63
C_T	No aplica
λ	1

4.5.6. Esfuerzos de diseño ajustados

Una vez ya determinados todos los factores de ajuste necesarios se realizarán los cálculos de cada uno de los esfuerzos de diseño ajustados, ya multiplicados por todos sus valores de factores utilizando las ecuaciones IV.7, IV.8, IV.9 de la sección 4.3.9 de este documento a como se muestra a continuación:

$$F_c' = F_c * C_M * C_t * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

$$F_b' = F_b * C_M * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_r * 2.54 * 0.85 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

$$F_v' = F_v * C_M * C_t * C_i * 2.88 * 0.75 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

Resumiendo, las ecuaciones debido a los factores que no aplican se tienen lo siguiente:

$$F_c' = F_c * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

$$F_b' = F_b * C_L * C_F * C_{fu} * 2.54 * 0.85 * \lambda$$

$$F_v' = F_v * C_i * 2.88 * 0.75 * \lambda$$

Sustituyendo todos los valores tenemos que:

$$F_c' = 78 \text{ kg/cm}^2 * 1.5 * 0.8 * 0.63 * 2.40 * 0.9 * 1$$

$$F_c' = 127.37 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_b' = 116 \text{ kg/cm}^2 * 0.98 * 1.5 * 1.1 * 2.54 * 0.85 * 1$$

$$F_b' = 404.97 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_v' = 7 \text{ kg/cm}^2 * 0.8 * 2.88 * 0.75 * 1$$

$$F_v' = 12.09 \text{ kg/cm}^2$$

4.5.7. Chequeo por ecuación de interacción

Para miembros sometidos a esfuerzos de compresión y flexión en ambos ejes, se puede verificar si el miembro cumple mediante la ecuación IV.10 de la sección 4.3.10 de este documento a como se muestra a continuación:

$$\left(\frac{f_c}{F_c'}\right)^2 + \frac{f_{b1}}{F_{b1}'(1 - (f_c/F_{CE1}))} + \frac{f_{b2}}{F_{b1}'(1 - (f_c/F_{CE2}) - (f_{b1}/F_{bE})^2)} \leq 1.0$$

Tomando en cuenta que solo contamos con el esfuerzo flexionante en el eje mayor, la ecuación pasaría a ser la siguiente:

$$\left(\frac{f_c}{F_c'}\right)^2 + \frac{f_{by}}{F_b'(1 - (f_c/F_{CE}))} \leq 1.0$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\left(\frac{4.92 \text{ kg/cm}^2}{127.37 \text{ kg/cm}^2}\right)^2 + \frac{148.22 \text{ kg/cm}^2}{404.97 \text{ kg/cm}^2(1 - (4.92 \text{ kg/cm}^2/171.23 \text{ kg/cm}^2))} \leq 1.0$$

$0.38 < 1.0 \therefore$ La sección es adecuada

4.5.8. Chequeo por flexión

Para la verificación de un elemento de madera sometido a momento de flexión se debe cumplir que la capacidad de momento ajustada sea mayor que el momento de flexión al que el elemento está sometido que expresado de la siguiente manera debe ser:

$$M' \geq M$$

- **Cálculo del momento ajustado**

Para determinar el valor del momento ajustado que servirá para compararlo con el momento flexionante obtenido mediante el análisis estructural y comprobar el diseño del elemento se hará uso de la ecuación IV.11 de la sección 4.3.11 de este documento mostrado a continuación:

$$M' = F_b' S \text{ (Sección M.3.3 del Manual NDS 2018)}$$

$$M' = F_b' \frac{bd^2}{6}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$M' = (404.97 \text{ kg/cm}^2) \frac{(5 \text{ cm})(10 \text{ cm})^2}{6}$$

$$M' = 33,748 \text{ kg.cm}$$

Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$M' \geq M$$

$$33,748 \text{ kg.cm} > 12,352 \text{ kg.cm} \therefore \text{El elemento cumple}$$

4.5.9. Chequeo por compresión

Para la verificación de un elemento de madera sometido a compresión se debe cumplir que la fuerza de compresión ajustada sea mayor que la compresión aplicada sobre el elemento que expresado de la siguiente manera debe ser:

$$P' \geq P$$

- **Cálculo de la compresión ajustado**

Para determinar el valor de la capacidad a compresión ajustado que servirá para compararlo con la compresión obtenido mediante el análisis estructural y comprobar el diseño del elemento se hará uso de la ecuación IV.17 de la sección 4.4.9 de este documento mostrado a continuación:

$$P' = F_c' A \text{ (Sección M.3.6 del Manual NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$P' = 127.37 \text{ kg/cm}^2 (5 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm})$$

$$P' = 6,368.5 \text{ kg/cm}^2$$

Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$P' \geq P$$

$$6,368.5 \text{ kg} > 244.22 \text{ kg}$$

4.5.10. Chequeo por cortante

Para la verificación de un elemento de madera sometido a esfuerzos cortantes se debe cumplir que la fuerza cortante de diseño ajustado tiene que ser mayor al cortante actuante por lo tanto se debe cumplir lo siguiente:

$$V' \geq V$$

- **Cálculo del cortante ajustado**

Para determinar el valor de la capacidad cortante ajustado que servirá para compararlo con el cortante obtenido debido mediante el análisis estructural y comprobar el diseño del elemento, se hará uso de la ecuación IV.12 de la sección 4.3.12 de este documento mostrado a continuación:

$$V' = \frac{2}{3} F_v' A \text{ (Sección M.3.4 del Manual NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$V' = \frac{2}{3} (12.09 \text{ kg/cm}^2) (5 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm})$$

$$V' = 403 \text{ kg}$$

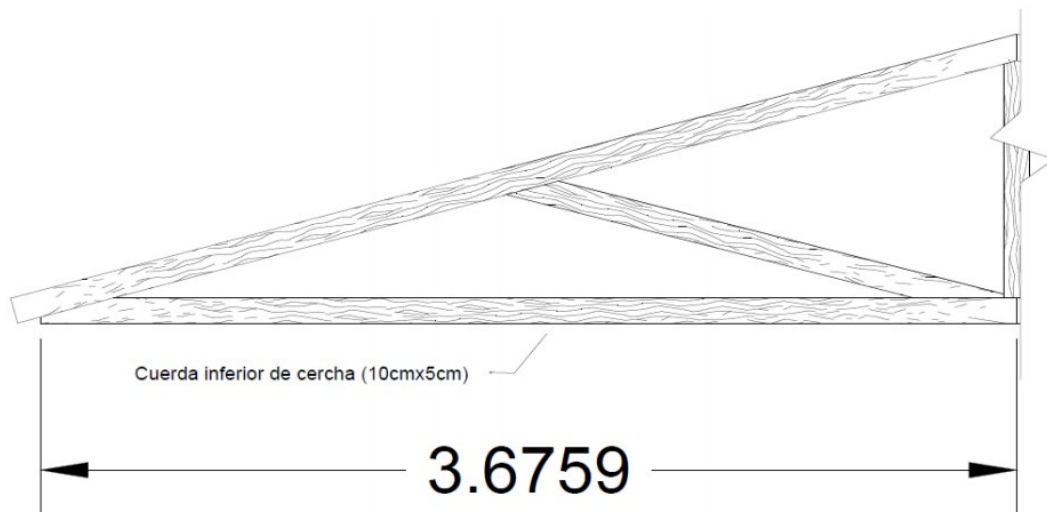
Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$V' \geq V$$

$$403 \text{ kg} > 164.11 \text{ kg} \therefore \text{El elemento cumple}$$

4.6. Diseño de cuerda inferior de cercha

Figura IV.4: Cuerda inferior de cercha



Fuente: Elaboración propia.

4.6.1. Dimensiones de la cuerda inferior

Dimensiones de cuerda inferior de cercha de techo	
Base b (m)	0.05
Peralte d (m)	0.10
Claro l_u (m)	3.6759

4.6.2. Datos de fuerzas en cuerda inferior

Tabla IV.4: Datos de fuerzas aplicadas en cuerda inferior

Combinación crítica	1.2CM+Fs+CV
P (kg)	134.5
V (Kg)	70.75
My (kg.m)	78.5

Fuente: Elaboración propia con datos de SAP 2000.

4.6.3. Cálculo de los esfuerzos

4.6.3.1. Esfuerzo a la compresión

Para la determinación del esfuerzo a la compresión se utiliza la ecuación IV.16 de la sección 4.4.3.1 de este documento siendo esta la siguiente:

$$f_c = \frac{P}{bd} \text{ (Sección 1.2A Mecánica de materiales de Beer Johnston)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_c = \frac{(134.5 \text{ kg})}{(0.05 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m})(0.10 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m})}$$
$$f_c = \frac{(134.5 \text{ kg})}{(5 \text{ cm})(10 \text{ cm})}$$
$$f_c = 2.69 \text{ kg/cm}^2$$

4.6.3.2. Esfuerzo flexionante en el eje mayor

Para la determinación del esfuerzo flexionante se utiliza la ecuación IV.1 de la sección 4.3.6.1 de este documento siendo esta la siguiente:

$$f_b = \frac{6M}{bd^2} = \frac{6My}{bd^2} \text{ (Sección 3.4.2 de la NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_{by} = \frac{6(134.5 \text{ kg} \cdot \text{m})(100 \text{ cm/m})}{(5 \text{ cm})(10 \text{ cm})^2}$$
$$f_{by} = 161.4 \text{ kg/cm}^2$$

4.6.3.3. Esfuerzo cortante

Para la determinación del esfuerzo cortante se utiliza la ecuación IV.3 de la sección 4.3.6.3 de este documento siendo esta la siguiente:

$$f_v = \frac{3V}{2bd} \text{ (Sección 3.4.2 de la NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_v = \frac{3(70.75 \text{ kg})}{2(5 \text{ cm})(10 \text{ cm})}$$

$$f_v = 2.12 \text{ kg/cm}^2$$

4.6.4. Cálculo de la longitud efectiva

Para la evaluación de la longitud efectiva es necesario conocer la relación de esbeltez el cual es el siguiente:

$$\frac{l_u}{d} = \frac{(3.6759 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m})}{(10 \text{ cm})} = 36.75$$

$$l_e = 1.84 l_u (\text{Tabla 3.3.3. de la NDS 2018})$$

$$l_e = 1.84(367.59 \text{ cm})$$

$$l_e = 676.4 \text{ cm}$$

4.6.5. Factores de ajuste

4.6.5.1. Factor de servicio húmedo

C_M = No aplica (Tabla 4A de la NDS Supplement 2018)

4.6.5.2. Factor de temperatura

C_t = No aplica (Tabla 2.3.3 de la NDS 2018)

4.6.5.3. Factor de tamaño

C_F = 1.5 (Tabla 4A de la NDS Supplement 2018)

4.6.5.4. Factor de uso de cara ancha

C_{fu} = 1.1 (Tabla 4A de la NDS Supplement 2018)

4.6.5.5. Factor de corte

Para E , E_{min}

$C_i = 0.95$ (Tabla 4.3.8 de la NDS 2018)

Para F_b , F_c , F_v

$C_i = 0.8$ (Tabla 4.3.8 de la NDS 2018)

4.6.5.6. Factor de miembro repetitivo

$C_r =$ No aplica (Sección 4.3.9 de la NDS 2018)

4.6.5.7. Factor de rigidez al pandeo

$C_T =$ No aplica (Sección 4.4.2 de la NDS 2018)

4.6.5.8. Factor por efecto del tiempo

$\lambda = 1$ (Tabla N3 de la NDS 2018)

4.6.5.9. Factor de estabilidad de viga

Para el cálculo del factor de estabilidad de viga se utiliza la ecuación IV.5 de la sección 4.3.8.9 de este documento y todo el procedimiento necesario para la misma siendo esta la siguiente:

$$C_L = \frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} \right]^2 - \frac{F_{bE}/F_b^*}{0.95}} \quad (\text{Sección 3.3.3 de la NDS 2018})$$

Donde:

a) Valor crítico de Diseño al colapso para miembros a flexión

$$F_{bE} = \frac{1.20 E_{min}'}{Rb^2}$$

Donde:

i) Cálculo del módulo de elasticidad ajustado para los factores de estabilidad de viga y de columna

$$E_{min}' = E_{min} * C_M * C_t * C_i * C_T * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min} = E[1 - 1.645COV_E](1.03)/1.66$$

Donde COV_E coeficiente de variación del módulo de elasticidad esta dado por el apéndice F del NDS 2018 donde $COV_E=0.25$

$$E_{min} = 130,000 \text{ kg/cm}^2 [1 - 1.645(0.25)](1.03)/1.66$$

$$E_{min} = 47,490.14 \text{ kg/cm}^2$$

Debido a que no todos los factores aplican para el elemento, la ecuación pasa a ser la siguiente

$$E_{min}' = E_{min} * C_i * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min}' = 47,490.14 \text{ kg/cm}^2 * 0.95 * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min}' = 67,493 \text{ kg/cm}^2$$

ii) Relación de esbeltez

$$R_b = \sqrt{\frac{l_e d}{b^2}} \leq 50$$

$$R_b = \sqrt{\frac{(676.4\text{cm})(10\text{cm})}{(5\text{cm})^2}} \leq 50$$

$$R_b = 16.5 < 50$$

iii) Cálculo del Valor critico de Diseño al colapso para miembros a flexión

$$F_{bE} = \frac{1.20 E_{min}'}{R_b^2}$$

$$F_{bE} = \frac{1.20 (67,493 \text{ kg/cm}^2)}{(16.5)^2}$$

$$F_{bE} = 297.50 \text{ kg/cm}^2$$

b) Valor de la flexión de diseño de referencia

Este cálculo es la multiplicación de la resistencia a la flexión de diseño F_b con todos los factores de ajuste excepto C_L y C_{fu}

$$F_b^* = F_b * C_M * C_t * C_F * C_i * C_r * 2.54 * 0.85 * \lambda$$

Simplificando la ecuación omitiendo todos los factores que no aplican se tiene lo siguiente:

$$F_b^* = F_b \cdot C_i \cdot 2.54 \cdot 0.85 \cdot \lambda$$

$$F_b^* = 116 \text{ kg/cm}^2 \cdot 0.8 \cdot 2.54 \cdot 0.85 \cdot 1$$

$$F_b^* = 188.57 \text{ kg/cm}^2$$

c) Cálculo del factor de estabilidad de viga

$$C_L = \frac{1 + \frac{(297.50 \text{ kg/cm}^2)}{(188.57 \text{ kg/cm}^2)}}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{(297.50 \text{ kg/cm}^2)}{(188.57 \text{ kg/cm}^2)}}{1.9} \right]^2 - \frac{(297.50 \text{ kg/cm}^2)}{(188.57 \text{ kg/cm}^2)}}{0.95}}$$

$$C_L = 0.93$$

4.6.5.10. Factor de estabilidad de columna

Para el cálculo del factor de estabilidad de columna se utiliza la ecuación IV.6 de la sección 4.3.8.10 de este documento y todo el procedimiento necesario para la misma siendo esta la siguiente:

$$C_P = \frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_c^*}}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_c^*}}{2c} \right]^2 - \frac{F_{cE}}{F_c^*}} \quad (\text{Sección 3.7.1 de la NDS 2018})$$

Donde:

a) Valor del pandeo crítico de diseño para miembros en compresión

$$F_{cE} = \frac{0.822 E_{min}}{(l_e/d)^2}$$

Donde:

i) Cálculo de E_{min}'

Donde E_{min}' fue calculado anteriormente en el inciso i) de la sección 4.1.4.10 siendo este valor el siguiente:

$$E_{min}' = 67,493 \text{ kg/cm}^2$$

ii) Cálculo de F_{cE}

$$F_{cE} = \frac{0.822 E_{min}'}{(l_e/d)^2}$$

$$F_{cE} = \frac{0.822 (67,493 \text{ kg/cm}^2)}{(676.4 \text{ cm}/10 \text{ cm})^2}$$

$$F_{cE} = 12.13 \text{ kg/cm}^2$$

b) Valor de compresión de diseño de referencia paralela al grano

Este cálculo es la multiplicación de la resistencia a la compresión de diseño F_c con todos los factores de ajuste excepto C_P

$$F_c^* = F_c * C_M * C_t * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

Simplificando la ecuación omitiendo todos los factores que no aplican se tiene lo siguiente:

$$F_c^* = F_c * C_F * C_i * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

$$F_c^* = 78 \text{ kg/cm}^2 * 1.5 * 0.8 * 2.40 * 0.9 * 1$$

$$F_c^* = 202.18 \text{ kg/cm}^2$$

c) Cálculo del valor de c

El valor de c para madera aserrada es:

$$c = 0.8$$

d) Cálculo del factor de estabilidad de columna

$$C_P = \frac{1 + \frac{(12.13 \text{ kg/cm}^2)}{(202.18 \text{ kg/cm}^2)}}{2(0.8)} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{(12.13 \text{ kg/cm}^2)}{(202.18 \text{ kg/cm}^2)}}{2(0.8)} \right]^2 - \frac{\frac{(12.13 \text{ kg/cm}^2)}{(202.18 \text{ kg/cm}^2)}}{0.8}}$$

$$C_P = 0.1$$

4.6.5.11. Resumen de valores de factores de ajuste

Habiendo determinado todos los factores de ajuste en los incisos anteriores, se presenta un resumen de todos los valores mediante la siguiente tabla.

Factor de ajuste	Valor
C_M	No aplica
C_t	No aplica
C_L	0.93
C_F	1.5
C_{fu}	1.1
C_i (Para E_{min})	0.95
C_i (Para F_c , F_b , F_v)	0.8
C_r	No aplica
C_P	0.1
C_T	No aplica
λ	1

4.6.6. Esfuerzos de diseño ajustados

Una vez ya determinados todos los factores de ajuste necesarios se realizarán los cálculos de cada uno de los esfuerzos de diseño ajustados, ya multiplicados por todos sus valores de factores utilizando las ecuaciones IV.7, IV.8, IV.9 de la sección 4.3.9 de este documento a como se muestra a continuación:

$$F'_c = F_c * C_M * C_t * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

$$F'_b = F_b * C_M * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_r * 2.54 * 0.85 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

$$F'_v = F_v * C_M * C_t * C_i * 2.88 * 0.75 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

Resumiendo, las ecuaciones debido a los factores que no aplican se tiene lo siguiente:

$$F'_c = F_c * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

$$F'_b = F_b * C_L * C_{fu} * 2.54 * 0.85 * \lambda$$

$$F'_v = F_v * C_i * 2.88 * 0.75 * \lambda$$

Sustituyendo todos los valores tenemos que:

$$F'_c = 78 \text{ kg/cm}^2 * 1.5 * 0.8 * 0.1 * 2.40 * 0.9 * 1$$

$$F'_c = 20.22 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'_b = 116 \text{ kg/cm}^2 * 0.93 * 1.1 * 2.54 * 0.85 * 1$$

$$F'_b = 256.20 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'_v = 7 \text{ kg/cm}^2 * 0.8 * 2.88 * 0.75 * 1$$

$$F'_v = 12.09 \text{ kg/cm}^2$$

4.6.7. Chequeo por ecuación de interacción

Para miembros sometidos a esfuerzos de compresión y flexión en ambos ejes, se puede verificar si el miembro cumple mediante la ecuación IV.10 de la sección 4.3.10 de este documento a como se muestra a continuación:

$$\left(\frac{f_c}{F'_c}\right)^2 + \frac{f_{b1}}{F'_{b1}(1 - (f_c/F_{CE1}))} + \frac{f_{b2}}{F'_{b1}(1 - (f_c/F_{CE2}) - (f_{b1}/F_{bE})^2)} < 1.0$$

Tomando en cuenta que solo contamos con el esfuerzo flexionante en el eje mayor, la ecuación pasaría a ser la siguiente:

$$\left(\frac{f_c}{F_c'}\right)^2 + \frac{f_{by}}{F_b'(1 - (f_c/F_{CE}))} \leq 1.0$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\left(\frac{2.69 \text{ kg/cm}^2}{20.22 \text{ kg/cm}^2}\right)^2 + \frac{161.4 \text{ kg/cm}^2}{256.20 \text{ kg/cm}^2 (1 - (2.69 \text{ kg/cm}^2 / 12.13 \text{ kg/cm}^2))} \leq 1.0$$

$0.83 < 1.0 \therefore$ La sección es adecuada

4.6.8. Chequeo por flexión

Para la verificación de un elemento de madera sometido a momento de flexión se debe cumplir que la capacidad de momento ajustada sea mayor que el momento de flexión al que el elemento está sometido que expresado de la siguiente manera debe ser:

$$M' \geq M$$

- **Cálculo del momento ajustado**

Para determinar el valor del momento ajustado que servirá para compararlo con el momento flexionante obtenido mediante el análisis estructural y comprobar el diseño del elemento se hará uso de la ecuación IV.11 de la sección 4.3.11 de este documento mostrado a continuación:

$$M' = F_b' S \text{ (Sección M.3.3 del Manual NDS 2018)}$$

$$M' = F_b' \frac{bd^2}{6}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$M' = (404.97 \text{ kg/cm}^2) \frac{(5 \text{ cm/in})(10 \text{ cm})^2}{6}$$

$$M' = 35,393.4 \text{ kg.cm}$$

Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$M' \geq M$$

$$35,393.4 \text{ kg.cm} > 7,850 \text{ kg.cm} \therefore \text{El elemento cumple}$$

4.6.9. Chequeo por compresión

Para la verificación de un elemento de madera sometido a compresión se debe cumplir que la fuerza de compresión ajustada sea mayor que la compresión aplicada sobre el elemento que expresado de la siguiente manera debe ser:

$$P' \geq P$$

- **Cálculo de la compresión ajustado**

Para determinar el valor de la capacidad a compresión ajustado que servirá para compararlo con la compresión obtenido mediante el análisis estructural y comprobar el diseño del elemento se hará uso de la ecuación IV.17 de la sección 4.4.9 de este documento mostrado a continuación:

$$P' = F_c' \cdot A \text{ (Sección M.3.6 del Manual NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$P' = F_c' \cdot A$$

$$P' = 20.22 \text{ kg/cm}^2 (5 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm})$$

$$P' = 1,011 \text{ kg}$$

Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$P' \geq P$$

$$1,011 \text{ kg} > 134.5 \text{ kg}$$

4.6.10. Chequeo por cortante

Para la verificación de un elemento de madera sometido a esfuerzos cortantes se debe cumplir que la fuerza cortante de diseño ajustado tiene que ser mayor al cortante actuante por lo tanto se debe cumplir lo siguiente:

$$V' \geq V$$

- **Cálculo del cortante ajustado**

Para determinar el valor de la capacidad cortante ajustado que servirá para compararlo con el cortante obtenido debido mediante el análisis estructural y comprobar el diseño del elemento, se hará uso de la ecuación IV.12 de la sección 4.3.12 de este documento mostrado a continuación:

$$V' = \frac{2}{3} F_v' A \text{ (Sección M.3.4 del Manual NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$V' = \frac{2}{3} (12.09 \text{ kg/cm}^2) (5 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm})$$

$$V' = 403 \text{ kg}$$

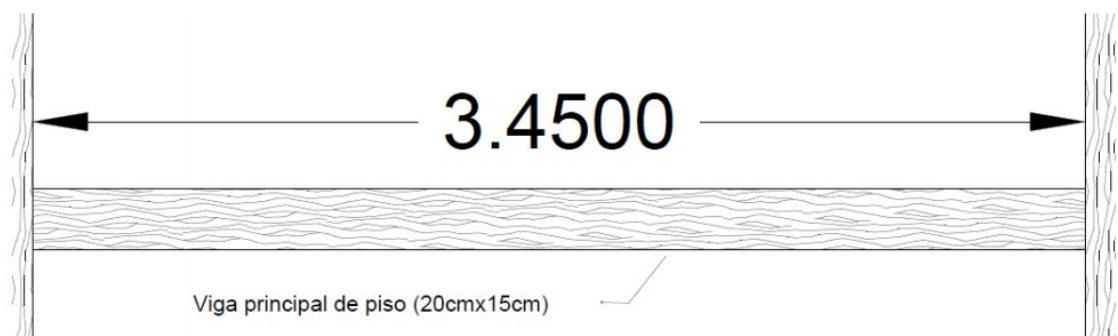
Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$V' \geq V$$

403kg > 70.75kg ∴ El elemento cumple

4.7. Diseño de viga principal de piso

Figura IV.5: Viga principal de piso



Fuente: Elaboración propia.

4.7.1. Dimensiones de la viga de piso

Dimensiones de viga de piso	
Base b (m)	0.15
Peralte d (m)	0.20
Claro l_u (m)	3.45

4.7.2. Datos de fuerzas en viga de piso

Tabla IV.5: Datos de fuerzas aplicadas en viga de piso

Combinación critica	1.2CM+Fs+CV
P (kg)	66.78
V (Kg)	373.68
My (kg.m)	474.24

Fuente: Elaboración propia con datos de SAP 2000

4.7.3. Cálculo de los esfuerzos

4.7.3.1. Esfuerzo a la compresión

Para la determinación del esfuerzo a la compresión se utiliza la ecuación IV.16 de la sección 4.4.3.1 de este documento siendo esta la siguiente:

$$f_c = \frac{P}{bd} \text{ (Sección 1.2A Mecánica de materiales de Beer Johnston)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_c = \frac{(66.78 \text{ kg})}{(0.15 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m})(0.20 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m})}$$
$$f_c = \frac{(66.78 \text{ kg})}{(15 \text{ cm})(20 \text{ cm})}$$
$$f_c = 0.22 \text{ kg/cm}^2$$

4.7.3.2. Esfuerzo flexionante en el eje mayor

Para la determinación del esfuerzo flexionante se utiliza la ecuación IV.1 de la sección 4.3.6.1 de este documento siendo esta la siguiente:

$$f_b = \frac{6M}{bd^2} = \frac{6My}{bd^2} \text{ (Sección 3.4.2 de la NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_{by} = \frac{6(474.24 \text{ kg.m})(100 \text{ cm/m})}{(15 \text{ cm})(20 \text{ cm})^2}$$
$$f_{by} = 47.42 \text{ kg/cm}^2$$

4.7.3.3. Esfuerzo cortante

Para la determinación del esfuerzo cortante se utiliza la ecuación IV.3 de la sección 4.3.6.3 de este documento siendo esta la siguiente:

$$f_v = \frac{3V}{2bd} \text{ (Sección 3.4.2 de la NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_v = \frac{3(373.68 \text{ kg})}{2(15 \text{ cm})(20 \text{ cm})}$$

$$f_v = 1.87 \text{ kg/cm}^2$$

4.7.4. Cálculo de la longitud efectiva

Para la evaluación de la longitud efectiva es necesario conocer la relación de esbeltez el cual es el siguiente:

$$\frac{l_u}{d} = \frac{(3.45 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m})}{(20 \text{ cm})} = 17.25$$

$$l_e = 1.84 l_u \text{ (Tabla 3.3.3. de la NDS 2018)}$$

$$l_e = 1.84(345 \text{ cm})$$

$$l_e = 634.8 \text{ cm}$$

4.7.5. Factores de ajuste

4.7.5.1. Factor de servicio húmedo

Se toma en cuenta que la madera esta seca por lo que el nivel de humedad en el elemento es menor al 19% y por lo tanto, este factor no aplica.

C_M = No aplica

4.7.5.2. Factor de temperatura

Como se ha supuesto que el elemento se encuentra seco, por lo tanto se considerara por debajo del nivel de 105°F, por lo que tampoco se aplicara este factor.

C_t = No aplica

4.7.5.3. Factor de tamaño

Al tener dimensiones aproximados de 8" para el peralte y 6" para el ancho se tiene que obtener el valor de la siguiente forma, ya que el ancho sobre pasa el límite:

$$C_F = (12/d)^{1/9} \leq 1$$

$$C_F = (12/20)^{1/9} \leq 1$$

$$C_F = 0.94 < 1$$

Por lo tanto, al no sobre pasar el límite se utiliza el factor calculado:

$$C_F = 0.94$$

4.7.5.4. Factor de uso de cara ancha

Las dimensiones del elemento superan a las disposiciones de esta condición para aplicación del factor, por lo tanto, no aplica este factor.

$$C_{fu} = \text{No aplica}$$

4.7.5.5. Factor de corte

Para E , E_{min}

$$C_i = 0.95$$

Para F_b , F_c , F_v

$$C_i = 0.8$$

4.7.5.6. Factor de miembro repetitivo

El distanciamiento entre los marcos supera el valor mínimo admisible, por lo que los elementos se comportan de manera individual y por consiguiente este factor no aplica.

$$C_r = \text{No aplica}$$

4.7.5.7. Factor de rigidez al pandeo

$$C_T = \text{No aplica}$$

4.7.5.8. Factor por efecto del tiempo

$$\lambda = 1$$

4.7.5.9. Factor de estabilidad de viga

Para el cálculo del factor de estabilidad de viga se utiliza la ecuación IV.5 de la sección 4.3.8.9 de este documento y todo el procedimiento necesario para la misma siendo esta la siguiente:

$$C_L = \frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} \right]^2 - \frac{F_{bE}/F_b^*}{0.95}} \quad (\text{Sección 3.3.3 de la NDS 2018})$$

Donde:

a) Valor crítico de Diseño al colapso para miembros a flexión

$$F_{bE} = \frac{1.20 E_{min}'}{Rb^2}$$

Donde:

i) Cálculo del módulo de elasticidad ajustado para los factores de estabilidad de viga y de columna

$$E_{min}' = E_{min} * C_M * C_t * C_i * C_T * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min} = E[1 - 1.645COV_E](1.03)/1.66$$

Donde COV_E coeficiente de variación del módulo de elasticidad esta dado por el apéndice F del NDS 2018 donde $COV_E = 0.25$

$$E_{min} = 130,000 \text{ kg/cm}^2 [1 - 1.645(0.25)](1.03)/1.66$$

$$E_{min} = 47,490.14 \text{ kg/cm}^2$$

Debido a que no todos los factores aplican para el elemento, la ecuación pasa a ser la siguiente:

$$E_{min}' = E_{min} * C_i * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min}' = 47,490.14 \text{ kg/cm}^2 * 0.95 * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min}' = 67,493 \text{ kg/cm}^2$$

ii) Relación de esbeltez

$$R_b = \sqrt{\frac{I_e d}{b^2}} \leq 50$$

$$R_b = \sqrt{\frac{(634.8 \text{ cm}) (20 \text{ cm})}{(15 \text{ cm})^2}} \leq 50$$

$$R_b = 7.5 < 50$$

iii) Cálculo del Valor critico de Diseño al colapso para miembros a flexión

$$F_{bE} = \frac{1.20 E_{min}'}{R_b^2}$$

$$F_{bE} = \frac{1.20 (67,493 \text{ kg/cm}^2)}{(7.5)^2}$$

$$F_{bE} = 1439.85 \text{ kg/cm}^2$$

b) Valor de la flexión de diseño de referencia

Este cálculo es la multiplicación de la resistencia a la flexión de diseño F_b con todos los factores de ajuste excepto C_L y C_{fu}

$$F_b^* = F_b * C_M * C_t * C_F * C_i * C_r * 2.54 * 0.85 * \lambda$$

Simplificando la ecuación omitiendo todos los factores que no aplican se tiene lo siguiente:

$$F_b^* = F_b * C_F * C_i * 2.54 * 0.85 * \lambda$$

$$F_b^* = 116 \text{ kg/cm}^2 * 0.94 * 0.8 * 2.54 * 0.85 * 1$$

$$F_b^* = 188.33 \text{ kg/cm}^2$$

c) Cálculo del factor de estabilidad de viga

$$C_L = \frac{1 + \frac{(188.33 \text{ kg/cm}^2)}{(1439.85 \text{ kg/cm}^2)}}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{(188.33 \text{ kg/cm}^2)}{(1439.85 \text{ kg/cm}^2)}}{1.9} \right]^2 - \frac{\frac{(188.33 \text{ kg/cm}^2)}{(1439.85 \text{ kg/cm}^2)}}{0.95}}$$

$$C_L = 0.99$$

4.7.5.10. Factor de estabilidad de columna

Para el cálculo del factor de estabilidad de columna se utiliza la ecuación IV.6 de la sección 4.3.8.10 de este documento y todo el procedimiento necesario para la misma siendo esta la siguiente:

$$C_P = \frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_c^*}}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_c^*}}{2c} \right]^2 - \frac{F_{cE}}{F_c^*}} \quad (\text{Sección 3.7.1 de la NDS 2018})$$

Donde:

a) Valor del pandeo crítico de diseño para miembros en compresión

$$F_{cE} = \frac{0.822 E_{min}'}{(l_e/d)^2}$$

Donde:

i) Cálculo de E_{min}'

Donde E_{min}' fue calculado anteriormente en el inciso i) de la sección 4.1.4.10 siendo este valor el siguiente:

$$E_{min}' = 67,493 \text{ kg/cm}^2$$

ii) Cálculo de F_{cE}

$$F_{cE} = \frac{0.822 E_{min}}{(l_e/d)^2}$$

$$F_{cE} = \frac{0.822 (67,493 \text{ kg/cm}^2)}{(634.8 \text{ cm}/20 \text{ cm})^2}$$

$$F_{cE} = 55.07 \text{ kg/cm}^2$$

b) Valor de compresión de diseño de referencia paralela al grano

Este cálculo es la multiplicación de la resistencia a la compresión de diseño F_c con todos los factores de ajuste excepto C_P

$$F_c^* = F_c * C_M * C_t * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

Simplificando la ecuación omitiendo todos los factores que no aplican se tiene lo siguiente:

$$F_c^* = F_c * C_F * C_i * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

$$F_c^* = 78 \text{ kg/cm}^2 * 0.94 * 0.8 * 2.40 * 0.9 * 1$$

$$F_c^* = 126.70 \text{ kg/cm}^2$$

c) Cálculo del valor de c

El valor de c para madera aserrada es:

$$c = 0.8$$

d) Cálculo del factor de estabilidad de columna

$$C_P = \frac{1 + \frac{(12.13 \text{ kg/cm}^2)}{(202.18 \text{ kg/cm}^2)}}{2(0.8)} -$$

$$\sqrt{\left[\frac{1 + \frac{(12.13 \text{ kg/cm}^2)}{(202.18 \text{ kg/cm}^2)}}{2(0.8)} \right]^2 - \frac{(12.13 \text{ kg/cm}^2)}{(202.18 \text{ kg/cm}^2)}}{0.8}}$$

$$C_P = 0.39$$

4.7.5.11. Resumen de valores de factores de ajuste

Habiendo determinado todos los factores de ajuste en los incisos anteriores, se presenta un resumen de todos los valores mediante la siguiente tabla.

Factor de ajuste	Valor
C_M	No aplica
C_t	No aplica
C_L	0.99
C_F	0.94
C_{fu}	No aplica
C_i (Para E_{min})	0.95
C_i (Para F_c, F_b, F_v)	0.8
C_r	No aplica
C_P	0.39
C_T	No aplica
λ	1

4.7.6. Esfuerzos de diseño ajustados

Una vez ya determinados todos los factores de ajuste necesarios se realizarán los cálculos de cada uno de los esfuerzos de diseño ajustados, ya multiplicados por todos sus valores de factores utilizando las ecuaciones IV.7, IV.8, IV.9 de la sección 4.3.9 de este documento a como se muestra a continuación:

$$F'_c = F_c * C_M * C_t * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

$$F'_b = F_b * C_M * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_r * 2.54 * 0.85 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

$$F'_v = F_v * C_M * C_t * C_i * 2.88 * 0.75 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

Resumiendo, las ecuaciones debido a los factores que no aplican se tienen:

$$F'_c = F_c * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

$$F'_b = F_b * C_L * C_F * 2.54 * 0.85 * \lambda$$

$$F_v' = F_v * C_i * 2.88 * 0.75 * \lambda$$

Sustituyendo todos los valores tenemos que:

$$F_c' = 78 \text{ kg/cm}^2 * 0.94 * 0.8 * 0.39 * 2.40 * 0.9 * 1$$

$$F_c' = 49.41 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_b' = 116 \text{ kg/cm}^2 * 0.99 * 0.94 * 2.54 * 0.85 * 1$$

$$F_b' = 233.06 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_v' = 7 \text{ kg/cm}^2 * 0.8 * 2.88 * 0.75 * 1$$

$$F_v' = 12.09 \text{ kg/cm}^2$$

4.7.7. Chequeo por ecuación de interacción

Para miembros sometidos a esfuerzos de compresión y flexión en ambos ejes, se puede verificar si el miembro cumple mediante la ecuación IV.10 de la sección 4.3.10 de este documento a como se muestra a continuación:

$$\left(\frac{f_c}{F_c'} \right)^2 + \frac{f_{b1}}{F_{b1}'(1 - (f_c/F_{CE1}))} + \frac{f_{b2}}{F_{b1}'(1 - (f_c/F_{CE2}) - (f_{b1}/F_{bE})^2)} \leq 1.0$$

Tomando en cuenta que solo contamos con el esfuerzo flexionante en el eje mayor, la ecuación pasaría a ser la siguiente:

$$\left(\frac{f_c}{F_c'} \right)^2 + \frac{f_{by}}{F_b'(1 - (f_c/F_{CE}))} \leq 1.0$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\left(\frac{0.22 \text{ kg/cm}^2}{49.41 \text{ kg/cm}^2} \right)^2 + \frac{47.42 \text{ kg/cm}^2}{233.06 \text{ kg/cm}^2 (1 - (0.22 \text{ kg/cm}^2 / 55.07 \text{ kg/cm}^2))} \leq 1.0$$

$0.2 < 1.0 \therefore$ La sección es adecuada

4.7.8. Chequeo por flexión

Para la verificación de un elemento de madera sometido a momento de flexión se debe cumplir que la capacidad de momento ajustada sea mayor que el momento de flexión al que el elemento está sometido que expresado de la siguiente manera debe ser:

$$M' \geq M$$

- **Cálculo del momento ajustado**

Para determinar el valor del momento ajustado que servirá para compararlo con el momento flexionante obtenido mediante el análisis estructural y comprobar el diseño del elemento se hará uso de la ecuación IV.11 de la sección 4.3.11 de este documento mostrado a continuación:

$$M' = F_b' S \text{ (Sección M.3.3 del Manual NDS 2018)}$$

$$M' = F_b' \frac{bd^2}{6}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$M' = (233.06 \text{ kg/cm}^2) \frac{(15 \text{ cm})(20 \text{ cm})^2}{6}$$

$$M' = 233,060 \text{ kg.cm}$$

Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$M' \geq M$$

$$233,060 \text{ kg.cm} > 47,424 \text{ kg.cm} \therefore \text{El elemento cumple}$$

4.7.9. Chequeo por compresión

Para la verificación de un elemento de madera sometido a compresión se debe cumplir que la fuerza de compresión ajustada sea mayor que la compresión aplicada sobre el elemento que expresado de la siguiente manera debe ser:

$$P' \geq P$$

- **Cálculo de la compresión ajustado**

Para determinar el valor de la capacidad a compresión ajustado que servirá para compararlo con la compresión obtenido mediante el análisis estructural y comprobar el diseño del elemento se hará uso de la ecuación IV.17 de la sección 4.4.9 de este documento mostrado a continuación:

$$P' = F_c' A \text{ (Sección M.3.6 del Manual NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$P' = 49.41 \text{ kg/cm}^2 (15 \text{ cm} \times 20 \text{ cm})$$

$$P' = 14,823 \text{ kg}$$

Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$P' \geq P$$

$$14,823 \text{ kg} > 66.78 \text{ kg}$$

4.7.10. Chequeo por cortante

Para la verificación de un elemento de madera sometido a esfuerzos cortantes se debe cumplir que la fuerza cortante de diseño ajustado tiene que ser mayor al cortante actuante por lo tanto se debe cumplir lo siguiente:

$$V' \geq V$$

- **Cálculo del cortante ajustado**

Para determinar el valor de la capacidad cortante ajustado que servirá para compararlo con el cortante obtenido debido mediante el análisis estructural y comprobar el diseño del elemento, se hará uso de la ecuación IV.12 de la sección 4.3.12 de este documento mostrado a continuación:

$$V' = \frac{2}{3} F_v' A \text{ (Seccion M.3.4 del Manual NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$V' = \frac{2}{3} (12.09 \text{ kg/cm}^2) (15 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm})$$

$$V' = 2,418 \text{ kg}$$

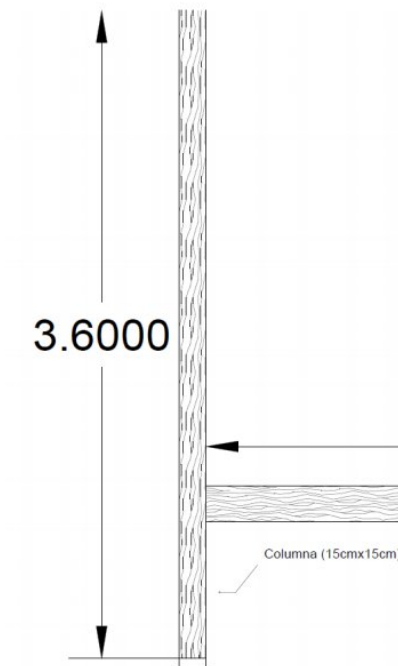
Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$V' \geq V$$

2,418 kg > 373.68kg $\therefore$ El elemento cumple

4.8. Diseño de columna

Figura IV.6: Columna



Fuente: Elaboración propia.

4.8.1. Dimensiones de la Columna

Dimensiones de columna	
Base b (m)	0.15
Peralte d (m)	0.15
Claro l_u (m)	3.6

4.8.2. Datos de fuerzas en columna

Tabla IV.6: Datos de fuerzas aplicadas en columna

Combinación crítica	1.2CM+Fs+CV
P (kg)	1,237.11
V (Kg)	472.37
My (kg.m)	605.03

Fuente: Elaboración propia con datos de SAP2000

4.8.3. Cálculo de los esfuerzos

4.8.3.1. Esfuerzo a la compresión

Para la determinación del esfuerzo a la compresión se utiliza la ecuación IV.16 de la sección 4.4.3.1 de este documento siendo esta la siguiente:

$$f_c = \frac{P}{bd} \text{ (Sección 1.2A Mecánica de materiales de Beer Johnston)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_c = \frac{(1,237.11 \text{ kg})}{(0.15 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m})(0.15 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m})}$$

$$f_c = \frac{(906.12 \text{ kg})}{(15 \text{ cm})(15 \text{ cm})}$$

$$f_c = 5.5 \text{ kg/cm}^2$$

4.8.3.2. Esfuerzo flexionante en el eje mayor

Para la determinación del esfuerzo flexionante se utiliza la ecuación IV.1 de la sección 4.3.6.1 de este documento siendo esta la siguiente:

$$f_b = \frac{6M}{bd^2} = \frac{6My}{bd^2} \text{ (Sección 3.4.2 de la NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_{by} = \frac{6(605.03 \text{ kg} \cdot \text{m})(100 \text{ cm/m})}{(15 \text{ cm})(15 \text{ cm})^2}$$

$$f_{by} = 107.56 \text{ kg/cm}^2$$

4.8.3.3. Esfuerzo cortante

Para la determinación del esfuerzo cortante se utiliza la ecuación IV.3 de la sección 4.3.6.3 de este documento siendo esta la siguiente:

$$f_v = \frac{3V}{2bd} \text{ (Sección 3.4.2 de la NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_v = \frac{3(472.37 \text{ kg})}{2(15 \text{ cm})(15 \text{ cm})}$$

$$f_v = 3.15 \text{ kg/cm}^2$$

4.8.4. Cálculo de la longitud efectiva

Para la evaluación de la longitud efectiva es necesario conocer la relación de esbeltez, donde l_u se toma primeramente como la longitud total de la columna a como se ve en la tabla 4.8.1 de este documento, pero al estar restringido por la viga esta tiene que ser medido desde la parte superior hasta el centroide de la viga de piso siendo el valor l_u 2.74 m y se realiza la relación de esbeltez de la siguiente manera:

$$\frac{l_u}{d} = \frac{(2.74 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m})}{(15 \text{ cm})} = 18.26$$

$$l_e = 1.84 l_u \text{ (Tabla 3.3.3. de la NDS 2018)}$$

$$l_e = 1.84 (274 \text{ cm})$$

$$l_e = 504.2 \text{ cm}$$

4.8.5. Factores de ajuste

4.8.5.1. Factor de servicio húmedo

Se toma en cuenta que la madera esta seca por lo que el nivel de humedad en el elemento es menor al 19% y, por lo tanto, este factor no aplica.

C_M = No aplica (Tabla 4A de la NDS Supplement 2018)

4.8.5.2. Factor de temperatura

Como se ha supuesto que el elemento se encuentra seco, por lo tanto, se considerara por debajo del nivel de 105°F, por lo que tampoco se aplicara este factor.

C_t = No aplica (Tabla 2.3.3 de la NDS 2018)

4.8.5.3. Factor de tamaño

Al tener dimensiones aproximados de 6" para el peralte y 6" para el ancho se tiene que obtener el valor de la siguiente forma, ya que el ancho sobre pasa el límite:

$$C_F = (12/d)^{1/9} \leq 1 \text{ (Tabla 4A de la NDS Supplement 2018)}$$

$$C_F = (12/15)^{1/9} \leq 1$$

$$C_F = 0.97 < 1 \therefore C_F = 0.97$$

4.8.5.4. Factor de uso de cara ancha

Las dimensiones del elemento superan a las disposiciones de esta condición para aplicación del factor, por lo tanto, no aplica este factor.

C_{fu} = No aplica (Tabla 4A de la NDS Supplement 2018)

4.8.5.5. Factor de corte

Para E, E_{min}

C_i = 0.95 (Tabla 4.3.8 de la NDS 2018)

Para F_b , F_c , F_v

C_i = 0.8 (Tabla 4.3.8 de la NDS 2018)

4.8.5.6. Factor de miembro repetitivo

El distanciamiento entre los marcos supera el valor mínimo admisible, por lo que los elementos se comportan de manera individual y por consiguiente este factor no aplica.

C_r = No aplica (Sección 4.3.9 de la NDS 2018)

4.8.5.7. Factor de rigidez al pandeo

C_T = No aplica (Sección 4.4.2 de la NDS 2018)

4.8.5.8. Factor por efecto del tiempo

λ = 1 (Tabla N3 de la NDS 2018)

4.8.5.9. Factor de estabilidad de viga

Para el cálculo del factor de estabilidad de viga se utiliza la ecuación IV.5 de la sección 4.3.8.9 de este documento y todo el procedimiento necesario para la misma siendo esta la siguiente:

$$C_L = \frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} \right]^2 - \frac{F_{bE}/F_b^*}{0.95}} \quad (\text{Sección 3.3.3 de la NDS 2018})$$

Donde:

a) Valor crítico de Diseño al colapso para miembros a flexión

$$F_{bE} = \frac{1.20 E_{min}'}{Rb^2}$$

Donde:

i) Cálculo del módulo de elasticidad ajustado para los factores de estabilidad de viga y de columna

$$E_{min}' = E_{min} * C_M * C_t * C_i * C_T * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min} = E[1 - 1.645COV_E](1.03)/1.66$$

Donde COV_E coeficiente de variación del módulo de elasticidad esta dado por el apéndice F del NDS 2018 donde $COV_E=0.25$

$$E_{min} = 130,000 \text{ kg/cm}^2 [1 - 1.645(0.25)](1.03)/1.66$$

$$E_{min} = 47,490.14 \text{ kg/cm}^2$$

Debido a que no todos los factores aplican para el elemento, la ecuación pasa a ser la siguiente

$$E_{min}' = E_{min} * C_i * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min}' = 47,490.14 \text{ kg/cm}^2 * 0.95 * 1.76 * 0.85$$

$$E_{min}' = 67,493 \text{ kg/cm}^2$$

ii) Relación de esbeltez

$$R_b = \sqrt{\frac{I_e d}{b^2}} \leq 50$$

$$R_b = \sqrt{\frac{(504.2 \text{ cm}) (15 \text{ cm})}{(15 \text{ cm})^2}} \leq 50$$

$$R_b = 5.8 \leq 50$$

iii) Cálculo del Valor crítico de Diseño al colapso para miembros a flexión

$$F_{bE} = \frac{1.20 E_{min}}{R_b^2}$$

$$F_{bE} = \frac{1.20 (67,493 \text{ kg/cm}^2)}{(5.8)^2}$$

$$F_{bE} = 2,407.6 \text{ kg/cm}^2$$

b) Valor de la flexión de diseño de referencia

Este cálculo es la multiplicación de la resistencia a la flexión de diseño F_b con todos los factores de ajuste excepto C_L y C_{fu}

$$F_b^* = F_b * C_M * C_t * C_F * C_i * C_r * 2.54 * 0.85 * \lambda$$

Simplificando la ecuación omitiendo todos los factores que no aplican se tiene lo siguiente:

$$F_b^* = F_b * C_F * C_i * 2.54 * 0.85 * \lambda$$

$$F_b^* = 116 \text{ kg/cm}^2 * 0.97 * 0.8 * 2.54 * 0.85 * 1$$

$$F_b^* = 194.34 \text{ kg/cm}^2$$

c) Cálculo del factor de estabilidad de viga

$$C_L = \frac{1 + \frac{(194.34 \text{ kg/cm}^2)}{(2,407.6 \text{ kg/cm}^2)}}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{(194.34 \text{ kg/cm}^2)}{(2,407.6 \text{ kg/cm}^2)}}{1.9} \right]^2 - \frac{(194.34 \text{ kg/cm}^2)}{(2,407.6 \text{ kg/cm}^2)} \cdot \frac{1}{0.95}}$$

$$C_L = 1$$

4.8.5.10. Factor de estabilidad de columna

Para el cálculo del factor de estabilidad de columna se utiliza la ecuación IV.6 de la sección 4.3.8.10 de este documento y todo el procedimiento necesario para la misma siendo esta la siguiente:

$$C_P = \frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_c^*}}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_c^*}}{2c} \right]^2 - \frac{F_{cE}}{F_c^*} \cdot \frac{1}{c}} \quad (\text{Sección 3.7.1 de la NDS 2018})$$

Donde:

a) Valor del pandeo crítico de diseño para miembros en compresión

$$F_{cE} = \frac{0.822 E_{min}'}{(l_e/d)^2}$$

Donde:

i) Cálculo de E_{min}'

Donde E_{min}' fue calculado anteriormente en el inciso i) de la sección 4.1.4.10 siendo este valor el siguiente:

$$E_{min}' = 67,493 \text{ kg/cm}^2$$

ii) Cálculo de F_{cE}

$$F_{cE} = \frac{0.822 E_{min}'}{(l_e/d)^2}$$

$$F_{cE} = \frac{0.822 (67,493 \text{ kg/cm}^2)}{(504.2 \text{ cm}/15 \text{ cm})^2}$$

$$F_{cE} = 49.1 \text{ kg/cm}^2$$

b) Valor de compresión de diseño de referencia paralela al grano

Este cálculo es la multiplicación de la resistencia a la compresión de diseño F_c con todos los factores de ajuste excepto C_P :

$$F_c^* = F_c * C_M * C_t * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

Simplificando la ecuación omitiendo todos los factores que no aplican se tiene lo siguiente:

$$F_c^* = F_c * C_F * C_i * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

$$F_c^* = 78 \text{ kg/cm}^2 * 0.97 * 0.8 * 2.40 * 0.9 * 1$$

$$F_c^* = 130.74 \text{ kg/cm}^2$$

c) Cálculo del valor de c

El valor de c para madera aserrada es:

$$c = 0.8$$

d) Cálculo del factor de estabilidad de columna

$$C_P = \frac{1 + \frac{(49.1 \text{ kg/cm}^2)}{(130.74 \text{ kg/cm}^2)}}{2(0.8)} -$$

$$\sqrt{\left[\frac{1 + \frac{(49.1 \text{ kg/cm}^2)}{(130.74 \text{ kg/cm}^2)}}{2(0.8)} \right]^2 - \frac{(49.1 \text{ kg/cm}^2)}{(130.74 \text{ kg/cm}^2)}}{0.8}}$$

$$C_P = 0.27$$

4.8.5.11. Resumen de valores de factores de ajuste

Habiendo determinado todos los factores de ajuste en los incisos anteriores, se presenta un resumen de todos los valores mediante la siguiente tabla.

Factor de ajuste	Valor
C_M	No aplica
C_t	No aplica
C_L	1
C_F	0.97
C_{fu}	No aplica
C_i (Para E_{min})	0.95
C_i (Para F_c, F_b, F_v)	0.8
C_r	No aplica
C_P	0.27
C_T	No aplica
λ	1

4.8.6. Esfuerzos de diseño ajustados

Una vez ya determinados todos los factores de ajuste necesarios se realizarán los cálculos de cada uno de los esfuerzos de diseño ajustados, ya multiplicados por todos sus valores de factores utilizando las ecuaciones IV.7, IV.8, IV.9 de la sección 4.3.9 de este documento a como se muestra a continuación:

$$F'_c = F_c * C_M * C_t * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

$$F'_b = F_b * C_M * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_r * 2.54 * 0.85 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

$$F'_v = F_v * C_M * C_t * C_i * 2.88 * 0.75 * \lambda \text{ (Tabla 4.3.1 de la NDS 2018)}$$

Resumiendo, las ecuaciones debido a los factores que no aplican se tienen lo siguiente:

$$F'_c = F_c * C_F * C_i * C_P * 2.40 * 0.9 * \lambda$$

$$F_b' = F_b * C_L * C_F * 2.54 * 0.85 * \lambda$$

$$F_v' = F_v * C_i * 2.88 * 0.75 * \lambda$$

Sustituyendo todos los valores tenemos que:

$$F_c' = 78 \text{ kg/cm}^2 * 0.97 * 0.8 * 0.27 * 2.40 * 0.9 * 1$$

$$F_c' = 35.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_b' = 116 \text{ kg/cm}^2 * 1 * 0.97 * 2.54 * 0.85 * 1$$

$$F_b' = 243 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_v' = 7 \text{ kg/cm}^2 * 0.8 * 2.88 * 0.75 * 1$$

$$F_v' = 12.09 \text{ kg/cm}^2$$

4.8.7. Chequeo por ecuación de interacción

Para miembros sometidos a esfuerzos de compresión y flexión en ambos ejes, se puede verificar si el miembro cumple mediante la ecuación IV.10 de la sección 4.3.10 de este documento a como se muestra a continuación:

$$\left(\frac{f_c}{F_c'}\right)^2 + \frac{f_{b1}}{F_{b1}'(1 - (f_c/F_{CE1}))} + \frac{f_{b2}}{F_{b1}'(1 - (f_c/F_{CE2}) - (f_{b1}/F_{bE})^2)} \leq 1.0$$

Tomando en cuenta que solo contamos con el esfuerzo flexionante en el eje mayor, la ecuación pasaría a ser la siguiente:

$$\left(\frac{f_c}{F_c'}\right)^2 + \frac{f_{by}}{F_b'(1 - (f_c/F_{CE}))} \leq 1.0$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\left(\frac{5.5 \text{ kg/cm}^2}{35.3 \text{ kg/cm}^2}\right)^2 + \frac{107.56 \text{ kg/cm}^2}{243 \text{ kg/cm}^2(1 - (5.5 \text{ kg/cm}^2/49.1 \text{ kg/cm}^2))} \leq 1.0$$

0.52 < 1.0 ∴ La sección es adecuada

4.8.8. Chequeo por flexión

Para la verificación de un elemento de madera sometido a momento de flexión se debe cumplir que la capacidad de momento ajustada sea mayor que el momento de flexión al que el elemento está sometido que expresado de la siguiente manera debe ser:

$$M' \geq M$$

- **Cálculo del momento ajustado**

Para determinar el valor del momento ajustado que servirá para compararlo con el momento flexionante obtenido mediante el análisis estructural y comprobar el diseño del elemento se hará uso de la ecuación IV.11 de la sección 4.3.11 de este documento mostrado a continuación:

$$M' = F_b' S \text{ (Sección M.3.3 del Manual NDS 2018)}$$

$$M' = F_b' \frac{bd^2}{6}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$M' = (243 \text{ kg/cm}^2) \frac{(15 \text{ cm})(15 \text{ cm})^2}{6}$$

$$M' = 136,688 \text{ kg.cm}$$

Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$M' \geq M$$

$$136,688 \text{ kg.cm} > 60,503 \text{ kg.cm} \therefore \text{El elemento cumple}$$

4.8.9. Chequeo por compresión

Para la verificación de un elemento de madera sometido a compresión se debe cumplir que la fuerza de compresión ajustada sea mayor que la compresión aplicada sobre el elemento que expresado de la siguiente manera debe ser:

$$P' \geq P$$

- **Cálculo de la compresión ajustado**

Para determinar el valor de la capacidad a compresión ajustado que servirá para compararlo con la compresión obtenido mediante el análisis estructural y comprobar el diseño del elemento se hará uso de la ecuación IV.17 de la sección 4.4.9 de este documento mostrado a continuación:

$$P' = F_c' A \text{ (Sección M.3.6 del Manual NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$P' = 35.3 \text{ kg/cm}^2 (15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm})$$

$$P' = 7,943 \text{ kg}$$

Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

$$P' \geq P$$

$$7,943 \text{ kg} > 906.12 \text{ kg}$$

4.8.10. Chequeo por cortante

Para la verificación de un elemento de madera sometido a esfuerzos cortantes se debe cumplir que la fuerza cortante de diseño ajustado tiene que ser mayor al cortante actuante por lo tanto se debe cumplir lo siguiente:

$$V' \geq V$$

- **Cálculo del cortante ajustado**

Para determinar el valor de la capacidad cortante ajustado que servirá para compararlo con el cortante obtenido debido mediante el análisis estructural y comprobar el diseño del elemento, se hará uso de la ecuación IV.12 de la sección 4.3.12 de este documento mostrado a continuación:

$$V' = \frac{2}{3} F_v' A \text{ (Sección M.3.4 del Manual NDS 2018)}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$V' = \frac{2}{3} (12.09 \text{ kg/cm}^2) (15 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm})$$

$$V' = 1,813 \text{ kg}$$

Al realizar la comparación de ambos resultados se confirma que el elemento cumple con la resistencia requerida:

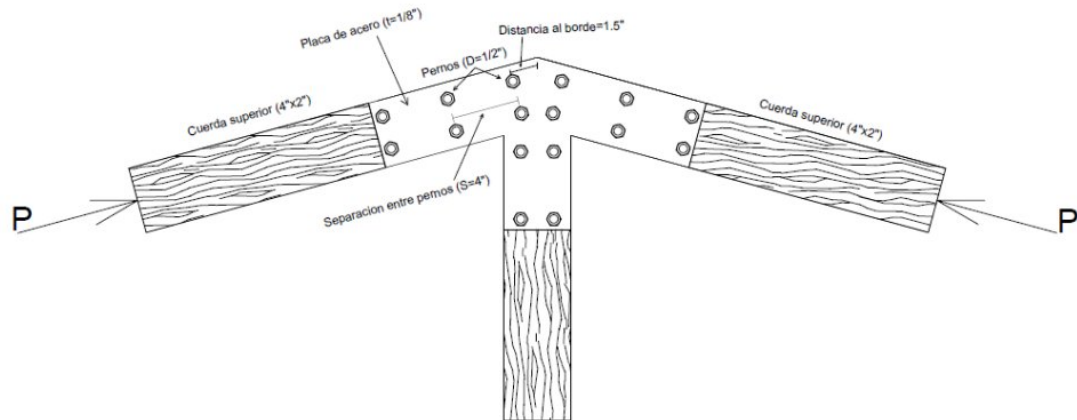
$$V' \geq V$$

$$1,813 \text{ kg} > 472.37 \text{ kg} \therefore \text{El elemento cumple}$$

CAPITULO V: Diseño de conexiones

5.1. Conexión de cumbrera

Figura V.1: Detalle de la conexión cumbrera



Fuente: Elaboración propia.

5.1.1. Dato de fuerza en cumbrera

Tabla V.1: Dato de fuerza aplicado en elementos de cumbrera

Combinación crítica	1.2CM+1.6Pz+CV
P (kg)	580.33
P (lbs)	1276.73

Fuente: Propia con datos de SAP2000

5.1.2. Datos de la conexión a utilizar

5.1.2.1. Propiedades de los elementos

Propiedades del elemento de madera	
Dato	Referencia
$G_{esp} = 0.66$	$\gamma_{Pino}/\gamma_{Agua}$ (660/1000)
d_m (in)= 4	Figura V.1
b_m (in)= 2	
E_m (psi)= 1,422,334.3	Tabla 18 RNC-07
$F_{e\parallel}$ (psi)= 7,400	Tabla 12.3.3 NDS 2018
$F_{e\perp}$ (psi)= 4,700	

Propiedades del perno	
Dato	Referencia
D(in)= ½	Figura V.1
S(in)= 4	
F _{yb} (psi)= 45,000	Tabla II Apéndice A NDS 2018

Propiedades de la placa (ASTM A36)	
Dato	Referencia
t (in) = 1/8	Figura V.1
d _s (in)= 4	Figura V.1
E _s (psi)= 29,000,000	Tabla 12I NDS 2018
F _{es} (psi)= 87,000	

5.1.2.2. Geometría de la Conexión

Geometría de conexión	
Espesor de miembro lateral l _s =t(in)	1/8
Espesor de miembro principal l _m =d _m (in)	4
Angulo entre la carga y la dirección del grano (grados)	0

5.1.3. Ecuaciones del límite de fluencia

5.1.3.1. Resistencia al aplastamiento del miembro principal

El eje de acción de la carga P se encuentra paralelo al eje longitudinal del elemento de la cuerda superior de la cercha de techo, por lo que el valor de la resistencia al aplastamiento del miembro principal a utilizar es:

$$F_{em} = F_{e\parallel} = 7400 \text{ psi (Seccion 12.3.3 de la NDS 2018)}$$

5.1.3.2. Modos de fluencia

Las conexiones que se han propuesto están conformadas por los miembros de madera y dos placas de acero en ambas caras de la misma, por lo que los pernos estarán sometidos a doble cortante, por lo que las ecuaciones del límite de fluencia a utilizarse serán las de cortante doble estas especificadas en la tabla 12.3.1A de la NDS 2018 a como se muestra a continuación:

a) Modo de fluencia I_m

$$Z = \frac{D I_m F_{em}}{R_d}$$

Ecuación V.1: Resistencia lateral en modo de fluencia I_m , Fuente: NDS 2018.

Donde:

i) Calculo del término de reducción R_d

$$R_d = 4K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(0/90)$$

$$K_\theta = 1$$

$$R_d = 4K_\theta$$

$$R_d = 4(1)$$

$$R_d = 4$$

ii) Calculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo I_m

$$Z = \frac{D I_m F_{em}}{R_d}$$

$$Z = \frac{(0.5 \text{ in})(5 \text{ in})(7,400 \text{ psi})}{(4)}$$

$$Z = 4,625 \text{ lbs}$$

b) Modo de fluencia I_s

$$Z = \frac{2 D I_s F_{es}}{R_d}$$

Ecuación V.2: Resistencia lateral en modo de fluencia I_s , Fuente: NDS 2018.

Donde:

i) Cálculo del término de reducción R_d

$$R_d = 4K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(0/90)$$

$$K_\theta = 1$$

$$R_d = 4K_\theta$$

$$R_d = 4(1)$$

$$R_d = 4$$

ii) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo I_s

$$Z = \frac{2 D I_s F_{es}}{R_d}$$

$$Z = \frac{2 (0.5 \text{ in})(1/8 \text{ in})(87,000 \text{ psi})}{(4)}$$

$$Z = 2,719 \text{ lbs}$$

c) Modo de fluencia III_s

$$Z = \frac{2k_3 D I_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$$

Ecuación V.3: Resistencia lateral en modo de fluencia III_s , Fuente: NDS 2018.

Donde:

i) Término de reducción R_d

$$R_d = 3.2K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(0/90)$$

$$K_\theta = 1$$

$$R_d = 3.2(1)$$

$$R_d = 3.2$$

ii) Cálculo del factor R_e

$$R_e = \frac{F_{em}}{F_{es}} \text{ (Tabla 12.3.1A de la NDS 2018)}$$

$$R_e = \frac{(7,400 \text{ psi})}{(87,000 \text{ psi})}$$

$$R_e = 0.085$$

iii) Cálculo del factor k_3

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + 2R_e)D^2}{3F_{em}I_s^2}} \text{ (Tabla 12.3.1A de la NDS 2018)}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + 0.085)}{0.085} + \frac{2(45,000 \text{ psi})(2 + 2(0.085))(0.5 \text{ in})^2}{3(7,400 \text{ psi})(1/8 \text{ in})^2}}$$

$$k_3 = 11.89$$

iv) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo III_s

$$Z = \frac{2k_3 D I_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$$

$$Z = \frac{2(11.89) (0.5 \text{ in}) (1/8 \text{ in}) (7,400 \text{ psi})}{(2 + (0.085)) (3.2)}$$

$$Z = 1,648 \text{ lbs}$$

d) Modo de fluencia IV

$$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1+R_e)}}$$

Ecuación V.4: Resistencia lateral en modo de fluencia IV, Fuente: NDS 2018.

Donde:

i) Término de reducción R_d

$$R_d = 3.2K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(0/90)$$

$$K_\theta = 1$$

$$R_d = 3.2(1)$$

$$R_d = 3.2$$

ii) Cálculo del factor R_e

$$R_e = \frac{F_{em}}{F_{es}} \text{ (Tabla 12.3.1A de la NDS 2018)}$$

$$R_e = \frac{(7,400 \text{ psi})}{(87,000 \text{ psi})}$$

$$R_e = 0.085$$

iii) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo IV

$$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1 + R_e)}}$$

$$Z = \frac{2(0.5 \text{ in})^2}{3.2} \sqrt{\frac{2(7,400 \text{ psi})(45,000 \text{ psi})}{3 (1 + 0.085)}}$$

$$Z = 2,235 \text{ lbs}$$

e) Resumen de los valores de resistencia lateral de la conexión en los modos de límite de fluencia

Una vez realizados los cálculos de los valores de resistencia lateral en los diferentes modos correspondientes al cortante doble para el límite de fluencia, se hace una recopilación de lo obtenido.

Modo de fluencia	Resistencia Lateral Z (lbs)
I _m	4,625
I _s	2,719
III _s	1,648
IV	2,235

5.1.3.3. Resistencia lateral de referencia de la conexión

De la tabla mostrada anteriormente se tomará el valor de menor magnitud para la resistencia lateral de referencia de la conexión, siendo este el siguiente:

$$Z = 1,648 \text{ lbs}$$

5.1.4. Factores de ajuste para las conexiones

5.1.4.1. Factor de servicio húmedo

Al igual que en los factores utilizados en el diseño de los elementos estructurales de madera aserrada, se toman las mismas consideraciones por lo tanto este factor no aplica.

C_M = No aplica (Tabla 11.3.3 de la NDS 2018)

5.1.4.2. Factor de temperatura

Tomando en cuenta lo del inciso anterior, tampoco aplica.

C_t = No aplica (Tabla 11.3.4 de la NDS 2018)

5.1.4.3. Factor de acción grupal

Los pernos propuestos son de ½" por lo que el factor se calcula de la siguiente manera:

$$C_g = \left[\frac{m(1 - m^{2n})}{n[(1 + R_{EA}m^n)(1 + m) - 1 + m^{2n}]} \right] \left[\frac{1 + R_{EA}}{1 - m} \right] \quad (\text{Sección 11.3.6 de la NDS 2018})$$

Ecuación V.5: Factor de acción grupal, Fuente: NDS 2018.

a) Numero de pasadores en fila n

De la siguiente figura se puede observar la cantidad de pasadores propuestos, los cuales están sobre la línea de acción de la fuerza.

$n = 3$

b) Calculo de R_{EA}

Para la determinación del valor de R_{EA} se selecciona el menor del resultante de las siguientes expresiones:

$$\frac{E_s A_s}{E_m A_m} \quad \text{o} \quad \frac{E_m A_m}{E_s A_s}$$

Donde:

i) Calculo de $\frac{E_s A_s}{E_m A_m}$

$$\frac{E_s A_s}{E_m A_m} = \frac{(29,000,000 \text{ psi}) (2*1/8 \text{ in}^4 \text{ in})}{(1,422,334.3 \text{ psi}) (4 \text{ in}^2 \text{ in})} = 2.55$$

ii) Calculo de $\frac{E_m A_m}{E_s A_s}$

$$\frac{E_m A_m}{E_s A_s} = \frac{(1,422,334.3 \text{ psi}) (4 \text{ in}^2 \text{ in})}{(29,000,000 \text{ psi}) (2*1/8 \text{ in}^4 \text{ in})} = 0.39$$

De los 2 incisos anteriores se toma como valor menor siendo este:

$$R_{EA}=0.39$$

c) Calculo de m

$$m = u - \sqrt{u^2 - 1}$$

Donde:

$$u = 1 + \gamma \frac{s}{2} \left[\frac{1}{E_m A_m} + \frac{1}{E_s A_s} \right]$$

$$\gamma = 270,000 D^{2.5} (\text{psi})$$

$$\gamma = 270,000 (0.5 \text{ in})^{2.5}$$

$$\gamma = 47,730 \text{ psi}$$

$$u = 1 + (47,730 \text{ psi}) \left(\frac{4 \text{ in}}{2} \right) \left[\frac{1}{(1,422,334.3 \text{ psi}) (4 \text{ in}^2 \text{ in})} + \frac{1}{(29,000,000 \text{ psi}) (2*1/8 \text{ in}^4 \text{ in})} \right]$$

$$u = 1.01$$

$$m = 1.01 - \sqrt{(1.01)^2 - 1}$$

$$m = 0.87$$

d) Calculo del factor de acción grupal

$$C_g = \left[\frac{m(1 - m^{2n})}{n[(1 + R_{EA} m^n)(1 + m) - 1 + m^{2n}]} \right] \left[\frac{1 + R_{EA}}{1 - m} \right]$$

$$C_g = \left[\frac{0.87(1 - 0.87^{2(3)})}{3[(1 + (0.39)(0.87)^3)(1 + 0.87) - 1 + (0.87)^{2(3)}]} \right] \left[\frac{1 + 0.39}{1 - 0.87} \right]$$

$$C_g = 0.81$$

5.1.4.4. Factor de geometría

$$C_{\Delta} = \frac{\text{Distancia al borde de los pasadores}}{\text{Distancia mínima al borde para } C_{\Delta}} \quad (\text{Sección 12.5.1 de la NDS 2018})$$

Donde para $C_{\Delta}=1$ en dirección perpendicular al grano equivale a $4D$ por lo tanto la expresión queda de la siguiente manera:

$$C_{\Delta} = \frac{\text{Distancia al borde de los pasadores}}{4D}$$

$$C_{\Delta} = \frac{1.5 \text{ in}}{4(0.5 \text{ in})}$$

$$C_{\Delta} = 0.75$$

5.1.4.5. Factor de fibra extrema

El perno no está colocado paralelamente a las fibras de la madera, por lo tanto, no aplica este factor.

$$C_{eg} = \text{No aplica} \quad (\text{Sección 12.5.2 de la NDS 2018})$$

5.1.4.6. Factor de diafragma

La conexión no forma parte de un sistema de diafragma por lo cual no aplica este factor.

$$C_{di} = \text{No aplica} \quad (\text{Sección 12.5.3 de la NDS 2018})$$

5.1.4.7. Factor de clavo de pie

La conexión está formada a base de pernos, por lo cual no aplica este factor.

$$C_{tn} = \text{No aplica} \quad (\text{Sección 12.5.4 de la NDS 2018})$$

5.1.4.8. Factor de efecto del tiempo

Dada la combinación de cargas el factor es el siguiente:

$\lambda = 1$ (Tabla N3, apéndice N.3.3 de la NDS 2018)

5.1.4.9. Resumen de los valores de factores de ajuste para las conexiones

Mediante la siguiente tabla se hace resumen de todos los factores aplicables para ajustar el valor lateral de referencia en la conexión:

Factor de ajuste	Valor
C_M	No aplica
C_t	No aplica
C_g	0.81
C_{Δ}	0.75
C_{eg}	No aplica
C_{di}	No aplica
C_{tn}	No aplica
λ	1

5.1.5. Resistencia lateral ajustada

El valor de la resistencia lateral ajustada con los factores determinados correspondientes es el siguiente:

$$Z' = Z * C_M * C_t * C_g * C_{\Delta} * C_{eg} * C_{di} * C_{tn} * 3.32 * 0.65 * \lambda \text{ (Tabla 11.3.1 de la NDS 2018)}$$

Omitiendo los factores que no aplican, se simplifica la expresión de la siguiente forma:

$$Z' = Z * C_g * C_{\Delta} * 3.32 * 0.65 * \lambda$$

$$Z' = 1,648 \text{ lbs} * 0.81 * 0.75 * 3.32 * 0.65 * 1$$

$$Z' = 2,161 \text{ lbs}$$

5.1.6. Chequeo de la resistencia en la conexión

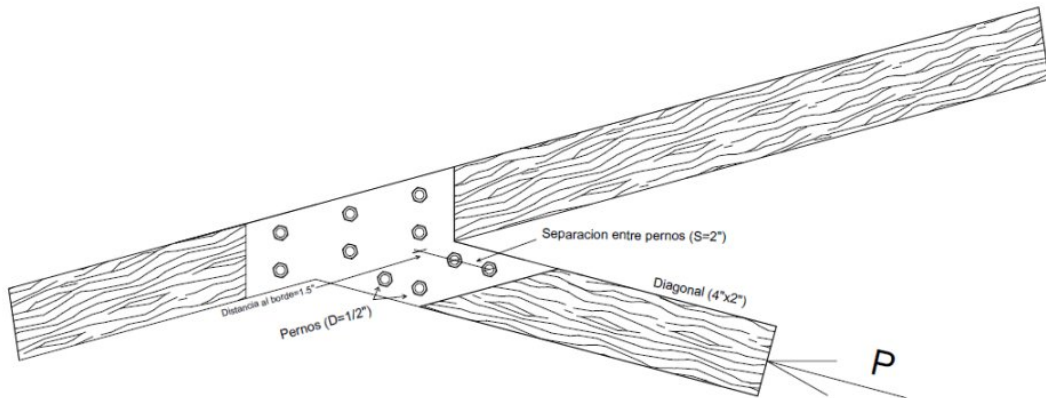
Para el chequeo de la resistencia solamente se comparan la fuerza en compresión del elemento con la resistencia lateral de la conexión de la siguiente manera:

$$Z' > P$$

$$2,161 \text{ lbs} > 1,276.73 \text{ lbs}$$

5.2. Conexión diagonal-cuerda superior

Figura V.2: Detalle de la conexión diagonal-cuerda superior



Fuente: Elaboración propia.

5.2.1. Dato de fuerza en diagonal

Tabla V.2: Dato de fuerza aplicada en elemento de diagonal

Combinación crítica	1.2CM+1.6Pz+CV
P (kg)	813.29
P (lbs)	1789.24

Fuente: Elaboración propia con datos de SAP2000.

5.2.2. Datos de la conexión a utilizar

5.2.2.1. Propiedades de los elementos

Propiedades del elemento de madera	
Dato	Referencia
$G_{esp} = 0.66$	$\gamma_{Pino}/\gamma_{Agua}$ (660/1000)
d_m (in)= 4	Figura V.2
b_m (in)= 2	
E_m (psi)= 1,422,334.3	Tabla 18 RNC-07
$F_{e\parallel}$ (psi)= 7,400	Tabla 12.3.3 NDS 2018
$F_{e\perp}$ (psi)= 4,700	

Propiedades del perno	
Dato	Referencia
D(in) = ½	Figura V.2
S(in) = 2	
F _{yb} (psi)= 45,000	Tabla I1 Apéndice A NDS 2018

Propiedades de la placa (ASTM A36)	
Dato	Referencia
t (in) = 1/8	Figura V.2
d _s (in)= 4	
E _s (psi) = 29,000,000	Tabla 12I NDS 2018
F _{es} (psi)= 87,000	

5.2.2.2. Geometría de la Conexión

Geometría de conexión	
Espesor de miembro lateral l _s =t(in)	1/8
Espesor de miembro principal l _m =d _m (in)	4
Angulo entre la carga y la dirección del grano (grados)	15

5.2.3. Ecuaciones del límite de fluencia

5.2.3.1. Resistencia al aplastamiento del miembro principal

El eje de la acción de la carga presenta un ángulo con respecto al grano por lo tanto la resistencia se determina de la siguiente manera:

$$F_{e\theta} = \frac{F_{e\parallel} F_{e\perp}}{F_{e\parallel} \sin^2 \theta + F_{e\perp} \cos^2 \theta} \quad (\text{Sección 12.3.4 de la NDS 2018})$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente

$$F_{e\theta} = \frac{(7,400\text{psi}) (4,700\text{psi})}{(7,400\text{psi}) \sin^2 (15^\circ) + (4,700\text{psi}) \cos^2 (15^\circ)}$$

$$F_{e\theta} = 7,126\text{psi}$$

5.2.3.2. Modos de fluencia

Las conexiones que se han propuesto están conformadas por los miembros de madera y dos placas de acero en ambas caras de la misma, por lo que los pernos estarán sometidos a doble cortante, por lo que las ecuaciones del límite de fluencia a utilizarse serán las de cortante doble 12.3.1A de la NDS 2018 a como se muestra a continuación:

a) Modo de fluencia I_m

Para el calculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.1 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{D I_m F_{em}}{R_d}$$

Donde:

i) Calculo del término de reducción R_d

$$R_d = 4K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(15/90)$$

$$K_\theta = 1.04$$

$$R_d = 4K_\theta$$

$$R_d = 4(1.04)$$

$$R_d = 4.16$$

ii) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo I_m

$$Z = \frac{D I_m F_{em}}{R_d}$$

$$Z = \frac{(0.5 \text{ in})(5 \text{ in})(7,126 \text{ psi})}{(4.16)}$$

$$Z = 4,283 \text{ lbs}$$

b) Modo de fluencia I_s

Para el cálculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.2 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{2 D I_s F_{es}}{R_d}$$

Donde:

i) Cálculo del término de reducción R_d

$$R_d = 4K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(15/90)$$

$$K_\theta = 1.04$$

$$R_d = 4K_\theta$$

$$R_d = 4(1.04)$$

$$R_d = 4.16$$

ii) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo I_s

$$Z = \frac{2 D I_s F_{es}}{R_d}$$

$$Z = \frac{2 (0.5 \text{ in})(1/8 \text{ in}) (87,000 \text{ psi})}{(4.16)}$$

$$Z = 2,614.2 \text{ lbs}$$

c) Modo de fluencia III,

Para el cálculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.3 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{2k_3 D I_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$$

Donde:

i) Terminó de reducción R_d

$$R_d = 3.2K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(15/90)$$

$$K_\theta = 1.04$$

$$R_d = 3.2(1.04)$$

$$R_d = 3.33$$

ii) Cálculo del factor R_e

$$R_e = \frac{F_{em}}{F_{es}} \text{ (Tabla 12.3.1A de la NDS 2018)}$$

$$R_e = \frac{(7,126 \text{ psi})}{(87,000 \text{ psi})}$$

$$R_e = 0.082$$

iii) Cálculo del factor k_3

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + 2R_e)D^2}{3F_{em}I_s^2}} \text{ (Tabla 12.3.1A de la NDS 2018)}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + 0.082)}{0.082} + \frac{2(45,000 \text{ psi})(2 + 2(0.082))(0.5 \text{ in})^2}{3(7,126 \text{ psi})(1/8 \text{ in})^2}}$$

$$k_3 = 12.12$$

iv) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo III_s

$$Z = \frac{2k_3 D I_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$$

$$Z = \frac{2(12.12) (0.5 \text{ in}) (1/8 \text{ in}) (7,126 \text{ psi})}{(2 + (0.082)) (3.33)}$$

$$Z = 1,557 \text{ lbs}$$

d) Modo de fluencia IV

Para el cálculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.4 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1 + R_e)}}$$

Donde:

i) Término de reducción R_d

$$R_d = 3.2K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(15/90)$$

$$K_\theta = 1.04$$

$$R_d = 3.2(1.04)$$

$$R_d = 3.33$$

ii) Cálculo del factor R_e :

$$R_e = \frac{F_{em}}{F_{es}} \text{ (Tabla 12.3.1A de la NDS 2018)}$$

$$R_e = \frac{(7,126 \text{ psi})}{(87,000 \text{ psi})}$$

$$R_e = 0.082$$

iii) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo IV

$$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1 + R_e)}}$$

$$Z = \frac{2(0.5 \text{ in})^2}{3.33} \sqrt{\frac{2(7,126 \text{ psi})(45,000 \text{ psi})}{3 (1 + 0.082)}}$$

$$Z = 2,111 \text{ lbs}$$

e) Resumen de los valores de resistencia lateral de la conexión en los modos de límite de fluencia

Una vez realizados los cálculos de los valores de resistencia lateral en los diferentes modos correspondientes al cortante doble para el límite de fluencia, se hace una recopilación de lo obtenido.

Modo de fluencia	Resistencia Lateral Z (lbs)
I _m	4,283
I _s	2,614
III _s	1,557
IV	2,111

5.2.3.3. Resistencia lateral de referencia de la conexión

De la tabla mostrada anteriormente se tomará el valor de menor magnitud para la resistencia lateral de referencia de la conexión, siendo este el siguiente:

$$Z = 1,557 \text{ lbs}$$

5.2.4. Factores de ajuste para las conexiones

Para los factores se toman las mismas consideraciones que el inciso 5.1.4 de este documento.

5.2.4.1. Factor de servicio húmedo

C_M = No aplica (Tabla 11.3.3 de la NDS 2018)

5.2.4.2. Factor de temperatura

C_t = No aplica (Tabla 11.3.4 de la NDS 2018)

5.2.4.3. Factor de acción grupal

Los pernos propuestos son de ½" por lo que el factor se calcula mediante la ecuación IV.5 de la sección 5.1.4.3 de este documento a como se muestra a continuación:

$$C_g = \left[\frac{m(1 - m^{2n})}{n[(1 + R_{EA}m^n)(1 + m) - 1 + m^{2n}]} \right] \left[\frac{1 + R_{EA}}{1 - m} \right] \text{ (Sección 11.3.6 de la NDS 2018)}$$

a) Numero de pasadores en fila n

De la siguiente figura se puede observar la cantidad de pasadores propuestos, los cuales están sobre la línea de acción de la fuerza.

$n = 2$

b) Calculo de R_{EA}

Para la determinación del valor de REA se selecciona el menor del resultante de las siguientes expresiones:

$$\frac{E_s A_s}{E_m A_m} \text{ o } \frac{E_m A_m}{E_s A_s}$$

Donde:

i) Calculo de $\frac{E_s A_s}{E_m A_m}$

$$\frac{E_s A_s}{E_m A_m} = \frac{(29,000,000 \text{ psi}) (2 \times 1/8 \text{ in} \times 4 \text{ in})}{(1,422,334.3 \text{ psi}) (4 \text{ in} \times 2 \text{ in})} = 2.55$$

ii) Calculo de $\frac{E_m A_m}{E_s A_s}$

$$\frac{E_m A_m}{E_s A_s} = \frac{(1,422,334.3 \text{ psi}) (4 \text{ in} \times 2 \text{ in})}{(29,000,000 \text{ psi}) (2 \times 1/8 \text{ in} \times 4 \text{ in})} = 0.39$$

De los 2 incisos anteriores se toma como valor menor siendo este:

$$R_{EA}=0.39$$

c) Calculo de m

$$m = u - \sqrt{u^2 - 1}$$

$$u = 1 + \gamma \frac{s}{2} \left[\frac{1}{E_m A_m} + \frac{1}{E_s A_s} \right]$$

$$\gamma = 270,000 D^{2.5} (\text{psi})$$

$$\gamma = 270,000 (0.5 \text{ in})^{2.5}$$

$$\gamma = 47,730 \text{ psi}$$

$$u = 1 + (47,730 \text{ psi}) \left(\frac{2 \text{ in}}{2} \right) \left[\frac{1}{(1,422,334.3 \text{ psi}) (4 \text{ in}^2 \text{ in})} + \frac{1}{(29,000,000 \text{ psi}) (2 \times 1/8 \text{ in}^4 \text{ in})} \right]$$

$$u = 1.01$$

$$m = 1.01 - \sqrt{(1.01)^2 - 1}$$

$$m = 0.86$$

d) Calculo del factor de acción grupal

$$C_g = \left[\frac{0.86(1 - 0.86^{2(2)})}{2[(1 + (0.39)(0.86)^2)(1 + 0.86) - 1 + (0.86)^{2(2)}]} \right] \left[\frac{1 + 0.39}{1 - 0.86} \right]$$

$$C_g = 1.20$$

5.2.4.4. Factor de geometría

$$C_{\Delta} = \frac{\text{Distancia al borde de los pasadores}}{\text{Distancia mínima al borde para } C_{\Delta}} \quad (\text{Sección 12.5.1 de la NDS 2018})$$

Donde para $C_{\Delta}=1$ en dirección perpendicular al grano equivale a 4D por lo tanto la expresión queda de la siguiente manera:

$$C_{\Delta} = \frac{\text{Distancia al borde de los pasadores}}{4D}$$

$$C_{\Delta} = \frac{2 \text{ in}}{4(0.5 \text{ in})}$$

$$C_{\Delta} = 1$$

5.2.4.5. Factor de fibra extrema

C_{eg} = No aplica (Seccion 12.5.2 de la NDS 2018)

5.2.4.6. Factor de diafragma

C_{di} = No aplica (Seccion 12.5.3 de la NDS 2018)

5.2.4.7. Factor de clavo de pie

C_{tn} = No aplica (Seccion 12.5.4 de la NDS 2018)

5.2.4.8. Factor de efecto del tiempo

λ = 1 (Tabla N3, apéndice N.3.3 de la NDS 2018)

5.2.4.9. Resumen de los valores de factores de ajuste para las conexiones

Factor de ajuste	Valor
C_M	No aplica
C_t	No aplica
C_g	1.20
C_{Δ}	1
C_{eg}	No aplica
C_{di}	No aplica
C_{tn}	No aplica
λ	1

5.2.5. Resistencia lateral ajustada

El valor de la resistencia lateral ajustada con los factores de ajuste correspondientes es el siguiente:

$$Z' = Z * C_M * C_t * C_g * C_{\Delta} * C_{eg} * C_{di} * C_{tn} * 3.32 * 0.65 * \lambda \text{ (Tabla 11.3.1 de la NDS 2018)}$$

Omitiendo los factores que no aplican, se simplifica la expresión de la siguiente forma:

$$Z' = Z * C_g * C_{\Delta} * 3.32 * 0.65 * \lambda$$

$$Z' = 1,557 \text{ lbs} * 1.2 * 1 * 3.32 * 0.65 * 1$$

$$Z' = 4,032 \text{ lbs}$$

5.2.6. Chequeo de la resistencia en la conexión

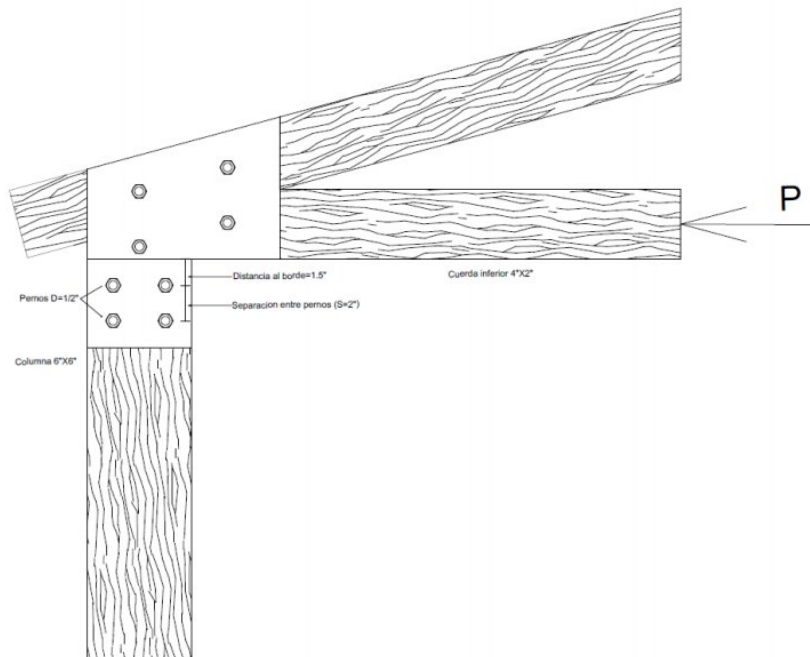
Para el chequeo de la resistencia solamente se comparan la fuerza en compresión del elemento con la resistencia lateral de la conexión de la siguiente manera:

$$Z' > P$$

$$4,032 \text{ lbs} > 1,789.24 \text{ lbs}$$

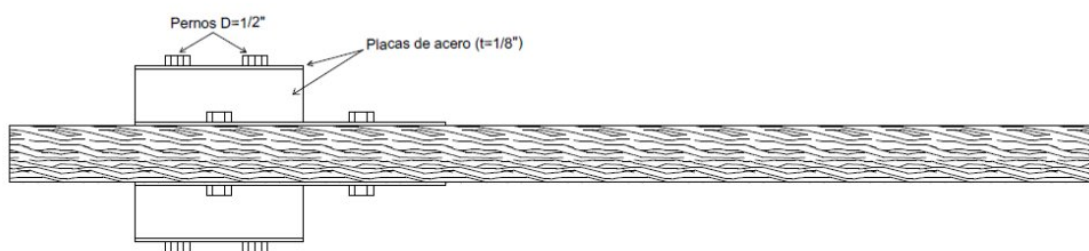
5.3. Conexión cuerda inferior-columna

Figura V.3: Detalle de la conexión cuerda inferior-columna



Fuente: Elaboración propia.

Figura V.4: Vista de planta de la conexión cuerda inferior-columna



Fuente: Elaboración propia.

5.3.1. Dato de fuerza en cuerda inferior

Tabla V.3: Dato de fuerza aplicada en elemento de cuerda inferior

Combinación crítica	1.2CM+Fs+CV
P (kg)	134.5
P (lbs)	296

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. Datos de la conexión a utilizar

5.3.2.1. Propiedades de los elementos

Propiedades del elemento de madera	
Dato	Referencia
$G_{esp} = 0.66$	$\gamma_{Pino}/\gamma_{Agua}$ (660/1000)
d_m (in)= 6	Figura V.3
b_m (in)= 6	
E_m (psi)= 1,422,334.3	Tabla 18 RNC-07
$F_{e }$ (psi)= 7,400	Tabla 12.3.3 NDS 2018
$F_{e\perp}$ (psi)= 4,700	

Propiedades del perno	
Dato	Referencia
D (in)= $\frac{1}{2}$	Figura V.3
S (in)= 2	
F_{yb} (psi)= 45,000	Tabla II Apéndice A NDS 2018

Propiedades de la placa (ASTM A36)	
Dato	Referencia
t (in) = 1/8	Figura V.4
d_s (in)= 5	Figura V.3
E_s (psi)= 29,000,000	Tabla 12I NDS 2018
F_{es} (psi)= 87,000	

5.3.2.2. Geometría de la Conexión

Geometría de conexión	
Espesor de miembro lateral $l_s=t(\text{in})$	1/8
Espesor de miembro principal $l_m=d_m(\text{in})$	6
Angulo entre la carga y la dirección del grano (grados)	90

5.3.3. Ecuaciones del límite de fluencia

5.3.3.1. Resistencia al aplastamiento del miembro principal

En este caso la fuerza la dirección de las fibras del elemento principal se encuentran perpendicular una sobre la otra, el valor de la resistencia pasa a tomar el siguiente valor:

$$F_{em} = F_{eL} = 4,700 \text{ psi (Seccion 12.3.3 de la NDS 2018)}$$

5.3.3.2. Modos de fluencia

Las conexiones que se han propuesto están conformadas por los miembros de madera y dos placas de acero en ambas caras de la misma, por lo que los pernos estarán sometidos a doble cortante, por lo que las ecuaciones del límite de fluencia a utilizarse serán las de cortante doble 12.3.1A de la NDS 2018 a como se muestra a continuación:

a) Modo de fluencia I_m

Para el cálculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.1 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{D I_m F_{em}}{R_d}$$

Donde:

i) Calculo del término de reducción R_d

$$R_d = 4K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_{\theta} = 1 + 0.25(90/90)$$

$$K_{\theta} = 1.25$$

$$R_d = 4K_{\theta}$$

$$R_d = 4(1.25)$$

$$R_d = 5$$

ii) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo I_m

$$Z = \frac{D I_m F_{em}}{R_d}$$

$$Z = \frac{(0.5 \text{ in})(6 \text{ in})(4,700 \text{ psi})}{(5)}$$

$$Z = 2,820 \text{ lbs}$$

b) Modo de fluencia I_s

Para el cálculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.2 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{2 D I_s F_{es}}{R_d}$$

Donde:

i) Cálculo del término de reducción R_d

$$R_d = 4K_{\theta} \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

$$K_{\theta} = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_{\theta} = 1 + 0.25(90/90)$$

$$K_{\theta} = 1.25$$

$$R_d = 4K_{\theta}$$

$$R_d = 4(1.25)$$

$$R_d = 5$$

ii) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo I_s

$$Z = \frac{2 D I_s F_{es}}{R_d}$$

$$Z = \frac{2 (0.5 \text{ in})(1/8 \text{ in}) (87,000 \text{ psi})}{(5)}$$

$$Z = 2,175 \text{ lbs}$$

c) Modo de fluencia III_s

Para el cálculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.3 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{2k_3 D I_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$$

Donde:

i) Término de reducción R_d

$$R_d = 3.2K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(90/90)$$

$$K_\theta = 1.25$$

$$R_d = 3.2(1.25)$$

$$R_d = 4$$

ii) Cálculo del factor R_e

$$R_e = \frac{F_{em}}{F_{es}} \text{ (Tabla 12.3.1A de la NDS 2018)}$$

$$R_e = \frac{(4,700 \text{ psi})}{(87,000 \text{ psi})}$$

$$R_e = 0.054$$

iii) Cálculo del factor k_3

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + 2R_e)D^2}{3F_{em}I_s^2}} \quad (\text{Tabla 12.3.1A de la NDS 2018})$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + 0.054)}{0.054} + \frac{2(45,000 \text{ psi})(2 + 2(0.054))(0.5 \text{ in})^2}{3(4,700 \text{ psi})(1/8 \text{ in})^2}}$$

$$k_3 = 14.95$$

iv) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo III_s

$$Z = \frac{2k_3 D I_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$$

$$Z = \frac{2(14.95)(0.5 \text{ in})(1/8 \text{ in})(4,700 \text{ psi})}{(2 + (0.054))(4)}$$

$$Z = 1,069 \text{ lbs}$$

d) Modo de fluencia IV

Para el cálculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.4 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em}F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$$

Donde:

i) Término de reducción R_d

$$R_d = 3.2K_\theta \quad (\text{Tabla 12.3.1B de la NDS 2018})$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(90/90)$$

$$K_\theta = 1.25$$

$$R_d = 3.2(1.25)$$

$$R_d = 4$$

ii) Cálculo del factor R_e

$$R_e = \frac{F_{em}}{F_{es}} \text{ (Tabla 12.3.1A de la NDS 2018)}$$

$$R_e = \frac{(4,700 \text{ psi})}{(87,000 \text{ psi})}$$

$$R_e = 0.054$$

iii) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo IV

$$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1 + R_e)}}$$

$$Z = \frac{2(0.5 \text{ in})^2}{4} \sqrt{\frac{2(4,700 \text{ psi})(45,000 \text{ psi})}{3 (1 + 0.054)}}$$

$$Z = 1,446 \text{ lbs}$$

e) Resumen de los valores de resistencia lateral de la conexión en los modos de límite de fluencia

Una vez realizados los cálculos de los valores de resistencia lateral en los diferentes modos correspondientes al cortante doble para el límite de fluencia, se hace una recopilación de lo obtenido.

Modo de fluencia	Resistencia Lateral Z (lbs)
I_m	2,820
I_s	2,175
III_s	1,069
IV	1,446

5.3.3.3. Resistencia lateral de referencia de la conexión

De la tabla mostrada anteriormente se tomará el valor de menor magnitud para la resistencia lateral de referencia de la conexión, siendo este el siguiente:

$$Z= 1,069 \text{ lbs}$$

5.3.4. Factores de ajuste para las conexiones

Para los factores se toman las mismas consideraciones que el inciso 5.1.4 de este documento.

5.3.4.1. Factor de servicio húmedo

C_M = No aplica (Tabla 11.3.3 de la NDS 2018)

5.3.4.2. Factor de temperatura

Tomando en cuenta lo del inciso anterior, tampoco aplica.

C_t = No aplica (Tabla 11.3.4 de la NDS 2018)

5.3.4.3. Factor de acción grupal

Los pernos propuestos son de ½" por lo que el factor se calcula mediante la ecuación IV.5 de la sección 5.1.4.3 de este documento a como se muestra a continuación:

$$C_g = \left[\frac{m(1 - m^{2n})}{n[(1 + R_{EA}m^n)(1 + m) - 1 + m^{2n}]} \right] \left[\frac{1 + R_{EA}}{1 - m} \right] \text{ (Sección 11.3.6 de la NDS 2018)}$$

a) Numero de pasadores en fila n

De la siguiente figura se puede observar la cantidad de pasadores propuestos, los cuales están sobre la línea de acción de la fuerza.

$$n= 2$$

b) Calculo de R_{EA}

Para la determinación del valor de R_{EA} se selecciona el menor del resultante de las siguientes expresiones:

$$\frac{E_s A_s}{E_m A_m} \text{ o } \frac{E_m A_m}{E_s A_s}$$

Donde:

i) Calculo de $\frac{E_s A_s}{E_m A_m}$

$$\frac{E_s A_s}{E_m A_m} = \frac{(29,000,000 \text{ psi}) (2*1/8 \text{ in}^5 \text{ in})}{(1,422,334.3 \text{ psi}) (6 \text{ in}^6 \text{ in})} = 0.71$$

ii) Calculo de $\frac{E_m A_m}{E_s A_s}$

$$\frac{E_m A_m}{E_s A_s} = \frac{(1,422,334.3 \text{ psi}) (6 \text{ in}^6 \text{ in})}{(29,000,000 \text{ psi}) (2*1/8 \text{ in}^5 \text{ in})} = 1.41$$

De los 2 incisos anteriores se toma como valor menor siendo este:

$$R_{EA} = 0.71$$

c) Calculo de m

$$m = u - \sqrt{u^2 - 1}$$

Donde:

$$u = 1 + \gamma \frac{s}{2} \left[\frac{1}{E_m A_m} + \frac{1}{E_s A_s} \right]$$

$$\gamma = 270,000 D^{2.5} (\text{psi})$$

$$\gamma = 270,000 (0.5 \text{ in})^{2.5}$$

$$\gamma = 47,730 \text{ psi}$$

$$u = 1 + (47,730 \text{ psi}) \left(\frac{2 \text{ in}}{2} \right) \left[\frac{1}{(1,422,334.3 \text{ psi}) (6 \text{ in}^6 \text{ in})} + \frac{1}{(29,000,000 \text{ psi}) (2*1/8 \text{ in}^5 \text{ in})} \right]$$

$$u = 1.001$$

$$m = 1.001 - \sqrt{(1.001)^2 - 1}$$

$$m = 0.96$$

d) Calculo del factor de acción grupal

$$C_g = \left[\frac{0.96(1 - 0.96^{2(2)})}{2[(1 + (0.71)(0.96)^2)(1 + 0.96) - 1 + (0.96)^{2(2)}]} \right] \left[\frac{1 + 0.71}{1 - 0.96} \right]$$

$$C_g = 1.33$$

5.3.4.4. Factor de geometría

$$C_{\Delta} = \frac{\text{Separación de los pasadores}}{\text{Separación mínima entre pasadores para } C_{\Delta}} \quad (\text{Sección 12.5.1 NDS 2018})$$

Donde para $C_{\Delta}=1$ en dirección perpendicular al grano equivale a 4D por lo tanto la expresión queda de la siguiente manera:

$$C_{\Delta} = \frac{S}{4D}$$

$$C_{\Delta} = \frac{2 \text{ in}}{4(0.5 \text{ in})} = 1$$

5.3.4.5. Factor de fibra extrema

C_{eg} = No aplica (Sección 12.5.2 de la NDS 2018)

5.3.4.6. Factor de diafragma

C_{di} = No aplica (Sección 12.5.3 de la NDS 2018)

5.3.4.7. Factor de clavo de pie

C_{tn} = No aplica (Sección 12.5.4 de la NDS 2018)

5.3.4.8. Factor de efecto del tiempo

Dada la combinación de carga el factor es el siguiente:

$\lambda = 1$ (Tabla N3, apéndice N.3.3 de la NDS 2018)

5.3.4.9. Resumen de los valores de factores de ajuste para las conexiones

Factor de ajuste	Valor
C_M	No aplica
C_t	No aplica
C_g	1.33
C_{Δ}	1
C_{eg}	No aplica
C_{di}	No aplica
C_{tn}	No aplica
λ	1

5.3.5. Resistencia lateral ajustada

El valor de la resistencia lateral ajustada con los factores de ajuste correspondientes es el siguiente:

$$Z' = Z * C_M * C_t * C_g * C_{\Delta} * C_{eg} * C_{di} * C_{tn} * 3.32 * 0.65 * \lambda \text{ (Tabla 11.3.1 de la NDS 2018)}$$

Omitiendo los factores que no aplican, se simplifica la expresión de la siguiente forma:

$$Z' = Z * C_g * C_{\Delta} * 3.32 * 0.65 * \lambda$$

$$Z' = 1,557 \text{ lbs} * 1.33 * 1 * 3.32 * 0.65 * 1$$

$$Z' = 4,469 \text{ lbs}$$

5.3.6. Chequeo de la resistencia en la conexión

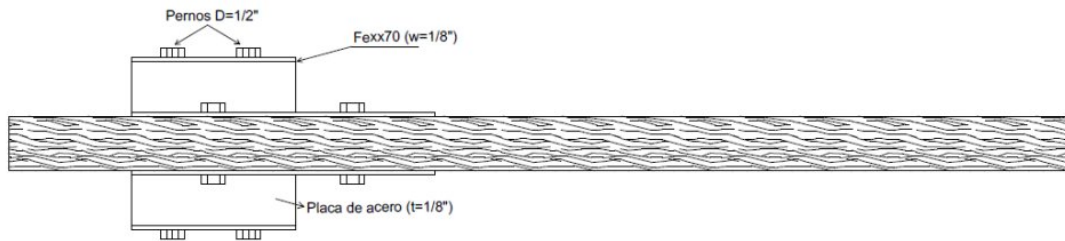
Para el chequeo de la resistencia solamente se comparan la fuerza en compresión del elemento con la resistencia lateral de la conexión de la siguiente manera:

$$Z' > P$$

$$4,032 \text{ lbs} > 296 \text{ lbs}$$

5.3.7. Chequeo de la soldadura propuesta en la conexión

Figura V.5: Detalle de la soldadura en la conexión cuerda inferior-columna



Fuente: Elaboración propia.

5.3.7.1. Propiedades de los elementos

Propiedades de la placa (ASTM A36)	
Dato	Referencia
t (in) = 1/8	Figura V.5
Fu (ksi)= 58	Tabla 2-4 Manual AISC 14 ^{va} edición
Fy (ksi) = 36	Tabla 2-4 Manual AISC 14 ^{va} edición
Propiedades de la soldadura	
Dato	Referencia
F _{EXX} (ksi)= 70	Tabla J2.5 AISC 360-16
w(in)= 1/8"	Tabla J2.4 AISC 360-16

5.3.7.2. Longitud efectiva de la soldadura

$L_e = \beta L$ (Sección J2.2 de la AISC 360-16)

Donde:

$$\beta = 1.2 - 0.002 \left(\frac{L}{w} \right) \leq 1$$

$$\beta = 1.2 - 0.002 \left(\frac{6 \text{ in}}{1/8 \text{ in}} \right) \leq 1$$

$$\beta = 1.1 > 1 \therefore \beta = 1$$

Y la longitud efectiva es igual a la longitud real

$$L_e = L$$

$$L_e = 6 \text{ in}$$

6.3.7.3. Espesor de la garganta

$$t_w = t \sin 45^\circ$$

$$t_w = 1/8" \sin 45^\circ$$

$$t_w = 0.09 \text{ in}$$

5.3.7.3. Cálculo de la resistencia de diseño

La resistencia de diseño de juntas soldadas tiene que ser el valor menor entre la resistencia del material base (determinando los estados de ruptura y fluencia mediante lo expuesto en la sección J2.4 del AISC 360-16) y la resistencia del metal de la soldadura que se determina de la siguiente manera:

a) Resistencia del metal base

Como se mencionó anteriormente en la resistencia del metal base se toma en consideración ambos esfuerzos a los que se somete una placa de acero los cuales son el esfuerzo último en tensión y el esfuerzo de fluencia.

i) Resistencia a la tensión o ruptura

$$R_{nBM} = \phi F_{nBM} A_{BM} = \phi F_U A_{BM}$$

Ecuación V.6: Resistencia a la ruptura del metal, Fuente: AISC 360-16.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$R_{nBM} = 0.75(58 \text{ ksi})(1/8 \text{ in} \cdot 6 \text{ in})$$

$$R_{nBM} = 32.63 \text{ kips}$$

ii) Resistencia a la fluencia

$$R_{nBM} = \phi F_{nBM} A_{BM} = \phi F_Y A_{BM}$$

Ecuación V.7: Resistencia a la fluencia del metal, Fuente: AISC 360-16.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$R_{nBM} = 0.75(36 \text{ ksi})(1/8 \text{ in} \cdot 6 \text{ in})$$

$$R_{nBM} = 20.25 \text{ kips}$$

b) Resistencia de la soldadura

$$R_{nw} = \phi F_{nw} A_{we} = \phi(0.6 F_{EXX}) A_{we}$$

Ecuación V.8: Resistencia de la soldadura, Fuente: AISC 360-16.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$R_{nw} = 0.75(0.6(70 \text{ ksi}))(0.09 \text{ in} \cdot 6 \text{ in})$$

$$R_{nw} = 17.01 \text{ kips}$$

Por lo tanto, se escoge el menor valor de los obtenidos anteriormente y se tiene que la resistencia es la siguiente:

$$R_n = 17.01 \text{ kips}$$

La conexión está formada por 2 soldaduras de filete con las mismas propiedades por lo tanto se tiene lo siguiente:

$$R_n = 2(17.01 \text{ kips})$$

$$R_n = 34.02 \text{ kips}$$

Comparando este valor con la fuerza P del elemento se tiene que:

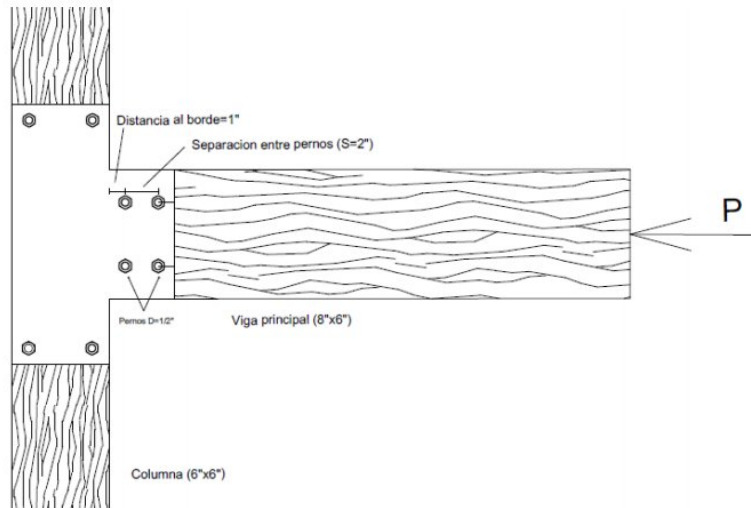
$$R_n > P$$

$$34.02 \text{ kips} > 0.3 \text{ kips}$$

Por lo tanto, la soldadura cumple.

5.4. Conexión viga principal-columna

Figura V.6: Detalle de la conexión viga principal-columna



Fuente: Elaboración propia.

5.4.1. Dato de fuerza en viga principal

Tabla V.4: Dato de fuerza aplicada en elemento de viga principal

Combinación crítica	1.2CM+Fs+CV
P (kg)	125.32
P (lbs)	276

Fuente: Elaboración propia con datos de SAP2000.

5.4.2. Datos de la conexión a utilizar

5.4.2.1. Propiedades de los elementos

Propiedades del elemento de madera	
Dato	Referencia
$G_{esp} = 0.66$	$\gamma_{Pino}/\gamma_{Agua}$ (660/1000)
d_m (in)= 8	Figura V.6
b_m (in)= 6	
E_m (psi)= 1,422,334.3	Tabla 18 RNC-07
$F_{e\parallel}$ (psi)= 7,400	Tabla 12.3.3 NDS 2018
$F_{e\perp}$ (psi)= 4,700	

Propiedades del perno	
Dato	Referencia
$D(\text{in}) = \frac{1}{2}$	Figura V.6
$S(\text{in}) = 2$	
$F_{yb}(\text{psi}) = 45,000$	Tabla I1 Apéndice A NDS 2018

Propiedades de la placa (ASTM A36)	
Dato	Referencia
$t(\text{in}) = \frac{1}{8}$	Figura V.6
$d_s(\text{in}) = 8$	
$E_s(\text{psi}) = 29,000,000$	Tabla 12I NDS 2018
$F_{es}(\text{psi}) = 87,000$	

5.4.2.2. Geometría de la Conexión

Geometría de conexión	
Espesor de miembro lateral $l_s=t(\text{in})$	1/8
Espesor de miembro principal $l_m=d_m(\text{in})$	8
Angulo entre la carga y la dirección del grano (grados)	0

5.4.3. Ecuaciones del límite de fluencia

5.4.3.1. Resistencia al aplastamiento del miembro principal

El eje de acción de la carga P se encuentra paralelo al eje longitudinal del elemento de la viga, por lo que el valor de la resistencia al aplastamiento del miembro principal a utilizar es:

$$F_{em} = F_{e\parallel} = 7400 \text{ psi (Sección 12.3.3 de la NDS 2018)}$$

5.4.3.2. Modos de fluencia

Las conexiones que se han propuesto están conformadas por los miembros de madera y dos placas de acero en ambas caras de la misma, por lo que los pernos

estarán sometidos a doble cortante, por lo que las ecuaciones del límite de fluencia a utilizarse serán las de cortante doble 12.3.1A de la NDS 2018 a como se muestra a continuación:

a) Modo de fluencia I_m

Para el cálculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.1 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{D I_m F_{em}}{R_d}$$

Donde:

i) Cálculo del término de reducción R_d

$R_d = 4K_\theta$ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(0/90)$$

$$K_\theta = 1$$

$$R_d = 4K_\theta$$

$$R_d = 4(1)$$

$$R_d = 4$$

ii) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo I_m

$$Z = \frac{D I_m F_{em}}{R_d}$$

$$Z = \frac{(0.5 \text{ in})(8 \text{ in})(4,700 \text{ psi})}{(4)}$$

$$Z = 4,700 \text{ lbs}$$

b) Modo de fluencia I_s

Para el cálculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.2 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{2 D I_s F_{es}}{R_d}$$

Donde:

i) Cálculo del término de reducción R_d

$$R_d = 4K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(0/90)$$

$$K_\theta = 1$$

$$R_d = 4K_\theta$$

$$R_d = 4(1)$$

$$R_d = 4$$

ii) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo I_s

$$Z = \frac{2 D I_s F_{es}}{R_d}$$

$$Z = \frac{2 (0.5 \text{ in})(1/8 \text{ in}) (87,000 \text{ psi})}{(4)}$$

$$Z = 2,719 \text{ lbs}$$

c) Modo de fluencia III_s

Para el cálculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.3 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{2k_3 D I_s F_{em}}{(2+R_e) R_d}$$

Donde:

i) Terminó de reducción R_d

$$R_d = 3.2K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(0/90)$$

$$K_\theta = 1$$

$$R_d = 3.2(1)$$

$$R_d = 3.2$$

ii) Cálculo del factor R_e

$$R_e = \frac{F_{em}}{F_{es}} \text{ (Tabla 12.3.1A de la NDS 2018)}$$

$$R_e = \frac{(7,400 \text{ psi})}{(87,000 \text{ psi})}$$

$$R_e = 0.085$$

iii) Cálculo del factor k_3

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + 2R_e) D^2}{3F_{em} I_s^2}}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + 0.085)}{0.085} + \frac{2(45,000 \text{ psi})(2 + 2(0.085))(0.5 \text{ in})^2}{3(7,400 \text{ psi})(1/8 \text{ in})^2}}$$

$$k_3 = 11.89$$

iv) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo III_s

$$Z = \frac{2k_3 D I_s F_{em}}{(2+R_e) R_d}$$

$$Z = \frac{2(11.89) (0.5 \text{ in}) (1/8 \text{ in}) (7,400 \text{ psi})}{(2+(0.085)) (3.2)}$$

$$Z = 1,648 \text{ lbs}$$

d) Modo de fluencia IV

Para el cálculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.4 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1+R_e)}}$$

Donde:

i) Término de reducción R_d

$$R_d = 3.2K_\theta$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(0/90)$$

$$K_\theta = 1$$

$$R_d = 3.2(1)$$

$$R_d = 3.2$$

ii) Cálculo del factor R_e

$$R_e = \frac{F_{em}}{F_{es}} \text{ (Tabla 12.3.1A de la NDS 2018)}$$

$$R_e = \frac{(7,400 \text{ psi})}{(87,000 \text{ psi})}$$

$$R_e = 0.085$$

iii) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo IV

$$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1+R_e)}}$$

$$Z = \frac{2(0.5 \text{ in})^2}{3} \sqrt{\frac{2(7,400 \text{ psi})(45,000 \text{ psi})}{3 (1+0.085)}}$$

$$Z = 2,235 \text{ lbs}$$

e) Resumen de los valores de resistencia lateral de la conexión en los modos de límite de fluencia

Una vez realizados los cálculos de los valores de resistencia lateral en los diferentes modos correspondientes al cortante doble para el límite de fluencia, se hace una recopilación de lo obtenido.

Modo de fluencia	Resistencia Lateral Z (lbs)
I _m	4,700
I _s	2,719
III _s	1,648
IV	2,235

5.4.3.3. Resistencia lateral de referencia de la conexión

De la tabla mostrada anteriormente se tomará el valor de menor magnitud para la resistencia lateral de referencia de la conexión, siendo este el siguiente:

$$Z = 1,648 \text{ lbs}$$

5.4.4. Factores de ajuste para las conexiones

Para los factores se toman las mismas consideraciones que el inciso 5.1.4 de este documento.

5.4.4.1. Factor de servicio húmedo

C_M = No aplica (Tabla 11.3.3 de la NDS 2018)

5.4.4.2. Factor de temperatura

Tomando en cuenta lo del inciso anterior, tampoco aplica.

C_t = No aplica (Tabla 11.3.4 de la NDS 2018)

5.4.4.3. Factor de acción grupal

Los pernos propuestos son de 1/2" por lo que el factor se calcula mediante la ecuación IV.5 de la sección 5.1.4.3 de este documento a como se muestra a continuación:

$$C_g = \left[\frac{m(1 - m^{2n})}{n[(1 + R_{EA}m^n)(1 + m) - 1 + m^{2n}]} \right] \left[\frac{1 + R_{EA}}{1 - m} \right] \text{ (Sección 11.3.6 de la NDS 2018)}$$

a) Numero de pasadores en fila n

De la siguiente figura se puede observar la cantidad de pasadores propuestos, los cuales están sobre la línea de acción de la fuerza.

$n = 2$

b) Calculo de R_{EA}

Para la determinación del valor de R_{EA} se selecciona el menor del resultante de las siguientes expresiones:

$$\frac{E_s A_s}{E_m A_m} \text{ o } \frac{E_m A_m}{E_s A_s}$$

Donde:

i) Calculo de $\frac{E_s A_s}{E_m A_m}$

$$\frac{E_s A_s}{E_m A_m} = \frac{(29,000,000 \text{ psi}) (2 \times 1/8 \text{ in} \times 8 \text{ in})}{(1,422,334.3 \text{ psi}) (8 \text{ in} \times 6 \text{ in})} = 0.85$$

ii) Calculo de $\frac{E_m A_m}{E_s A_s}$

$$\frac{E_m A_m}{E_s A_s} = \frac{(1,422,334.3 \text{ psi}) (8 \text{ in} \times 6 \text{ in})}{(29,000,000 \text{ psi}) (2 \times 1/8 \text{ in} \times 8 \text{ in})} = 1.17$$

De los 2 incisos anteriores se toma como valor menor siendo este:

$$R_{EA} = 0.85$$

c) Calculo de m

$$m = u - \sqrt{u^2 - 1}$$

$$u = 1 + \gamma \frac{s}{2} \left[\frac{1}{E_m A_m} + \frac{1}{E_s A_s} \right]$$

$$\gamma = 270,000 D^{2.5} (\text{psi})$$

$$\gamma = 270,000 (0.5 \text{ in})^{2.5}$$

$$\gamma = 47,730 \text{ psi}$$

$$u = 1 + (47,730 \text{ psi}) \left(\frac{2 \text{ in}}{2} \right) \left[\frac{1}{(1,422,334.3 \text{ psi}) (8 \text{ in} \times 6 \text{ in})} + \frac{1}{(29,000,000 \text{ psi}) (2 \times 1/8 \text{ in} \times 8 \text{ in})} \right]$$

$$u = 1.001$$

$$m = 1.001 - \sqrt{(1.001)^2 - 1}$$

$$m = 0.96$$

d) Calculo del factor de acción grupal

$$C_g = \left[\frac{0.96(1 - 0.96^{2(2)})}{2[(1 + (0.71)(0.96)^2)(1 + 0.96) - 1 + (0.96)^{2(2)}]} \right] \left[\frac{1 + 0.71}{1 - 0.96} \right]$$

$$C_g = 1.3$$

5.4.4.4. Factor de geometría

$$C_{\Delta} = \frac{\text{Distancia al borde de los pasadores}}{\text{Distancia mínima al borde para } C_{\Delta}} \quad (\text{Sección 12.5.1 de la NDS 2018})$$

Donde para $C_{\Delta} = 1$ en dirección perpendicular al grano equivale a 4D por lo tanto la expresión queda de la siguiente manera:

$$C_{\Delta} = \frac{\text{Distancia al borde}}{4D}$$

$$C_{\Delta} = \frac{1 \text{ in}}{4(0.5 \text{ in})}$$

$$C_{\Delta} = 0.5$$

5.4.4.5. Factor de fibra extrema

C_{eg} = No aplica (Sección 12.5.2 de la NDS 2018)

5.4.4.6. Factor de diafragma

C_{di} = No aplica (Sección 12.5.3 de la NDS 2018)

5.4.4.7. Factor de clavo de pie

C_{tn} = No aplica (Sección 12.5.4 de la NDS 2018)

5.4.4.8. Factor de efecto del tiempo

Dada la combinación de carga el factor es el siguiente:

λ = 1 (Tabla N3, apéndice N.3.3 de la NDS 2018)

5.4.4.9. Resumen de los valores de factores de ajuste para las conexiones

Factor de ajuste	Valor
C_M	No aplica
C_t	No aplica
C_g	1.3
C_{Δ}	0.5
C_{eg}	No aplica
C_{di}	No aplica
C_{tn}	No aplica
λ	1

5.4.5. Resistencia lateral ajustada

El valor de la resistencia lateral ajustada con los factores de ajuste correspondientes es el siguiente:

$$Z' = Z * C_M * C_t * C_g * C_{\Delta} * C_{eg} * C_{di} * C_{tn} * 3.32 * 0.65 * \lambda \text{ (Tabla 11.3.1 de la NDS 2018)}$$

Omitiendo los factores que no aplican, se simplifica la expresión de la siguiente forma:

$$Z' = Z * C_g * C_{\Delta} * 3.32 * 0.65 * \lambda$$

$$Z' = 1,648 \text{ lbs} * 1.3 * 0.5 * 3.32 * 0.65 * 1$$

$$Z' = 2,312 \text{ lbs}$$

5.4.6. Chequeo de la resistencia en la conexión

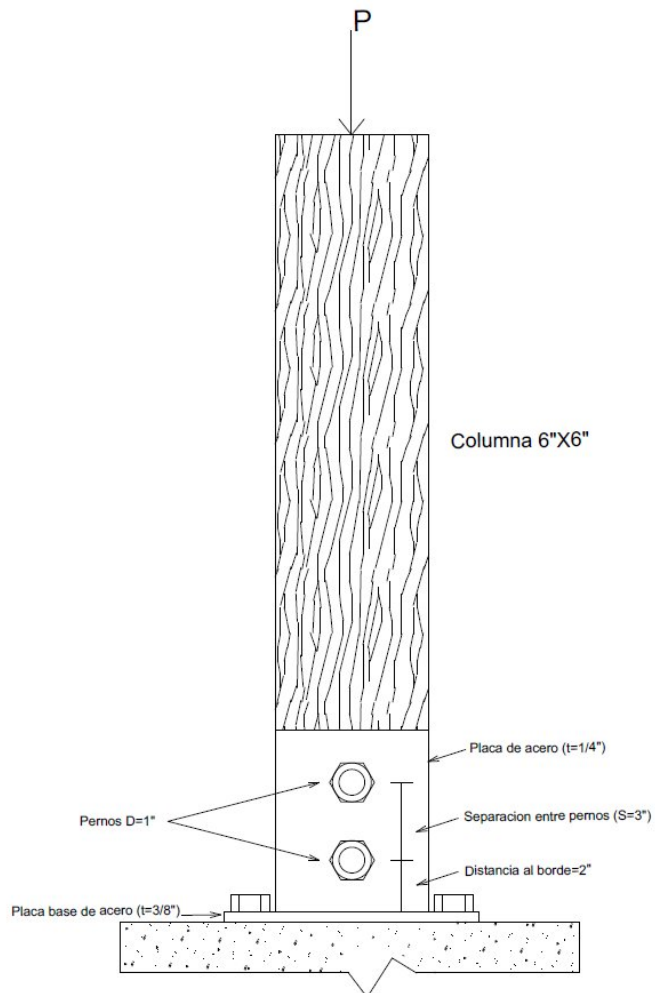
Para el chequeo de la resistencia solamente se comparan la fuerza en compresión del elemento con la resistencia lateral de la conexión de la siguiente manera:

$$Z' > P$$

$$2,312 \text{ lbs} > 276 \text{ lbs}$$

5.5. Conexión columna-pedestal

Figura V.7: Detalle conexión columna-pedestal



Fuente: Elaboración propia.

5.5.1. Dato de fuerza en columna

Tabla V.5: Dato de fuerza aplicada en elemento de columna

Combinación crítica	1.2CM+Fs+CV
P (kg)	1,237.11
M (kg.m)	605.03

Fuente: Elaboración propia con datos de SAP2000.

5.5.2. Datos de la conexión a utilizar

5.5.2.1. Propiedades de los elementos

Propiedades del elemento de madera	
Dato	Referencia
$G_{esp} = 0.66$	$\gamma_{Pino}/\gamma_{Agua}$ (660/1000)
d_m (in) = 6	Figura V.7
b_m (in) = 6	
E_m (psi) = 1,422,334.3	Tabla 18 RNC-07
$F_{e\parallel}$ (psi) = 7,400	Tabla 12.3.3 NDS 2018
$F_{e\perp}$ (psi) = 4,700	

Propiedades del perno	
Dato	Referencia
D (in) = 1	Figura V.7
S (in) = 3	
F_{yb} (psi) = 45,000	Tabla II Apéndice A NDS 2018

Propiedades de la placa (ASTM A36)	
Dato	Referencia
t (in) = 1/4	Figura V.7
d_s (in) = 6	
E_s (psi) = 29,000,000	Tabla 12I NDS 2018
F_{es} (psi) = 87,000	

5.5.2.2. Geometría de la Conexión

Geometría de conexión	
Espesor de miembro lateral $l_s = t$ (in)	3/8
Espesor de miembro principal $l_m = d_m$ (in)	6
Angulo entre la carga y la dirección del grano (grados)	0

5.5.3. Ecuaciones del límite de fluencia

5.5.3.1. Resistencia al aplastamiento del miembro principal

En este caso la fuerza y la dirección de las fibras del elemento principal se encuentran paralelas entre sí por lo que el valor de la resistencia a tomar es el siguiente:

$$F_{em} = F_{e\parallel} = 7,400 \text{ psi (Sección 12.3.3 de la NDS 2018)}$$

5.5.3.2. Modos de fluencia

Las conexiones que se han propuesto están conformadas por los miembros de madera y dos placas de acero en ambas caras de la misma, por lo que los pernos estarán sometidos a doble cortante, por lo que las ecuaciones del límite de fluencia a utilizarse serán las de cortante doble 12.3.1A de la NDS 2018 a como se muestra a continuación:

a) Modo de fluencia I_m

Para el cálculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.1 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{D I_m F_{em}}{R_d}$$

Donde:

i) Cálculo del término de reducción R_d

$$R_d = 4K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(0/90)$$

$$K_\theta = 1.25$$

$$R_d = 4K_\theta$$

$$R_d = 4(1.25)$$

$$R_d = 5$$

ii) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo I_m

$$Z = \frac{D I_m F_{em}}{R_d}$$

$$Z = \frac{(1 \text{ in})(6 \text{ in})(7,400 \text{ psi})}{(5)}$$

$$Z = 8,800 \text{ lbs}$$

b) Modo de fluencia I_s

Para el cálculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.2 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{2 D I_s F_{es}}{R_d}$$

Donde:

i) Cálculo del término de reducción R_d

$$R_d = 4K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(0/90)$$

$$K_\theta = 1.25$$

$$R_d = 4K_\theta$$

$$R_d = 4(1.25)$$

$$R_d = 5$$

ii) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo I_s

$$Z = \frac{2 D I_s F_{es}}{R_d}$$

$$Z = \frac{2 (1 \text{ in})(1/4 \text{ in}) (87,000 \text{ psi})}{(5)}$$

$$Z = 8,700 \text{ lbs}$$

c) Modo de fluencia III_s

Para el cálculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.3 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{2k_3 D I_s F_{em}}{(2+R_e) R_d}$$

Donde:

i) Término de reducción R_d

$$R_d = 3.2K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(0/90)$$

$$K_\theta = 1.25$$

$$R_d = 3.2(1.25)$$

$$R_d = 4$$

ii) Cálculo del factor R_e

$$R_e = \frac{F_{em}}{F_{es}} \text{ (Tabla 12.3.1A de la NDS 2018)}$$

$$R_e = \frac{(7,400 \text{ psi})}{(87,000 \text{ psi})}$$

$$R_e = 0.085$$

iii) Cálculo del factor k_3

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + 2R_e)D^2}{3F_{em}I_s^2}}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + 0.085)}{0.085} + \frac{2(45,000 \text{ psi})(2 + 2(0.085))(1 \text{ in})^2}{3(7,400 \text{ psi})(1/4 \text{ in})^2}}$$

$$k_3 = 14.72$$

iv) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo III_s

$$Z = \frac{2k_3 D I_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$$

$$Z = \frac{2(14.72)(1 \text{ in})(1/4 \text{ in})(7,400 \text{ psi})}{(2 + (0.085))(4)}$$

$$Z = 6,351 \text{ lbs}$$

d) Modo de fluencia IV

Para el cálculo de la resistencia lateral de referencia en este modo se utiliza la ecuación V.4 de la sección 5.1.3.2 de este documento siendo esta la siguiente:

$$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em}F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$$

Donde:

i) Término de reducción R_d

$$R_d = 3.2K_\theta \text{ (Tabla 12.3.1B de la NDS 2018)}$$

Donde:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_\theta = 1 + 0.25(0/90)$$

$$K_0 = 1.25$$

$$R_d = 3.2(1.25)$$

$$R_d = 4$$

ii) Cálculo del factor R_e

$$R_e = \frac{F_{em}}{F_{es}} \quad (\text{Tabla 12.3.1A de la NDS 2018})$$

$$R_e = \frac{(7,400 \text{ psi})}{(87,000 \text{ psi})}$$

$$R_e = 0.085$$

iii) Cálculo de la resistencia lateral de referencia Z en el modo IV

$$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1+R_e)}}$$

$$Z = \frac{2(1 \text{ in})^2}{4} \sqrt{\frac{2(7,400 \text{ psi})(45,000 \text{ psi})}{3 (1+0.085)}}$$

$$Z = 5,699 \text{ lbs}$$

e) Resumen de los valores de resistencia lateral de la conexión en los modos de límite de fluencia

Una vez realizados los cálculos de los valores de resistencia lateral en los diferentes modos correspondientes al cortante doble para el límite de fluencia, se hace una recopilación de lo obtenido.

Modo de fluencia	Resistencia Lateral Z (lbs)
I_m	8,800
I_s	8,700
III_s	6,351
IV	5,699

5.5.3.3. Resistencia lateral de referencia de la conexión

De la tabla mostrada anteriormente se tomará el valor de menor magnitud para la resistencia lateral de referencia de la conexión, siendo este el siguiente:

$$Z = 5,699 \text{ lbs}$$

5.5.4. Factores de ajuste para las conexiones

5.5.4.1. Factor de servicio húmedo

C_M = No aplica (Tabla 11.3.3 de la NDS 2018)

5.5.4.2. Factor de temperatura

Tomando en cuenta lo del inciso anterior, tampoco aplica.

C_t = No aplica (Tabla 11.3.4 de la NDS 2018)

5.5.4.3. Factor de acción grupal

Los pernos propuestos son de 1" por lo que el factor se calcula mediante la ecuación IV.5 de la sección 5.1.4.3 de este documento a como se muestra a continuación:

$$C_g = \left[\frac{m(1 - m^{2n})}{n[(1 + R_{EA}m^n)(1 + m) - 1 + m^{2n}]} \right] \left[\frac{1 + R_{EA}}{1 - m} \right] \text{ (Sección 11.3.6 de la NDS 2018)}$$

a) Numero de pasadores en fila n

De la siguiente figura se puede observar la cantidad de pasadores propuestos, los cuales están sobre la línea de acción de la fuerza.

$$n = 2$$

b) Calculo de R_{EA}

Para la determinación del valor de R_{EA} se selecciona el menor del resultante de las siguientes expresiones:

$$\frac{E_s A_s}{E_m A_m} \text{ o } \frac{E_m A_m}{E_s A_s}$$

Donde:

i) Calculo de $\frac{E_s A_s}{E_m A_m}$

$$\frac{E_s A_s}{E_m A_m} = \frac{(29,000,000 \text{ psi}) (2*1/4 \text{ in}^6 \text{ in})}{(1,422,334.3 \text{ psi}) (6 \text{ in}^6 \text{ in})} = 1.7$$

ii) Calculo de $\frac{E_m A_m}{E_s A_s}$

$$\frac{E_m A_m}{E_s A_s} = \frac{(1,422,334.3 \text{ psi}) (6 \text{ in}^6 \text{ in})}{(29,000,000 \text{ psi}) (2*1/4 \text{ in}^6 \text{ in})} = 0.6$$

De los 2 incisos anteriores se toma como valor menor siendo este:

$$R_{EA}=0.6$$

c) Calculo de m

$$m = u - \sqrt{u^2 - 1}$$

$$u = 1 + \gamma \frac{s}{2} \left[\frac{1}{E_m A_m} + \frac{1}{E_s A_s} \right]$$

$$\gamma = 270,000 D^{2.5} (\text{psi})^{19}$$

$$\gamma = 270,000 (1 \text{ in})^{2.5}$$

$$\gamma = 270,000 \text{ psi}$$

$$u = 1 + (270,000 \text{ psi}) \left(\frac{3 \text{ in}}{2} \right) \left[\frac{1}{(1,422,334.3 \text{ psi}) (6 \text{ in}^6 \text{ in})} + \frac{1}{(29,000,000 \text{ psi}) (2*1/4 \text{ in}^6 \text{ in})} \right]$$

$$u = 1.001$$

$$m = 1.001 - \sqrt{(1.001)^2 - 1}$$

$$m = 0.96$$

d) Calculo del factor de acción grupal

$$C_g = \left[\frac{0.96(1 - 0.96^{2(2)})}{2[(1 + (0.6)(0.96)^2)(1 + 0.96) - 1 + (0.96)^{2(2)}]} \right] \left[\frac{1 + 0.6}{1 - 0.96} \right]$$

$$C_g = 1.36$$

5.5.4.4. Factor de geometría

$$C_{\Delta} = \frac{\text{Separación de los pasadores}}{\text{Separación mínima entre pasadores para } C_{\Delta}} \quad (\text{Seccion 12.5.1 NDS 2018})$$

Donde para $C_{\Delta} = 1$ en dirección perpendicular al grano equivale a 4D por lo tanto la expresión queda de la siguiente manera:

$$C_{\Delta} = \frac{S}{4D}$$

$$C_{\Delta} = \frac{4 \text{ in}}{4 (1 \text{ in})}$$

$$C_{\Delta} = 1$$

5.5.4.5. Factor de fibra extrema

C_{eg} = No aplica (Seccion 12.5.2 de la NDS 2018)

5.5.4.6. Factor de diafragma

C_{di} = No aplica (Seccion 12.5.3 de la NDS 2018)

5.5.4.7. Factor de clavo de pie

C_{tn} = No aplica (Seccion 12.5.4 de la NDS 2018)

5.5.4.8. Factor de efecto del tiempo

Dada la combinación de carga el factor es el siguiente:

$\lambda = 1$ (Tabla N3, apéndice N.3.3 de la NDS 2018)

5.5.4.9. Resumen de los valores de factores de ajuste para las conexiones

Factor de ajuste	Valor
C_M	No aplica
C_t	No aplica
C_g	1.36
C_{Δ}	1
C_{eg}	No aplica
C_{di}	No aplica
C_{tn}	No aplica
λ	1

5.5.5. Resistencia lateral ajustada

El valor de la resistencia lateral ajustada con los factores de ajuste correspondientes es el siguiente:

$$Z' = Z * C_M * C_t * C_g * C_{\Delta} * C_{eg} * C_{di} * C_{tn} * 3.32 * 0.65 * \lambda \text{ (Tabla 11.3.1 de la NDS 2018)}$$

Omitiendo los factores que no aplican, se simplifica la expresión de la siguiente forma:

$$Z' = Z * C_g * C_{\Delta} * 3.32 * 0.65 * \lambda$$

$$Z' = 5,699 \text{ lbs} * 1.36 * 1 * 3.32 * 0.65 * 1$$

$$Z' = 16,726 \text{ lbs}$$

5.5.6. Chequeo de la resistencia en la conexión

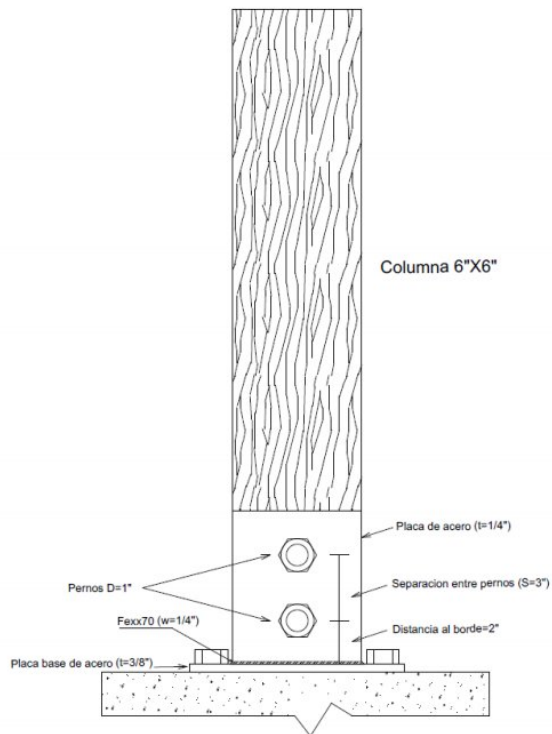
Para el chequeo de la resistencia solamente se comparan la fuerza en compresión del elemento con la resistencia lateral de la conexión de la siguiente manera:

$$Z' > P$$

$$16,726 \text{ lbs} > 2,722 \text{ lbs}$$

5.5.7. Chequeo de la soldadura propuesta en la conexión

Figura V.8: Detalle de soldadura en conexión columna-placa base



Fuente: Elaboración propia.

5.5.7.1. Propiedades de los elementos

Propiedades de la placa (ASTM A36)	
Dato	Referencia
t (in) = 3/8	Figura V.8
Fu (ksi)= 58	Tabla 2-4 Manual AISC 14 ^{va} edición
Fy (ksi) = 36	Tabla 2-4 Manual AISC 14 ^{va} edición
Propiedades de la soldadura	
Dato	Referencia
F _{EXX} (ksi) = 70	Tabla J2.5 AISC 360-16
w(in)= 1/4	Tabla J2.4 AISC 360-16

5.5.7.2. Longitud efectiva de la soldadura

$L_e = \beta L$ (Sección J2.2 de la AISC 360-16)

Donde:

$$\beta = 1.2 - 0.002 \left(\frac{L}{w} \right) \leq 1$$

$$\beta = 1.2 - 0.002 \left(\frac{6 \text{ in}}{1/4 \text{ in}} \right) \leq 1$$

$$\beta = 1.15 > 1 \therefore \beta = 1$$

Y la longitud efectiva es igual a la longitud real

$$L_e = L$$

$$L_e = 6 \text{ in}$$

5.5.7.3. Espesor de la garganta

$$t_w = t \sin 45^\circ$$

$$t_w = 1/4 \text{ in} \cdot \sin 45^\circ$$

$$t_w = 0.27 \text{ in}$$

5.5.7.4. Cálculo de la resistencia de diseño

La resistencia de diseño de juntas soldadas tiene que ser el valor menor entre la resistencia del material base (determinando los estados de ruptura y fluencia mediante lo expuesto en la sección J2.4 del AISC 360-16) y la resistencia del metal de la soldadura que se determina de la siguiente manera:

a) Resistencia del metal base

A como se mencionó anteriormente en la resistencia del metal base se toma en consideración ambos esfuerzos a los que se somete una placa de acero los cuales son el esfuerzo último en tensión y el esfuerzo de fluencia.

i) Resistencia a la tensión o ruptura

Para el calculo de la resistencia se utilizará la ecuación V.6 del inciso a, sección 5.3.7.3 de este documento siendo esta la siguiente:

$$R_{nBM} = \phi F_{nBM} A_{BM} = \phi F_U A_{BM}$$

$$R_{nBM} = 0.75(58 \text{ ksi})(1/4 \text{ in} \cdot 6 \text{ in})$$

$$R_{nBM} = 65.25 \text{ kips}$$

ii) Resistencia a la fluencia

Para el cálculo de la resistencia se utilizará la ecuación V.7 del inciso a, sección 5.3.7.3 de este documento siendo esta la siguiente:

$$R_{nBM} = \phi F_{nBM} A_{BM} = \phi F_Y A_{BM}$$

$$R_{nBM} = 0.75(36 \text{ ksi})(1/4 \text{ in} \cdot 6 \text{ in})$$

$$R_{nBM} = 40.45 \text{ kips}$$

b) Resistencia de la soldadura

Para el cálculo de la resistencia se utilizará la ecuación V.8 del inciso b, sección 5.3.7.3 de este documento siendo esta la siguiente:

$$R_{nw} = \phi F_{nw} A_{we} = \phi (0.6 F_{EXX}) A_{we}$$

$$R_{nw} = 0.75(0.6(70 \text{ ksi}))(0.27 \text{ in} \cdot 6 \text{ in})$$

$$R_{nw} = 51.03 \text{ kips}$$

Por lo tanto, se escoge el menor valor de los obtenidos anteriormente y se tiene que la resistencia es la siguiente:

$$R_n = 40.45 \text{ kips}$$

La conexión está formada por 2 soldaduras de filete con las mismas propiedades por lo tanto se tiene lo siguiente:

$$R_n = 2(40.45 \text{ kips})$$

$$R_n = 81 \text{ kips}$$

Comparando este valor con la fuerza P del elemento se tiene que:

$$R_n > P$$

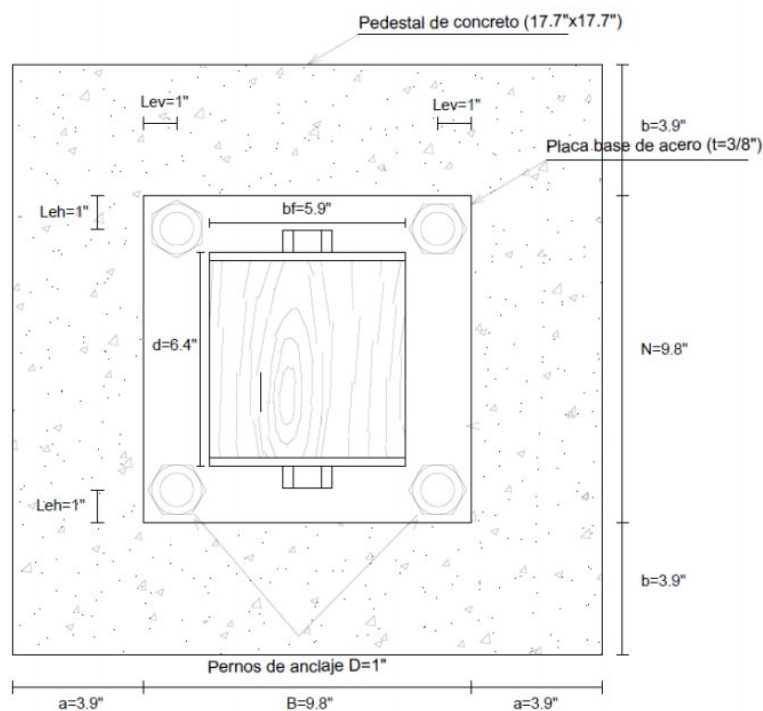
$$81 \text{ kips} > 2 \text{ kips}$$

Por lo tanto, la soldadura cumple.

5.5.8. Verificación de la placa base

Para realizar la verificación de la placa base propuesta se hará uso de la guía del AISC Steel Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design 2ed, determinando todos los cálculos necesarios para corroborar el cumplimiento del diseño.

Figura V.9: Geometría de la placa base



Fuente: Figura 3.1.1(b) de AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design 2nd.

5.5.8.1. Fuerza en columna

Tabla V.6: Datos de fuerzas en columna

Combinación crítica	1.2CM+Fs+CV
P (kg)	1237.11
M (kg.m)	605.03

Fuente: Elaboración propia con datos de SAP2000.

5.5.8.2. Excentricidad equivalente

Para la determinación de la excentricidad se utiliza la ecuación de la sección 3.4.4.3 del AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design a como se muestra a continuación:

$$e = \frac{M}{P}$$

Ecuación V.9: Excentricidad equivalente, Fuente: AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$e = \frac{52.51 \text{ kips.in}}{2.7 \text{ kips}}$$

$$e = 19.45 \text{ in}$$

5.5.8.3. Tensión máxima de apoyo del concreto

Para la determinación de la tensión máxima de apoyo se utiliza la ecuación de la sección 3.1.1 del AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design a como se muestra a continuación:

$$f_{p(max)} = \phi_c(0.85f_c) \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

Ecuación V.10: Tensión máxima de apoyo del concreto, Fuente: AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$f_{p(max)} = 0.75(0.85(3\text{ksi})) \sqrt{\frac{(9.8\text{in} \times 9.8\text{in})}{(17.6\text{in} \times 17.6\text{in})}}$$

$$f_{p(max)} = 1.1 \text{ ksi}$$

5.5.8.4. Fuerza de apoyo resultante máxima

Para la determinación de la fuerza de apoyo se utiliza la ecuación de la sección 3.3 del AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design a como se muestra a continuación:

$$q_{\max} = f_{p(\max)} B$$

Ecuación V.11: Fuerza de apoyo resultante máxima, Fuente: AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$q_{\max} = 1.1 \text{ ksi (9.8 in)}$$

$$q_{\max} = 10.8 \text{ kips/in}$$

5.5.8.5. Excentricidad critica

Para la determinación de la excentricidad critica se utiliza la ecuación de la sección 3.4 del AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design a como se muestra a continuación:

$$e_{\text{crit}} = \frac{N}{2} - \frac{P}{2 q_{\max}}$$

Ecuación V.12: Excentricidad critica, Fuente: AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$e_{\text{crit}} = \frac{9.8 \text{ in}}{2} - \frac{2.7 \text{ kips}}{2(10.8 \text{ kips/in})}$$

$$e_{\text{crit}} = 4.8 \text{ in}$$

Una vez determinado ambos valores de excentricidad se realiza la comparación y se tiene lo siguiente:

$$e > e_{\text{crit}}$$

$$19.45 \text{ in} > 4.8 \text{ in}$$

Por lo cual se debe hacer el diseño de la placa base mediante el procedimiento especificado para momento grande.

5.5.8.6. Chequeo de la inecuación

Se realizará la verificación de la inecuación de la sección 3.4.1 del AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design a como se muestra a continuación:

$$\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 \geq \frac{2P(e+f)}{q_{\max}}$$

Donde:

$$f = \frac{N}{2} - L_{eh}$$

$$f = \frac{9.8 \text{ in}}{2} - 1 \text{ in}$$

$$f = 3.9 \text{ in}$$

Haciendo la evaluación de la inecuación de tiene lo siguiente:

$$\left(3.9 \text{ in} + \frac{9.8 \text{ in}}{2}\right)^2 \geq \frac{2.7 (2 \text{ kips})(19.45 \text{ in} + 3.9 \text{ in})}{10.8 \text{ kips/in}}$$

$$77.44 \geq 11.7 \therefore \text{Cumple la inecuación}$$

5.5.8.7. Cálculo de la longitud de apoyo

Para la determinación de la longitud de apoyo se utiliza la ecuación de la sección 3.4.1 del AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design a como se muestra a continuación:

$$Y = \left(f + \frac{N}{2}\right) - \sqrt{\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 - \frac{2P(e+f)}{q_{\max}}}$$

Ecuación V.13: Longitud de apoyo, Fuente: AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$Y = \left(3.9 \text{ in} + \frac{9.8 \text{ in}}{2}\right) - \sqrt{\left(3.9 \text{ in} + \frac{9.8 \text{ in}}{2}\right)^2 - \frac{2(2.7 \text{ kips})(19.45 \text{ in} + 3.9 \text{ in})}{10.8 \text{ kips/in}}}$$

$$Y = 0.69 \text{ in}$$

5.5.8.8. Cálculo de la tensión del perno

Para la determinación de la tensión del perno se utiliza la ecuación de la sección 3.4.1 del AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design a como se muestra a continuación:

$$T_u = q_{\max} Y - P$$

Ecuación V.14: Tensión del perno, Fuente: AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$T_u = (10.8 \text{ kips/in}) (0.69 \text{ in}) - (2.7 \text{ kips})$$

$$T_u = 4.7 \text{ kips}$$

5.5.8.9. Dimensiones críticas de la placa base

Se determinarán las dimensiones críticas de la placa base se utilizarán las ecuaciones de la sección 3.1.4.4 del AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design a como se muestra a continuación:

$$m = \frac{N - 0.95d}{2}$$

$$m = \frac{9.8 \text{ in} - 0.95 (6.4 \text{ in})}{2}$$

$$m = 1.86 \text{ in}$$

$$n = \frac{N - 0.8b_f}{2}$$

$$n = \frac{9.8 \text{ in} - 0.8 (5.9 \text{ in})}{2}$$

$$n = 2.54 \text{ in}$$

5.5.8.10. Espesor mínimo requerido de la placa base

Comparando el valor de la longitud de apoyo “Y” con los de las dimensiones críticas obtenidas anteriormente siendo este menor que el max (m, n), por lo que se determinaran 2 espesores mínimos para cada zona (zona de aplastamiento y zona de tensión) debido a los diferentes esfuerzos que la placa está sometida.

a) Espesor mínimo en zona de aplastamiento

Para la determinación del espesor mínimo para la zona de aplastamiento se utiliza la ecuación de la sección 3.4.2 del AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design a como se muestra a continuación:

$$t_{p(\text{req})} = 2.11 \sqrt{\frac{f_{p(\text{max})} Y \left(m - \frac{Y}{2} \right)}{F_y}}$$

Ecuación V.15: Espesor requerido en zona de aplastamiento, Fuente: AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design.

Sustituyendo valores se tiene:

$$t_{p(\text{req})} = 2.11 \sqrt{\frac{(1.1 \text{ ksi}) (0.69 \text{ in}) \left(1.86 \text{ in} - \frac{0.69 \text{ in}}{2} \right)}{36 \text{ ksi}}}$$
$$t_{p(\text{req})} = 0.37 \text{ in}$$

b) Espesor mínimo en zona de tensión

Para la determinación del espesor mínimo para la zona de tensión se utiliza la ecuación de la sección 3.4.3 del AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design a como se muestra a continuación:

$$t_{p(\text{req})} = 2.11 \sqrt{\frac{T_u x}{B F_y}}$$

Ecuación V.16: Espesor requerido en zona de tension, Fuente: AISC Design Guide, Base Plate and Anchor Rod Design.

Donde:

$$x = \left(f - \frac{d}{2} \right) + \frac{t_f}{2}$$
$$x = \left(3.9 \text{ in} - \frac{6.4 \text{ in}}{2} \right) + \frac{3/8 \text{ in}}{2}$$
$$x = 0.88 \text{ in}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$t_{p(req)} = 2.11 \sqrt{\frac{(4.7 \text{ kips}) (0.88 \text{ in})}{(9.8 \text{ in}) (36 \text{ ksi})}}$$

$$t_{p(req)} = 0.22 \text{ in}$$

c) Espesor mínimo requerido para la placa base

Una vez determinado los espesores en los incisos anteriores se comparan y se toma el de mayor magnitud siendo este el espesor mínimo requerido para la placa base:

$$t_{p(req)} = 0.37 \text{ in}$$

d) Chequeo del espesor propuesto en la placa base

Se comparan los valores del espesor propuesto en el diseño y el espesor mínimo requerido calculado anteriormente, teniendo lo siguiente:

$$t > t_{p(req)}$$

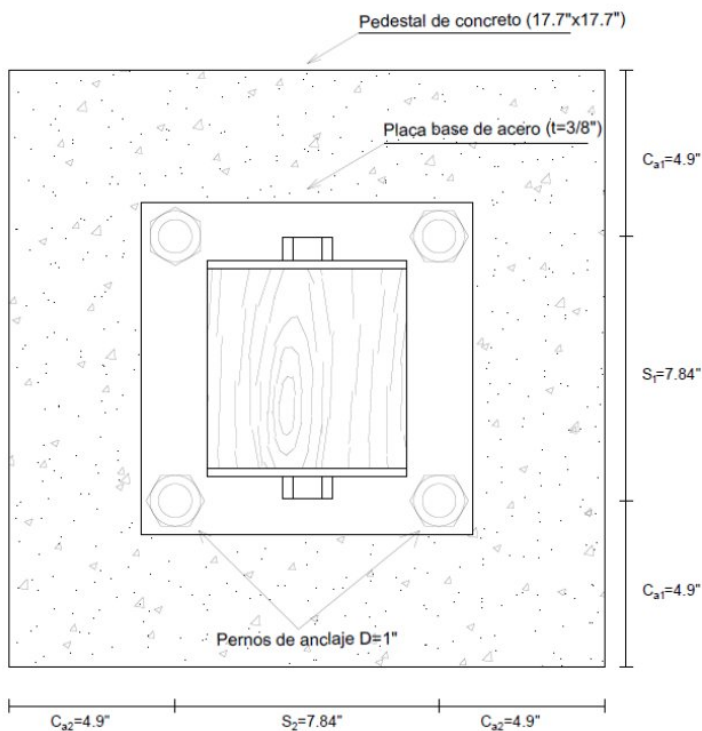
$$0.375 \text{ in} > 0.37 \text{ in} \therefore \text{Cumple}$$

5.5.9. Verificación de pernos de anclaje

Para realizar la verificación de los pernos de anclaje se hará uso del código ACI 318-19 haciendo los cálculos de las resistencias necesarias

5.5.9.1. Propiedades geométricas de los pernos de anclaje en la conexión placa base-pedestal

Figura V.10: Distancias del perno de anclaje con respecto al pedestal para determinar de A_{NC}



Fuente: Elaboración propia con datos de la sección 17.6.2.1 de ACI 318-19.

5.5.9.2. Resistencia al arrancamiento del concreto

Para la determinación de la resistencia al arrancamiento se utiliza la ecuación de la sección 17.6.2.1b de ACI 318-19 a como se muestra a continuación:

$$N_{cbg} = \frac{A_{NC}}{A_{Nco}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b$$

Ecuación V.17: Resistencia al arrancamiento del concreto, Fuente: ACI 318-19.

Donde:

a) Área proyectada de la superficie de falla de un grupo de anclajes

$$A_{Nco} = 9h_{ef}^2 \text{ (Sección 17.6.2.1.2 de ACI 318-19)}$$

$$A_{Nco} = 9(12 \text{ in})^2$$

$$A_{Nco} = 1,296 \text{ in}^2$$

b) Área proyectada de la superficie de falla de un anclaje con distancia de borde

$$A_{Nc} = (c_{a1} + s_1 + 1.5h_{ef}) (c_{a2} + s_2 + 1.5h_{ef}) \text{ (Sección 17.6.2.1.4 de ACI 318-19).}$$

$$A_{Nc} = (4.9 \text{ in} + 7.84 \text{ in} + 1.5(12 \text{ in})) (4.9 \text{ in} + 7.84 \text{ in} + 1.5(12 \text{ in}))$$

$$A_{Nc} = 3,183.22 \text{ in}^2$$

c) Factor de excentricidad de borde del arrancamiento

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2e'_N}{3h_{ef}}\right)} \leq 1 \text{ (Sección 17.6.2.3.1 de ACI 318-19)}$$

Donde:

El valor de e'_N es de 19.45 in, el cual fue calculado en el inciso 5.5.8.2 de este documento, sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2(19.45 \text{ in})}{3(12 \text{ in})}\right)} \leq 1$$

$$\psi_{ec,N} = 0.5 < 1$$

d) Factor de efecto de borde del arrancamiento

$$\psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a,min}}{1.5h_{ef}} \text{ (Sección 17.6.2.4.1b de ACI 318-19)}$$

Sustituyendo se tiene lo siguiente:

$$\psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \frac{4.9 \text{ in}}{1.5(12 \text{ in})}$$

$$\psi_{ed,N} = 0.78$$

e) Factor de efecto fisuración para el arrancamiento

Para anclajes preinstalados se tiene que el factor es:

$$\psi_{c,N} = 1.25 \text{ (Sección 17.6.2.5.1a de ACI 318-19)}$$

f) Factor de hendimiento para el arrancamiento

$$\psi_{cp,N} = 1 \text{ (Sección 17.6.2.6 de ACI 318-19)}$$

g) Resistencia básica al arrancamiento de un solo anclaje

$$N_b = k_c \lambda_a \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5} \text{ (Sección 17.6.2.2.1 de ACI 318-19)}$$

Donde:

$$k_c = 10 \text{ (para anclajes preinstalados)}$$

$$\lambda_a = 1 \text{ (para anclajes preinstalados)}$$

$$N_b = k_c \lambda_a \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5}$$

$$N_b = (10) (1) \sqrt{3 \text{ ksi}} (12 \text{ in})^{1.5}$$

$$N_b = 720 \text{ kips}$$

Una vez determinados los valores necesarios se procede a calcular la resistencia al arrancamiento donde, la resistencia al arrancamiento es la siguiente:

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b$$

$$N_{cbg} = \frac{3,183.22 \text{ in}^2}{1,296 \text{ in}^2} (0.5) (0.78) (1.25) (1) (720 \text{ kips})$$

$$N_{cbg} = 862 \text{ kips}$$

5.5.9.3. Chequeo de la resistencia al arrancamiento del concreto

Para la verificación de la resistencia se tiene que cumplir lo siguiente:

$$\phi N_{cbg} \geq N_{ua,g} \text{ (Tabla 17.5.2 de ACI 318-19)}$$

Donde:

$$N_{ua, g} = T_u$$

El valor de T_u fue calculado en la sección 5.5.8.5 de este documento, sustituyendo valores obtenemos lo siguiente:

$$0.75(862 \text{ kips}) \geq 4.7 \text{ kips}$$

$$647 \text{ kips} > 4.7 \text{ kips} \therefore \text{Cumple}$$

5.5.9.4. Resistencia al desprendimiento lateral del concreto

Para la determinación de la resistencia al desprendimiento lateral se utiliza la ecuación de la sección 17.6.4 de ACI 318-19 a como se muestra a continuación:

$$N_{sbg} = \left(1 + \frac{s}{6c_{a1}}\right) N_{sb}$$

Ecuación V.18: Resistencia al desprendimiento lateral del concreto, Fuente: ACI 318-19.

Donde:

a) Resistencia al desprendimiento lateral de un solo perno de anclaje

$$N_{sb} = 42.5c_{a1} \sqrt{A_{brg}} \lambda_a \sqrt{f_c}$$

Donde el valor de A_{brg} es:

$$A_{brg} = 1.163 \text{ in}^2 \text{ (Tabla 1b ACI 318-19 Design Handbook Vol.2)}$$

$$N_{sb} = 42.5c_{a1} \sqrt{A_{brg}} \lambda_a \sqrt{f_c}$$

$$N_{sb} = 42.5(4.9 \text{ in}) \sqrt{1.163 \text{ in}^2} (1) \sqrt{3 \text{ ksi}}$$

$$N_{sb} = 389 \text{ kips}$$

Una vez determinado el valor de la resistencia de un perno de anclaje, se procede a calcular para un grupo de pernos de anclaje de la siguiente manera:

$$N_{sbg} = \left(1 + \frac{s}{6c_{a1}}\right) N_{sb}$$

$$N_{sbg} = \left(1 + \frac{7.84 \text{ in}}{6(4.9 \text{ in})}\right) (389 \text{ kips})$$

$$N_{sbg} = 493 \text{ kips}$$

5.5.9.5. Chequeo de la resistencia al desprendimiento lateral

Para la verificación de la resistencia se tiene que cumplir lo siguiente:

$$\phi N_{sbg} \geq N_{ua,g} \text{ (Tabla 17.5.2 de ACI 318-19)}$$

Donde:

$$N_{ua,g} = T_u$$

$$0.75(493 \text{ kips}) \geq 4.7 \text{ kips}$$

$$370 \text{ kips} > 4.7 \text{ kips} \therefore \text{Cumple}$$

5.5.9.6. Resistencia a la falla por adherencia de anclajes

Para la determinación de la resistencia a la falla por adherencia se utiliza la ecuación de la sección 17.6.5 de ACI 318-19 a como se muestra a continuación:

$$N_{ag} = \frac{A_{Na}}{A_{Na0}} \psi_{ec,Na} \psi_{ed,Na} \psi_{cp,Na} N_{ba}$$

Ecuación V.19: Resistencia a la falla por adherencia, Fuente: ACI 318-19.

Donde:

a) Área de influencia proyectada de un anclaje con distancia de borde

$$A_{Na0} = (2c_{Na})^2 \text{ (Sección 17.6.5.1.2 de ACI 318-19)}$$

Donde:

$$c_{Na} = 10d_a \sqrt{\frac{\tau_{uncr}}{7.6}}$$

Donde:

$$\tau_{uncr} = 4.5 \text{ Mpa (Tabla 17.6.5.2.5 de ACI 318-19)}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$c_{Na} = 10(1 \text{ in}) \sqrt{\frac{(4.5 \text{ Mpa}) (0.145 \text{ ksi/Mpa})}{(7.6 \text{ Mpa}) (0.145 \text{ ksi/Mpa})}}$$

$$c_{Na} = 7.69 \text{ in}$$

Una vez determinado el valor de c_{Na} se procede a realizar el cálculo del área, obteniendo lo siguiente:

$$A_{Na0} = (2c_{Na})^2$$

$$A_{Na0} = (2(7.69 \text{ in}))^2$$

$$A_{Na0} = 237 \text{ in}^2$$

b) Área de influencia proyectada de un grupo de anclajes adheridos

$$A_{Na} = (c_{Na} + S_1 + c_{a1}) (c_{Na} + S_2 + c_{a2}) \text{ (Sección 17.6.5.1.1 de ACI 318-19)}$$

$$A_{Na} = (7.69 \text{ in} + 7.84 \text{ in} + 4.9 \text{ in}) (7.69 \text{ in} + 7.84 \text{ in} + 4.9 \text{ in})$$

$$A_{Na} = 417.4 \text{ in}^2$$

c) Factor de excentricidad por adherencia

$$\psi_{ec,Na} = \frac{1}{\left(1 + \frac{e'_N}{c_{Na}}\right)} \leq 1 \text{ (Sección 17.6.5.3.1 de ACI 318-19)}$$

$$\psi_{ec,Na} = \frac{1}{\left(1 + \frac{19.45 \text{ in}}{7.69 \text{ in}}\right)} \leq 1$$

$$\psi_{ec,Na} = 0.28 < 1$$

d) Factor de modificación para efectos de borde en anclajes adheridos

$$\psi_{ed,Na} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a,min}}{c_{Na}} \text{ (Sección 17.6.5.4.1 de ACI 318-19)}$$

$$\psi_{ed,Na} = 0.7 + 0.3 \frac{4.9 \text{ in}}{7.69 \text{ in}}$$

$$\psi_{ed,Na} = 0.9$$

e) Factor de hendimiento por adherencia

$$\psi_{cp,Na} = 1 \text{ (Sección 17.6.5.5.2 de ACI 318-19)}$$

f) Resistencia básica de adherencia de un anclaje individual

$$N_{ba} = \lambda_a \tau_{cr} \pi d_a h_{ef} \text{ (Sección 17.6.5.2.1 de ACI 318-19)}$$

Donde:

$$\tau_{cr} = 4.5 \text{ Mpa (Tabla 17.6.5.2.5 de ACI 318-19)}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$N_{ba} = \lambda_a \tau_{cr} \pi d_a h_{ef}$$

$$N_{ba} = (1)((4.5 \text{ Mpa}) (0.145 \text{ ksi/Mpa})) (3.1416) (1 \text{ in}) (12 \text{ in})$$

$$N_{ba} = 25 \text{ kips}$$

Por lo tanto, al determinar todos los valores necesarios se procede a calcular la resistencia a la falla por adherencia de la siguiente manera:

$$N_{ag} = \frac{A_{Na}}{A_{Nao}} \psi_{ec,Na} \psi_{ed,Na} \psi_{cp,Na} N_{ba}$$

$$N_{ag} = \frac{417.4 \text{ in}^2}{237 \text{ in}^2} (0.28) (0.9) (1) (25 \text{ kips})$$

$$N_{ag} = 11.1 \text{ kips}$$

5.5.9.7. Chequeo de la resistencia a la falla por adherencia de anclajes

Para la verificación de la resistencia se tiene que cumplir lo siguiente:

$$\phi N_{ag} \geq N_{ua,g} \text{ (Tabla 17.5.2 de ACI 318-19)}$$

Donde:

$$N_{ua,g} = T_u$$

$$0.75(11.1 \text{ kips}) \geq 4.7 \text{ kips}$$

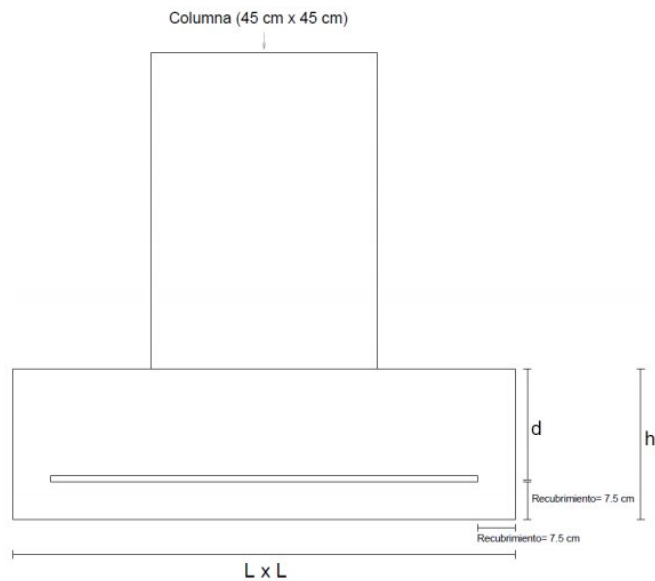
$$8.33 \text{ kips} > 4.7 \text{ kips} \therefore \text{Cumple}$$

CAPITULO VI: Diseño de Cimentación

6.1. Datos para el diseño

Para el diseño de la cimentación que será una zapata aislada cuadrada, se hará uso del código ACI 318-19 y el ACI Reinforced Concrete Design Handbook Vol.1 determinando así todos cálculos necesarios para la verificación de la misma.

Figura VI.1: Geometría de zapata aislada cuadrada propuesta



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1. Dato de carga aplicada

Tabla VI.1: Dato de carga máxima aplicada

Combinación CM+CV+Fs	
$P_{\max}$ (kg)	1,223.39

Fuente: Elaboración propia con datos de SAP2000.

Tabla VI.2: Dato de carga última aplicada

Carga mayorada con combinación crítica	
1.2CM + Fs + CV	
P_u (kg)	1,237.11

Fuente: Elaboración propia con datos de SAP2000.

7.1.1. Datos de la zapata sobre el terreno

Datos de zapata sobre terreno	
$q_{adm} \text{ (kg/cm}^2\text{)}^1$	3
hp (m)	0.3
Df (m)	0.95

7.1.2. Datos de la zapata

Datos de la zapata	
$f'_c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	215
$f_y \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	4200
Recubrimiento (cm)	70.5

7.1.3. Datos del pedestal

Datos del pedestal	
$f'_c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	215
c (cm)	45
c (cm)	45

6.2. Determinación del área

Para la determinación del área de la zapata se utiliza la ecuación de la sección 11.9.3 del ACI Reinforced Concrete Design Handbook Vol.1 mostrado a continuación:

$$A_z = \frac{P_{max}}{q_{adm}}$$

Ecuación VI.1: Área de la zapata, Fuente: ACI 318-19 Design Handbook.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$A_z = \frac{1,233.39 \text{ kg}}{3 \text{ kg/cm}^2}$$

¹ Tabla 12.1 de Diseño de estructuras de concreto armado, Teodoro E. Harmsen, 3ª ed., ver anexo A.9.

$$A_z = 411.13 \text{ cm}^2$$

Se tiene un pedestal cuadrado con los mismos lados en sus dimensiones así que, también la zapata será cuadrada.

$$L = \sqrt{A_z}$$

$$L = \sqrt{411.13 \text{ cm}^2}$$

$$L = 20.28 \text{ cm} \approx 21 \text{ cm}$$

La dimensión de la zapata es menor que la de la columna por lo que esto no es aplicable en realidad, por lo que se procede a proponer las dimensiones mínimas usuales para una zapata y se verificara las resistencias que nos establece la norma.

6.2.1. Dimensiones propuestas de la zapata

Las dimensiones propuestas serán de 1 m x 1 m. Por lo tanto, al ser una zapata cuadrada sus lados serán el siguiente:

$$L = 100 \text{ cm}$$

6.2.2. Área de la zapata

$$A_z = L * L$$

$$A_z = (100\text{cm})(100\text{cm})$$

$$A_z = 10,000 \text{ cm}^2$$

6.3. Esfuerzo último ejercido sobre el suelo

Para la determinación del esfuerzo último del suelo se utiliza la ecuación de la sección 11.9.4 del ACI Reinforced Concrete Design Handbook Vol.1 mostrado a continuación:

$$q_u = \frac{P_u}{A_z}$$

Ecuación VI.2: Esfuerzo ultimo ejercido sobre el suelo, Fuente: ACI 318-19 Design Handbook.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

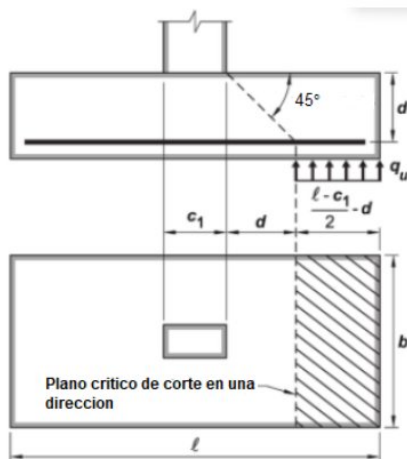
$$q_u = \frac{1237.11 \text{ kg}}{10,000 \text{ cm}^2}$$

$$q_u = 0.12 \text{ kg/cm}^2$$

6.4. Resistencia al corte en una dirección

Se toma en consideración la sección 22.5 del ACI 318-19, se muestra la siguiente figura donde se aprecia la geometría de una sección crítica de cortante en una dirección aplicada en la zapata aislada.

Figura VI.2: Sección crítica de cortante en una dirección en zapatas



Fuente: Figura 11.3a del ACI Reinforced Concrete Design Handbook, Vol.1.

6.4.1. Cortante último en una dirección

Para la determinación del cortante último se hace uso de la figura 11.3a del ACI Reinforced Concrete Design Handbook Vol.1 de la cual nace la siguiente expresión mostrada a continuación:

$$V_u = \left(\frac{L}{2} - \frac{c}{2} - d \right) b q_u$$

Ecuación VI.3: Cortante último en una dirección, Fuente: ACI 318-19 Design Handbook.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$V_u = \left(\frac{100 \text{ cm}}{2} - \frac{45 \text{ cm}}{2} - 22 \text{ cm} \right) (100 \text{ cm}) (0.12 \text{ kg/cm}^2)$$

$$V_u = 66 \text{ kg}$$

6.4.2. Resistencia al corte del concreto

Para la determinación de la resistencia al corte se utiliza la ecuación de la tabla 22.5.5.1b del ACI 318-19 mostrado a continuación:

$$V_c = \left(2.1 \lambda (\rho_w)^{1/3} \sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g} \right) b_w d$$

Ecuación VI.4: Resistencia al corte del concreto en una dirección, Fuente: ACI 318-19.

Donde:

$d = 22 \text{ cm}$ (Valor propuesto tomando en cuenta las dimensiones de la base)

$\rho_w = 0.0018$ (Sección 24.4.3.2 del ACI 318-19)

$N_u = P_u$

$\lambda = 1$ (Tabla 25.4.3.2 del ACI 318-19)

Por lo tanto, la resistencia al corte es la siguiente:

$$V_c = \left(2.1 \lambda (\rho_w)^{1/3} \sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g} \right) b_w d$$

$$V_c = \left(2.1(1)(0.0018)^{1/3} \sqrt{215 \text{ kg/cm}^2} + \frac{1237.11 \text{ kg}}{6(10,000 \text{ cm}^2)} \right) (100 \text{ cm})(22 \text{ cm})$$

$$V_c = 8,286 \text{ kg}$$

6.4.3. Comprobación del cortante en una dirección

$$\Phi V_c \geq V_u$$

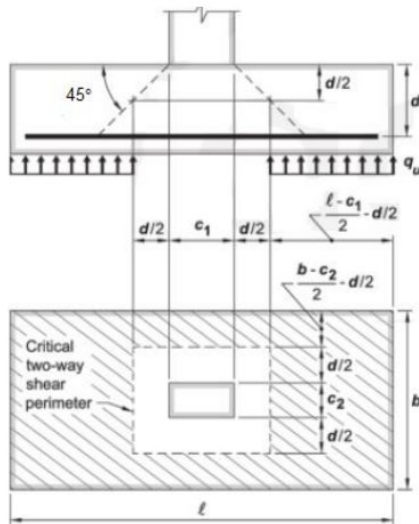
$$(0.75)(8,286 \text{ kg}) \geq (66 \text{ kg})$$

$$6,215 \text{ kg} > 66 \text{ kg} \therefore \text{Cumple}$$

6.5. Resistencia al corte en dos direcciones

Se muestra la siguiente figura donde se aprecia la geometría de una sección crítica de cortante en dos direcciones aplicada en la zapata aislada.

Figura VI.3: Sección crítica de cortante en dos direcciones en zapatas



Fuente: Figura 11.3b del ACI Reinforced Concrete Design Handbook, Vol.1.

Para la determinación del esfuerzo resistente al corte se realiza con las siguientes ecuaciones de la Tabla 22.6.5.2 del ACI 318-19 y una vez calculados se elige entre el menor de los valores calculados mostrados a continuación:

$$\text{El menor de los 3; } v_c \left\{ \begin{array}{l} 0.33 \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c} \\ 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c} \\ 0.083 \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_0} \right) \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c} \end{array} \right.$$

Ecuación VI.5: Esfuerzos resistente al corte, Fuente: ACI 318-19.

Donde:

6.5.1. Factor de modificación por efecto de tamaño

Para la determinación del factor se utiliza la ecuación de la sección 22.5.5.1.3 del ACI 318-19 mostrado a continuación:

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1+0.04d}} \leq 1$$

Ecuación VI.6: Factor de modificación por efecto de tamaño, Fuente: ACI 318-19.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1+0.04(22)}} \leq 1$$

$$\lambda_s = 1.03 \leq 1$$

$$\lambda_s = 1$$

6.5.2. Factor α_s

Se toma en cuenta que la columna es interior y por lo tanto el valor del factor a utilizar es el siguiente:

$$\alpha_s = 40 \text{ (Sección 22.6.5.3 del ACI 318-19)}$$

6.5.3. Perímetro de la sección crítica

Para el cálculo del perímetro crítico en la sección de la zapata se utiliza la figura 11.3b del inciso 6.5 de este documento obteniendo lo siguiente:

$$b_0 = 4(c + d)$$

Ecuación VI.7: Perímetro crítico a corte en dos direcciones, Fuente: ACI 318-19 Design Handbook.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$b_0 = 4(45 \text{ cm} + 22 \text{ cm})$$

$$b_0 = 268 \text{ cm}$$

6.5.4. Cortante último en 2 direcciones

Para la determinación del cortante último se hace uso de la figura 11.3b del ACI Reinforced Concrete Design Handbook Vol.1 de la cual nace la siguiente expresión mostrada a continuación:

$$V_u = [L^2 - (c + d)^2] q_u$$

Ecuación VI.8: Cortante último en dos direcciones, Fuente: ACI 318-19 Design Handbook.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$V_u = [(100 \text{ cm})^2 - (45 \text{ cm} + 22 \text{ cm})^2](0.12 \text{ kg/cm}^2)$$

$$V_u = 661 \text{ kg}$$

6.5.5. Esfuerzo resistente al corte del concreto en 2 direcciones

Una vez determinados los datos necesarios para el cálculo del esfuerzo resistente se procede a sustituir valores en las 3 ecuaciones a como se muestra a continuación:

$$a) v_c = 0.33 \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c}$$

$$v_c = 0.33(1)(1) \sqrt{215 \text{ kg/cm}^2}$$

$$v_c = 4.88 \text{ kg/cm}^2$$

$$b) v_c = 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c}$$

$$v_c = 0.17 \left(1 + \frac{2}{1}\right) (1)(1) \sqrt{215 \text{ kg/cm}^2}$$

$$v_c = 7.48 \text{ kg/cm}^2$$

$$c) v_c = 0.083 \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_0}\right) \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c}$$

$$v_c = 0.083 \left(2 + \frac{(40)(22 \text{ cm})}{268 \text{ cm}}\right) (1)(1) \sqrt{215 \text{ kg/cm}^2}$$

$$v_c = 6.43 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto, al comparar los valores obtenidos y tomando el de magnitud menor se tiene que el esfuerzo al corte es el siguiente: $v_c = 4.88 \text{ kg/cm}^2$

6.5.6. Resistencia al corte en 2 direcciones

En la sección 22.6.1.4 se define que el esfuerzo al cortante en 2 direcciones tiene que ser resistido por un área con altura d y un perímetro crítico por lo que esto se expresa de la siguiente manera:

$$V_c = v_c b_0 d$$

Ecuación VI.9: Resistencia al corte del concreto en dos direcciones, Fuente: ACI 318-19.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$V_c = (4.88 \text{ kg/cm}^2)(268 \text{ cm})(22 \text{ cm})$$

$$V_c = 28,773 \text{ kg}$$

6.5.7. Comprobación del cortante en dos direcciones

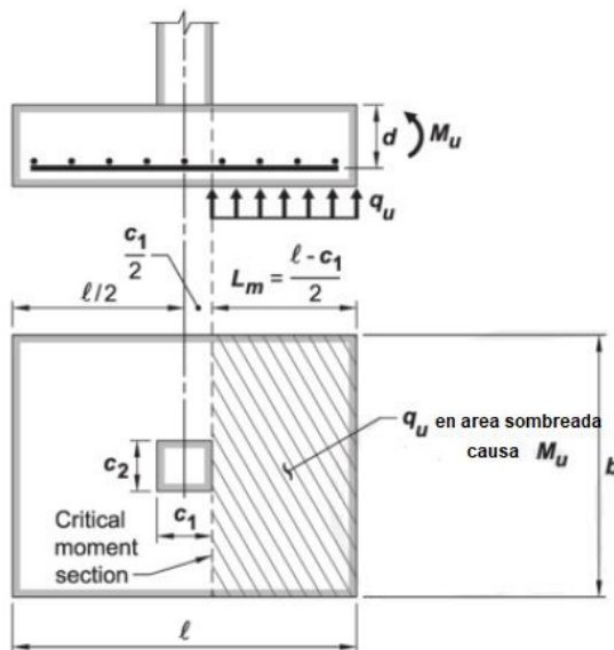
$$\Phi V_c \geq V_u$$

$$(0.75)(28,773 \text{ kg}) \geq (661 \text{ kg})$$

$$21,580 \text{ kg} > 66 \text{ kg} \therefore \text{Cumple}$$

6.6. Flexión en zapata

Figura VI.4: Sección crítica de momento en zapata aislada



Fuente: Figura 11.3d del ACI Reinforced Concrete Design Handbook, Vol.2.

6.6.1. Momento flexionante último critico

Para la determinación del momento flexionante último se hace uso de la figura 11.3d del ACI Reinforced Concrete Design Handbook Vol.1 de la cual nace la siguiente expresión mostrada a continuación:

$$M_u = \left(\frac{L - c}{2} \right)^2 \left(\frac{b}{2} \right) q_u$$

Ecuación VI.10: Momento flexionante último, Fuente: ACI 318-19 Design Handbook.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$M_u = \left(\frac{100 \text{ cm} - 45 \text{ cm}}{2} \right)^2 \left(\frac{100 \text{ cm}}{2} \right) (0.12 \text{ kg/cm}^2)$$

$$M_u = 4,538 \text{ kg.cm}$$

6.6.2. Momento nominal

Para la determinación del momento nominal se utiliza la ecuación de la sección 11.9.7 del ACI Reinforced Concrete Design Handbook Vol.1 mostrado a continuación:

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

Ecuación VI.11: Momento nominal, Fuente: ACI 318-19 Design Handbook.

Donde:

Al igualar la fuerza de compresión del hormigón con la fuerza de tensión del acero en la cara de la columna de la siguiente forma:

$$C = T \text{ (Sección 22.2.1.1. del ACI 318-19)}$$

Donde:

$$C = 0.85 f_c' b a$$

$$T = A_s f_y$$

Por lo tanto, al realizar la sustitución de las ecuaciones en la igualdad y despejando **a**, se tiene lo siguiente:

$$0.85f_c' b a = A_s f_y$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b}$$

6.6.3. Determinación del acero en base a la verificación por flexión

En la sección 10.5.1.1b del ACI 318-19 se tiene que para el diseño a flexión se debe cumplir lo siguiente:

$$\Phi M_n \geq M_u$$

En base a esa desigualdad se sustituye en la igualdad la ecuación de M_n y el valor de M_u y se obtiene lo siguiente:

$$\Phi A_s F_y \left(d - \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b} \right) = 4,538 \text{ kg.cm}$$

$$0.9 A_s (4200 \text{ kg/cm}^2) \left(22 \text{ cm} - \frac{A_s (4200 \text{ kg/cm}^2)}{0.85 (215 \text{ kg/cm}^2) (100 \text{ cm})} \right) = 4,538 \text{ kg.cm}$$

Resolviendo la ecuación para A_s se tiene lo siguiente:

$$A_s = 0.23 \text{ cm}^2$$

6.6.3.1. Verificación del acero mínimo a flexión

Para la verificación del acero mínimo necesitado en la zona de flexión se hace uso de las siguientes ecuaciones de la sección 9.6.1.2 del ACI 318-19 mostrado a continuación:

$$\text{El mayor de los 2; } A_{s,\min} \begin{cases} \frac{0.8\sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \\ \frac{14}{f_y} b_w d \end{cases}$$

Ecuación VI.12: Área de acero mínimo a flexión, Fuente: ACI 318-19.

Se realiza el cálculo de cada uno de la siguiente manera:

$$a) A_{s,min} = \frac{0.8\sqrt{f_c}}{f_y} b_w d$$

$$A_{s,min} = \frac{0.8\sqrt{215 \text{ kg/cm}^2}}{4200 \text{ kg/cm}^2} (100\text{cm})(22\text{cm})$$

$$A_{s,min} = 6.14 \text{ cm}^2$$

$$b) A_{s,min} = \frac{14}{f_y} b_w d$$

$$A_{s,min} = \frac{14}{(4200 \text{ kg/cm}^2)} (100\text{cm})(22\text{cm})$$

$$A_{s,min} = 7.33 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto, al comparar los valores obtenidos se toma el de magnitud mayor siendo este el siguiente:

$$A_{s,min} = 7.33 \text{ cm}^2$$

6.6.3.2. Acero a utilizar

Al comparar el acero obtenido mediante la igualdad de flexión y el acero mínimo se tiene lo siguiente:

$$A_s < A_{s,min}$$

$$0.23 \text{ cm}^2 < 7.33 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto, se utilizará un acero mayor al acero mínimo para cumplir con el requerimiento de resistencia. Donde se utilizarán varillas #4 que tiene un área de:

$$A_{varilla} = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,prop} = \text{Numero de varillas } A_{varilla}$$

$$A_{s,prop} = 6(1.27 \text{ cm}^2)$$

$$A_{s,prop} = 7.62 \text{ cm}^2$$

6.6.3.3. Verificación del acero a utilizar

Comparando ambos valores de área de acero se tiene que cumplir lo siguiente:

$$A_{s,prop} \geq A_{s,min}$$

$$7.62 \text{ cm}^2 \geq 7.33 \text{ cm}^2 \therefore \text{Cumple}$$

6.6.3.4. Espaciamiento entre varillas

$$s = \frac{L - 2 \text{ Recubrimiento}}{\#_{\text{varillas}} - 1}$$

$$s = \frac{100 \text{ cm} - 2(7.5 \text{ cm})}{6 - 1}$$

$$s = 17 \text{ cm}$$

6.6.4. Verificación por flexión

Retomando lo definido en la sección 6.6.3 de este documento se tiene lo siguiente:

$$\Phi M_n \geq M_u$$

De esta manera se realiza el cálculo del momento nominal de la siguiente manera:

$$\Phi M_n = 0.9 A_s (4200 \text{ kg/cm}^2) \left(22 \text{ cm} - \frac{\frac{A_s (4200 \text{ kg/cm}^2)}{0.85 (215 \text{ kg/cm}^2)} (100 \text{ cm})}{2} \right)$$

$$\Phi M_n = 0.9 (7.62 \text{ cm}^2) (4200 \text{ kg/cm}^2) \left(22 \text{ cm} - \frac{\frac{(7.62 \text{ cm}^2)(4200 \text{ kg/cm}^2)}{0.85 (215 \text{ kg/cm}^2)} (100 \text{ cm})}{2} \right)$$

$$\Phi M_n = 381,468.4 \text{ kg.cm}$$

De esta forma se tiene que:

$$\Phi M_n \geq M_u$$

$$381,468.4 \text{ kg.cm} > 4,538 \text{ kg.cm} \therefore \text{Cumple}$$

6.7. Longitud de desarrollo

Para la determinación de la longitud de desarrollo necesario se utiliza la ecuación definida en la sección 25.4.2 del ACI 318-19 a como se muestra a continuación:

$$l_d = \frac{f_y}{3.5\lambda\sqrt{f_c}} \frac{f_y \psi_t \psi_e \psi_g}{\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}} d_b$$

Ecuación VI.13: Longitud de desarrollo en zapata, Fuente: ACI 318-19.

Donde:

a) Factores de modificación

Donde todos los factores están dados en la tabla 25.4.2.5 del ACI 318-19 siendo estos los siguientes:

$$\psi_t = 1$$

$$\psi_e = 1$$

$$\psi_s = 0.8$$

$$\psi_g = 1$$

$$\lambda = 1$$

$$K_{tr} = 0$$

b) Factor C_b

Para la determinación de este factor se utiliza la ecuación dada en la sección R25.4.2.4 del ACI 318-19 a como se muestra a continuación:

$$c_b = \min \left(\left(\text{recubrimiento} + \frac{\phi b}{2} \right), \left(\frac{\text{separación entre barras}}{2} \right) \right)$$

$$c_b = \min \left(\left(7.5 \text{ cm} + \frac{1.27 \text{ cm}}{2} \right), \left(\frac{17 \text{ cm}}{2} \right) \right)$$

$$c_b = \min((8.14 \text{ cm}), (8.5 \text{ cm}))$$

$$c_b = 8.14 \text{ cm}$$

Por lo tanto, una vez determinados los factores necesarios se procede a realizar el cálculo de la longitud de desarrollo de la siguiente manera:

$$l_d = \frac{f_y}{3.5\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s \psi_g}{\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}} d_b$$

$$l_d = \left(\frac{4200 \text{ kg/cm}^2}{3.5(1)\sqrt{215 \text{ kg/cm}^2}} \frac{(1)(1)(0.8)(1)}{\frac{8.14 \text{ cm} + 0}{1.27 \text{ cm}}} \right) 1.27 \text{ cm}$$

$$l_d = 12.97 \text{ cm}$$

6.7.1. Longitud de desarrollo propuesto de la zapata

Este cálculo es el que se obtiene mediante la geometría de la zapata, es necesario determinar la longitud propuesta para verificar con la longitud de desarrollo determinada anteriormente.

$$l_{d,\text{propuesto}} = \left(\frac{L - b}{2} \right) - \text{Rec}$$

$$l_{d,\text{propuesto}} = \left(\frac{100 \text{ cm} - 45 \text{ cm}}{2} \right) - 7.5 \text{ cm}$$

$$l_{d,\text{propuesto}} = 20 \text{ cm}$$

6.7.2. Verificación de la longitud de desarrollo

Para la comprobación de la longitud de desarrollo propuesto en la zapata se debe de cumplir lo siguiente:

$$l_{d,\text{propuesto}} \geq l_d$$

$$20 \text{ cm} > 12.97 \text{ cm} \therefore \text{Cumple}$$

6.8. Diseño del pedestal

6.8.1. Determinación del acero

En la sección 10.6 del ACI 318-19 se dice que el área mínima debe ser al menos el 1% del área gruesa por lo tanto esto se expresa de la siguiente forma:

$$A_{s,\text{min}} = 1\% A_g$$

Ecuación VI.14: Área mínima de acero en pedestal, Fuente: ACI 318-19.

Donde:

$$A_g = b \cdot h$$

$$A_g = (45 \text{ cm}) (45 \text{ cm})$$

$$A_g = 2,025 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto, el área mínima de acero es el siguiente:

$$A_{s,\min} = 1\% A_g$$

$$A_{s,\min} = 0.01 (2,025 \text{ cm}^2)$$

$$A_{s,\min} = 20.25 \text{ cm}^2$$

6.8.2. Cantidad de varillas a utilizar

$$\#_{\text{varillas}} = \frac{A_{s,\min}}{A_{s,\text{varilla}}}$$

Proponiendo una varilla de refuerzo del número 6 donde el área es el siguiente:

$$A_{s,\text{varilla}} = 2.85 \text{ cm}^2$$

$$\#_{\text{varillas}} = \frac{20.25 \text{ cm}^2}{2.85 \text{ cm}^2}$$

$$\#_{\text{varillas}} = 7.1$$

$$\#_{\text{varillas}} \cong 8 \text{ varillas}$$

6.8.3. Área de Refuerzo de acero propuesto

$$A_{s,\text{propuesto}} = \#_{\text{varillas}} \cdot A_{s,\text{varilla}}$$

$$A_{s,\text{propuesto}} = (8)(2.85 \text{ cm}^2)$$

$$A_{s,\text{propuesto}} = 22.8 \text{ cm}^2$$

6.8.4. Cuantía del acero propuesto

$$\rho_{\text{propuesto}} = \frac{A_{s,\text{propuesto}}}{A_g}$$

$$\rho_{\text{propuesto}} = \frac{22.8 \text{ cm}^2}{2,025 \text{ cm}^2}$$

$$\rho_{\text{propuesto}} = 0.011$$

6.8.5. Resistencia nominal axial con excentricidad igual a cero

Para la determinación de la resistencia nominal se utiliza la ecuación definida en la sección 22.4.2.2 del ACI 318-19 siendo esta la siguiente:

$$P_0 = 0.85 f_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

Ecuación VI.15: Resistencia nominal axial con excentricidad cero, Fuente: ACI 318-19.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$P_0 = 0.85 (215 \text{ kg/cm}^2)(2,025 \text{ cm}^2 - 22.8 \text{ cm}^2) + (4200 \text{ kg/cm})(22.8 \text{ cm}^2)$$

$$P_0 = 461,662 \text{ kg}$$

6.8.6. Resistencia nominal a la compresión máxima

Para la determinación de la resistencia nominal a la compresión máxima se utiliza la ecuación definida en la sección 22.4.2.1 del ACI 318-19 siendo esta la siguiente:

$$P_{n,max} = 0.8P_0$$

Ecuación VI.16: Resistencia nominal a la compresión máxima, Fuente: ACI 318-19.

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$P_{n,max} = 0.8(461,662 \text{ kg})$$

$$P_{n,max} = 369,330 \text{ kg}$$

6.8.7. Resistencia nominal a la compresión

Para la determinación de la resistencia nominal a la compresión se utiliza la ecuación definida en la sección 22.4.2 del ACI 318-19 siendo esta la siguiente:

$$\Phi P_n = \Phi 0.8P_0$$

Ecuación VI.17: Resistencia nominal a la compresión, Fuente: ACI 318-19

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$\Phi P_n = (0.65)(0.8)(461,662 \text{ kg})$$

$$\Phi P_n = 240,064.24 \text{ kg}$$

6.8.8. Comprobación de la resistencia a compresión

Se define en la sección 10.5.1.1a del ACI 318-19 que para que el elemento resista se debe cumplir lo siguiente:

$$\Phi P_n \geq P_u$$

$$240,064.24 \text{ kg} \geq 1,237.11 \text{ kg}$$

6.8.9. Transferencia de fuerza de columna a la base

Las fuerzas mayoradas de la columna se transfieren a la zapata al apoyarse en el concreto y mediante el refuerzo esto definido en la sección 22.8.2.1 del ACI 318-19 para el cual se determinará la resistencia nominal al aplastamiento.

6.8.9.1. Resistencia nominal al aplastamiento

Para la determinación de la resistencia al aplastamiento se utiliza las ecuaciones de la tabla 22.8.3.2 del ACI 318-19, se calcularán 2 valores y se van a comparar para así tomar el de menor magnitud como valor de diseño, a como se muestra continuación:

$$\text{El menor de los 2; } B_n \begin{cases} \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} (0.85 f'_c A_1) \\ 2(0.85 f'_c A_1) \end{cases}$$

Ecuación VI.18: Resistencia nominal al aplastamiento, Fuente: ACI 318-19.

Donde:

a) Verificación del área de apoyo con respecto al área cargada

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2 \text{ (Sección R22.8.3.2 del ACI 318-19)}$$

$$\sqrt{\frac{(100 \text{ cm})(100 \text{ cm})}{(45 \text{ cm})(45 \text{ cm})}} \leq 2$$

$2.22 > 2 \therefore$ No cumple

Por lo tanto, la ecuación a utilizarse para la determinación de la resistencia al aplastamiento será la segunda, siendo esta la siguiente:

$$B_n = 2(0.85 f'_c A_1)$$

$$B_n = 2(0.85 (215\text{kg/cm}^2)(45\text{ cm})(45\text{ cm}))$$

$$B_n = 740,138\text{ kg}$$

6.8.9.2. Verificación de la Resistencia al aplastamiento

Se define en la sección 22.8.3.1 del ACI 318-19 que la resistencia de diseño debe cumplir con:

$$\Phi B_n \geq B_u$$

Comparando los valores se tiene lo siguiente:

$$0.65(740,138\text{ kg}) \geq 1,237.11\text{ kg}$$

$$481,090\text{ kg} > 1,237.11\text{ kg} \therefore \text{Cumple}$$

6.8.10. Longitud de desarrollo para las varillas a compresión

Se determinará la longitud de desarrollo para el pedestal haciendo uso de las siguientes ecuaciones definidas en la sección 25.4.9.1 del ACI 318-19 donde se tomará el valor de mayor magnitud a como se muestra a continuación:

$$\text{El mayor de los 2; } l_{dc} \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{0.075 f_y \Psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \\ (0.0044 f_y \Psi_r) d_b \end{array} \right.$$

Ecuación VI.19: Longitud de desarrollo a compresión, Fuente: ACI 318-19

Donde todos los factores están dados en la tabla 25.4.9.3 del ACI 318-19 siendo estos los siguientes:

a) Factores de modificación

$$\Psi_r = 0.75$$

$$\lambda = 1$$

Realizando los 2 cálculos de la longitud de desarrollo se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{i) } l_{dc} &= \left(\frac{0.075 f_y \Psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \\ l_{dc} &= \left(\frac{0.075(4200 \text{ kg/cm}^2)(0.75)}{(1) \sqrt{215 \text{ kg/cm}^2}} \right) (1.91 \text{ cm}) \\ l_{dc} &= 30.78 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ii) } l_{dc} &= (0.0044 f_y \Psi_r) d_b \\ l_{dc} &= (0.0044(4200 \text{ kg/cm}^2)(0.75))(1.91 \text{ cm}) \\ l_{dc} &= 26.47 \text{ cm} \end{aligned}$$

Una vez calculados los valores se procede a comparar y tomar el mayor por lo tanto, la longitud de desarrollo de la varilla a compresión en el pedestal es la siguiente:

$$l_{dc} = 30.78 \text{ cm}$$

Conclusiones

Una vez finalizado el diseño de la casa de madera para el centro turístico pinar del río hemos llegado a las siguientes conclusiones:

Se realizó el análisis estructural haciendo uso de nuestra Norma Nacional de Construcción (RNC-07), al realizar el análisis de las condiciones de regularidad se obtuvo que la estructura es regular, por lo que se carece de discontinuidades significativas horizontales y verticales debido a las cargas laterales, por lo que se ha cumplido con los requerimientos necesarios antes las acciones de carga de diseño aplicadas. Para el análisis por sismo se ha utilizado el método estático equivalente para la determinación de la fuerza sísmica lateral y así se determinó el periodo fundamental de vibración de la estructura que fue de 0.21 segundos, y así realizar la verificación de los desplazamientos y del efecto p-delta cumpliendo con los requisitos por colapso y efecto p-delta (efecto de segundo orden).

Se realizó el diseño de los elementos estructurales de madera mediante las disposiciones de la National Design Specification 2018 (NDS 2018) haciendo uso del método de resistencia obteniendo que: los clavadores de techo con dimensiones de 4" x 2", el marco resistente conformados por la cercha de techo estas con dimensiones de 10cm x 5cm, las columnas con dimensiones de 15cm x 15 cm y las vigas de 20cm x 15cm, los elementos cumplieron con los requerimientos de resistencia (Esfuerzos a flexión, a cortante y a compresión) producto de las combinaciones de cargas más críticas a la que está expuesta la estructura.

Se realizó el diseño de las conexiones mecánicas de los elementos de madera mediante las disposiciones de la National Design Specification 2018 (NDS 2018), se han tomado los elementos estructurales de madera mencionados anteriormente, utilizando pernos de 1/2" con placas de acero de 1/4" de espesor en ambas caras de los elementos haciendo efecto de doble cortante, comprobando así que las conexiones cumplen con la fuerza a la que está sometido los

elementos conectados y la resistencia lateral que ejercen las conexiones. Asimismo, se ha hecho el procedimiento de comprobación de la placa base de acero la cual tiene un espesor de $3/8"$ que conecta la columna de madera con el pedestal de la cimentación mediante pernos de $1"$, haciendo uso de la norma AISC 360-16 y ACI 318-19 para la comprobación de las resistencias al anclaje de los pernos de concreto al pedestal, cumpliendo con el espesor de placa propuesto y todos requerimientos de resistencias debido a los pernos de anclaje ante las acciones de cargas del elemento principal.

Se realizó el diseño de la cimentación, la cual está conformada por una zapata aislada cuadrada con dimensiones de $100\text{ cm} \times 100\text{ cm}$ y un pedestal de $45\text{ cm} \times 45\text{ cm}$, determinando así el acero necesario para la armadura completa de la estructura que conforma la zapata, de esta manera comprobando que el elemento cumple con la resistencia necesaria al estar expuesto por las combinaciones de cargas, todo esto haciendo uso de la norma ACI 318-19.

Recomendaciones

Se proponen las siguientes recomendaciones para así tratar de obtener resultados con la mayor satisfacción posible:

La realización de un análisis de la lámina de techo ante las presiones de viento para así tener un comportamiento más real de los clavadores de techo, de esta manera se puede comprobar el espaciamiento mínimo requerido de los elementos, cuando el factor económico es uno de los puntos principales a conseguir en la construcción de la vivienda.

Es importante conocer los datos reales sobre el sitio del proyecto, en este caso el tipo de suelo para su debido análisis y de esta manera lograr determinar un valor más aproximado de la resistencia que esta aporta para la realización del diseño de las cimentaciones.

Promover el estudio de las estructuras de madera como una de las materias importantes en la carrera de ingeniería Civil, así como lo pueden ser los 2 principales materiales que son los más estudiados y seleccionados. Para obtener esto se hace uso de la norma NDS 2018, así como el manual y su complemento. La selección de las piezas de madera en buen estado mediante un análisis visual, al igual que la preservación de las mismas ante cualquier amenaza que puede afectar los elementos, esto se debe realizar antes de la construcción para así cumplir con un tiempo de vida útil satisfactoria de la estructura.

Bibliografía

American Concrete Institute (2019). Requisitos de Reglamento para concreto estructural (ACI 318-19).

American Concrete Institute (2021). Reinforced Concrete Design Handbook Vol.2 ,10th ed.

American Institute of Steel Construction (2006). Steel Design Guide, Base plate and Anchor Rod Design 2nd ed.

American Institute of Steel Construction (2011). Steel Construction Manual, 14th ed.

American Institute of Steel Construction (2016). Specification for Structural Steel Buildings (AISC 360-16).

American Wood Council (2018). Manual for Engineered Wood Construction.

American Wood Council (2018). National Design Specification for Wood Construction (NDS 2018).

American Wood Council (2018). National Design Specification Supplement: Design Values for Wood construction.

Arriaga, F. & Iñiguez, G. Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera.

García, J. (2021). Estructuras en madera, nociones básicas.

Harmsen, Teodoro. (2002). Diseño de Estructuras de Concreto Armado, 3^a ed.

Ministerio de transporte e infraestructura (MTI). (2007). Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07). Managua, Nicaragua.

Ortega Garcia, J. E. (2016). Diseño de estructuras de concreto armado.

Sequeira, A., Gutiérrez, F. (2017). Diseño estructural de una nave industrial en madera para el taller-escuela del programa institucional de la madera (PIMA), UNI-RUPAP 2015. Managua, Nicaragua.

Suirez, T. & Berger, G. (2009). Descripciones de las propiedades Físicas y mecánicas de la madera, 1ª ed.

Vásquez, D., Olivas, R., & Solís, G. (2008). Diseño de una edificación de madera por el método de resistencia ultima. Managua, Nicaragua.

ANEXOS

ANEXO A. National Design Specification for Wood Construction

A.1. Reglamento NDS 2018 (National Design Specification)

Para el diseño de estructuras de madera mediante el método de resistencia última (LRFD) esta norma National Design Specification 2018 (NDS 2018) contiene las disposiciones necesarias que son aplicables al diseño en madera, por lo cual se estará utilizando y aplicando todo lo que se dispone en los apartados de dicha norma, esto para los elementos estructurales y conexiones de madera. En este capítulo se estará mostrando extractos de cada sección de la norma a aplicar en el diseño, los cuales serán traducidos.

A.2. Diseño de estructuras de madera por la NDS 2018

El manual fue desarrollado con la intención de cubrir todas las aplicaciones estructurales de los productos a base de madera y sus conexiones que cumplan con los requisitos de los estándares referenciados. El manual nos brinda las herramientas necesarias para el diseño de cada elemento que conformaría la estructura, dividida por secciones o capítulos las cuales nos brinda las herramientas necesarias para realizar cálculos referentes al diseño estructural en madera.

A.3. Procedimientos de diseño¹

Esta Especificación proporciona los requisitos para el diseño de productos de madera especificados en este documento por los siguientes métodos:

- Diseño de tensión admisible (ASD)
- Diseño de factor de carga y resistencia (LRFD)

Del cual el método a utilizar para este diseño será por el factor de carga y resistencia (LRFD)

¹ Sección 1.4 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018)

A.4. Valores de diseño para miembros estructurales de madera

A.4.1. Requisito general²

Cada miembro estructural de madera o conexión deberá ser de suficiente tamaño y capacidad para transportar las cargas sin exceder los valores de diseño ajustados aquí especificado.

A.4.2. Responsabilidad de ajustar para Condiciones de uso³

Los valores de diseño ajustados para elementos y conexiones de madera en usos con finales particulares, será apropiado para las condiciones en que se utilizaran la madera teniendo en cuenta todas las condiciones posibles, tales como las diferencias de propiedades de resistencia de la madera con diferentes contenidos de humedad, duración de la carga y tipos de tratamiento. Común las condiciones de uso final se abordan en esta Especificación. Eso será responsabilidad final del diseñador relacionar suposiciones de diseño con valores de diseño, y para hacer los ajustes de valor de diseño apropiados para el uso final.

A.5. Ajuste de los Valores de Diseño de Referencia

A.5.1. Aplicabilidad de los Factores de Ajuste⁴

Los valores de diseño de referencia se deben multiplicar por todos factores de ajuste aplicables para determinar el diseño ajustado valores.

La aplicabilidad de los factores de ajuste a madera aserrada, madera laminada encolada estructural, postes y pilotes, viguetas prefabricadas de madera, compuesto estructural madera aserrada, paneles estructurales de madera, contra laminados la madera y los valores de diseño de la conexión se definen en 4.3, 5.3, 6.3, 7.3, 8.3, 9.3, 10.3 y 11.3, respectivamente.

² Sección 2.1.1 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

³ Sección 2.1.2 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

⁴ Sección 2.3.1 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

A.6. Disposiciones y ecuaciones de diseño⁵

El capítulo 3 establece las disposiciones generales de diseño que se aplican a todos los elementos estructurales de madera y a las conexiones cubiertos por esta especificación. Cada miembro estructural de madera miembro estructural de madera o conexión deberá tener el tamaño y la capacidad para soportar las cargas aplicadas sin exceder los valores de diseño ajustados especificados en este documento. Los valores de diseño de referencia y disposiciones de diseño aplicables a productos particulares de madera y conexiones son dados en otros capítulos de esta especificación.

A.7. Elementos sometidos a flexión⁶

A.7.1. Resistencia a la flexión⁷

El esfuerzo o momento de flexión real no debe exceder el valor de diseño de flexión ajustado.

A.7.2. Ecuaciones de diseño a flexión⁸

El esfuerzo de flexión real inducido por un momento de flexión, M , se calcula de la siguiente manera:

$$f_b = \frac{M_c}{I} = \frac{M}{S}$$

Para un miembro rectangular sometido a la flexión con base, b , y espesor, d , esto se convierte en:

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{6M}{bd^2}$$

Para un miembro rectangular sometido a la flexión con eje neutro perpendicular a la profundidad en el centro:

⁵ Sección 3 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

⁶ Sección 3.3 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

⁷ Sección 3.3.1 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

⁸ Sección 3.3.2 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

$$I = \frac{bd^3}{12} = \text{Momento de Inercia}$$

$$S = \frac{I}{C} = \frac{bd^2}{6} = \text{Modulo de sección}$$

A.7.3. Chequeo por flexión⁹

La ecuación básica para la verificación a momento en el diseño de miembros a flexión es:

$$M' \geq M$$

Donde:

M' = Capacidad de momento ajustada.

M = Momento de flexión.

A.7.3.1. Capacidad de momento ajustado

$$M' = F_b' S$$

Donde:

F_b' = Valor de flexión de diseño ajustado

S = Modulo de sección.

A.7.4. Factor de Estabilidad de Viga (C_L)¹⁰

1) Cuando el peralte no excede la base ($d \leq b$), no se requiere soporte lateral y C_L=1.

2) Cuando los miembros rectangulares de madera aserrada sometidos a flexión son lateralmente soportados como se indica en la sección 4.4.1 del NDS/05, C_L=1.

3) Cuando la cara de compresión de un miembro flexionado está soportada en toda su longitud para prevenir desplazamiento lateral, y el extremo de aplastamiento tiene soporte lateral para prevenir la rotación, C_L=1.

⁹ Sección M.3.3 de Manual for Engineered Wood Construction 2018 (Manual NDS 2018).

¹⁰ Sección 3.3.3 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018)

4) Cuando el peralte de un miembro flexionado excede su base ($d > b$), el soporte puede hacerse en los puntos de aplastamiento para evitar la rotación y/o el desplazamiento lateral en esos puntos. Cuando existe tal soporte en los puntos de aplastamiento, pero no existe soporte lateral adicional en toda su longitud, la longitud sin soportar (l_u), es la distancia entre tales puntos extremos de aplastamiento o longitud de un voladizo. Cuando un miembro sometido a flexión tiene soporte lateral para prevenir desplazamiento rotacional y/o laterales los puntos intermedios, así como en los extremos, la longitud sin soporte (l_u) es la distancia entre tales puntos de soporte intermedios.

5) La longitud de separación efectiva (l_e) para un solo claro o los miembros de flexión en voladizo se determinarán de acuerdo con la Tabla 3.3.3.

6) La relación de esbeltez, R_B , para flexión miembros se calculará de la siguiente manera:

$$R_B = \sqrt{\frac{l_e d}{b^2}}$$

7) La relación de esbeltez de los miembros a flexión, R_B , no excederá de 50.

8) El factor de estabilidad de la viga se calculará como se muestra a continuación:

$$C_L = \frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} \right]^2 - \frac{F_{bE}/F_b^*}{0.95}}$$

Donde:

F_b^* = valor de diseño de flexión de referencia multiplicado por todos los factores de ajuste aplicables excepto C_{fu} , C_V (cuando $C_V \leq 1.0$), y C_L (ver 2.3), psi.

$$F_{bE} = \frac{1.20 E_{min}'}{R_B^2}$$

9) Consulte el Apéndice D para obtener información básica relativa a los cálculos de estabilidad de la viga y Apéndice F para información sobre el coeficiente de variación en módulo de elasticidad (COVE).

10) Miembros sujetos a flexión sobre ambos ejes principales (flexión biaxial) deben diseñarse en de acuerdo con 3.9.2.

A.8. Elementos sometidos a cortante

A.8.1. Resistencia a cortante paralela a la fibra (corte horizontal)¹¹

El esfuerzo cortante real paralelo al grano o fuerza cortante en cualquier sección transversal del miembro de flexión no deberá exceder el valor de diseño de cortante ajustado. A Comprobación de la resistencia de los elementos de flexión de madera en no se requiere corte perpendicular al grano.

A.8.2. Ecuaciones de diseño a cortante¹²

El esfuerzo cortante real paralelo al grano inducido en una madera aserrada se calculará de la siguiente manera:

$$f_v = \frac{VQ}{Ib}$$

Para un miembro rectangular sometido a una fuerza cortante, de base b y espesor d, esto se convierte en:

$$f_v = \frac{3V}{2bd}$$

A.8.3. Chequeo por cortante¹³

La ecuación básica para la verificación a cortante en el diseño de miembros a flexión es:

$$\phi V' \geq V$$

¹¹ Sección 3.4.1 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

¹² Sección 3.4.2 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

¹³ Sección M.3.4 de Manual for Engineered Wood Construction 2018 (Manual NDS 2018).

Donde:

V' = Capacidad Cortante ajustada paralela al grano.

V = Fuerza cortante.

A.8.3.1. Capacidad del cortante ajustado

$$V' = \frac{2}{3} F_v' A$$

Donde:

F_v' = Valor de cortante de diseño ajustado

A = Área

A.9. Elementos sometidos a deflexión¹⁴

Si la deflexión es un factor en el diseño, esta debe de ser calculada por los métodos estándar de la mecánica de materiales considerando deflexiones por momento y, cuando sea aplicable, deflexiones por cortante. La consideración de las deflexiones por cortante es requerida cuando el módulo de elasticidad de referencia no ha sido ajustado para incluir los efectos de la deflexión por cortante.

A.10. Elementos sometidos a compresión¹⁵

Para propósitos de estas especificaciones, el término “columna” se refiere a cualquier tipo de miembro sometido a compresión, incluidos los miembros que forman parte de cerchas u otros componentes estructurales.

A.10.1. Clasificación de columnas¹⁶

-Columna simple de madera. La columna simple de madera consiste en una pieza simple o de piezas correctamente encoladas para formar un solo miembro.

-Columnas espaciadas, unidas por un conector. Las columnas espaciadas están formadas por dos o más miembros individuales con sus ejes longitudinales paralelos, separados en los extremos y en los puntos medios de su longitud por

¹⁴ Sección 3.5.1 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

¹⁵ Sección 3.6.1 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

¹⁶ Sección 3.6.2 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018)

medio de bloques y unidos en los extremos por anillos partidos o conectores de placas cortantes capaces de desarrollar la resistencia al cortante requerida.

A.10.2. Resistencia a la compresión paralela al grano¹⁷

El esfuerzo o fuerza actuante paralela al grano no debe de exceder el valor ajustado de la compresión de diseño. El cálculo de f_c deberá basarse en la sección del área neta donde la sección reducida ocurre en la parte crítica de la longitud de la columna que está potencialmente sujeta al pandeo. Cuando la sección reducida no ocurre en la parte crítica de la longitud de la columna que está potencialmente sujeta al pandeo, los cálculos de f_c deberán de estar basados en la sección del área gruesa. Además, cuando f_c esté basado en la sección del área neta no deberá exceder el valor de la compresión de diseño paralela al grano multiplicada por todos los factores de ajuste aplicables, excepto el factor de estabilidad de la columna C_p .

A.10.3 Columnas solidas

A.10.3.1. Factor de estabilidad de la columna C_p ¹⁸

-Cuando un miembro a compresión esta arriostrada en toda su longitud para prevenir los desplazamientos laterales en todas direcciones, $C_p = 1$.

-La longitud efectiva de la columna, ℓ_e , para columnas solidas debe de ser determinada de acuerdo a los principios de la mecánica de materiales.

Un método para determinar la longitud efectiva de la columna, cuando las condiciones de apoyo son conocidas, es multiplicar la longitud total de la columna por el factor de longitud efectiva apropiado.

-Para columnas solidas con sección transversal rectangular, la relación de esbeltez, ℓ_e/d , debe de ser tomada como la mayor entre ℓ_e/d_1 y ℓ_e/d_2 (ver figura 3F) donde cada relación ha sido ajustada por el coeficiente longitudinal de pandeo, K_c .

¹⁷ Sección 3.6.3 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

¹⁸ Sección 3.7.1 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

-La relación de esbeltez para columnas sólidas, ℓ_e/d , no deberá de exceder el valor de 50, excepto que durante la construcción no deberá exceder de 75.

-El valor del coeficiente de estabilidad de la columna deberá de ser calculado como:

$$C_p = \frac{1 + \left(\frac{F_{CE}}{F_C^*} \right)}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \left(\frac{F_{CE}}{F_C^*} \right)}{2c} \right]^2 - \frac{F_{CE}}{F_C^*} \frac{1}{c}}$$

Donde:

F_C^* = Es el valor de diseño a compresión paralela al grano de referencia, multiplicado por todos los valores de ajustes aplicables, excepto C_p .

F_{CE} = Esfuerzo a compresión, considerando la elasticidad y la esbeltez

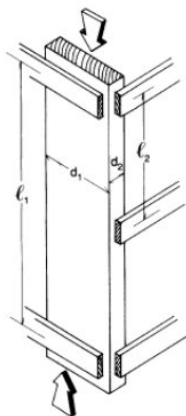
$$F_{CE} = \frac{0.822 E_{min}'}{\left(\ell_e/d \right)^2}$$

$c = 0.8$ para madera aserrada

$c = 0.85$ para postes y pilotes de madera en rollo

$c = 0.9$ para madera laminada encolada estructural, madera compuesta estructural y madera contra laminada.

Figura A.1: Columna simple



Fuente: Figura 3F, Sección 3.6 de NDS 2018

A.10.4. Verificación o chequeo de un elemento a compresión¹⁹

La ecuación básica para la verificación en el diseño de miembros de compresión es:

$$P' \geq P$$

Donde:

P' = Capacidad a Compresión ajustada paralela al grano.

P = Fuerza a compresión.

A.10.4.1. Capacidad de Compresión ajustada

La capacidad de compresión ajustada es:

$$P' = F_c' A$$

Donde:

F_c' = Compresión paralela al grano ajustada

A = Área

A.11. Miembros sometidos a tensión

A.11.1. Tensión paralela a las fibras²⁰

El esfuerzo de tensión real o la fuerza paralela al grano se basará en el área de la sección neta y no deberá exceder el valor de diseño de tensión ajustado.

A.11.2. Tensión perpendicular al grano²¹

Diseños que inducen esfuerzo de tensión perpendicular a el grano debe evitarse siempre que sea posible. Cuando los esfuerzos de tensión perpendiculares al grano no pueden ser evitados, el refuerzo mecánico suficiente para resistir todos los esfuerzos debe de ser considerado.

¹⁹ Sección M.3.6 de Manual for Engineered Wood Construction 2018 (Manual NDS 2018).

²⁰ Sección 3.8.1 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

²¹ Sección 3.8.2 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

A.11.3. Flexión y tensión axial combinada²²

Elementos sometidos a una combinación de flexión y la tensión axial (ver Figura 3G) deben ser proporcionadas de modo que:

$$\frac{f_t}{F_t'} + \frac{f_b}{F_b^*} \leq 1.0$$

Y

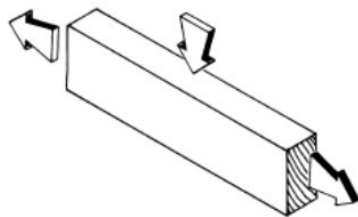
$$\frac{f_b - f_t}{F_b^{**}} \leq 1.0$$

Donde:

F_b^* = Valor de referencia del diseño a la flexión multiplicado por todos los factores de ajuste aplicables, excepto el factor C_L .

F_b^{**} = Valor de referencia del diseño a la flexión multiplicado por todos los factores de ajuste aplicables, excepto el factor C_V .

Figura A.2: Flexión y Tensión axial combinada



Fuente: Figura 3G, Sección 3.9 de la NDS 2018

A.12. Flexión y Compresión axial²³

Miembros sometidos a una combinación de flexión en uno o ambos ejes principales y a compresión axial (ver figura 3H), deberán de proporcionarse de tal forma que:

²² Sección 3.9.1 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

²³ Sección 3.9.2 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018)

$$\left(\frac{f_c}{F_{cE1}}\right)^2 + \frac{f_{b1}}{F_{b1}'(1 - (f_c/F_{cE1}))} + \frac{f_{b2}}{F_{b1}'(1 - (f_c/F_{cE2}) - (f_{b1}/F_{bE})^2)} \leq 1.0$$

Y

$$\frac{f_c}{F_{cE2}} + \left(\frac{f_{b1}}{F_{bE}}\right)^2 < 1.0$$

Donde:

Para flexión uniaxial o biaxial de canto:

$$f_c < F_{cE1} = \frac{0.822 E_{min}'}{(l_{e1}/d_1)^2}$$

Y

Para flexión uniaxial o biaxial en la cara de mayor dimensión

$$f_c < F_{cE2} = \frac{0.822 E_{min}'}{(l_{e2}/d_2)^2}$$

Para flexión biaxial:

$$f_{b1} < F_{bE} = \frac{1.2 E_{min}'}{(R_B)^2} :$$

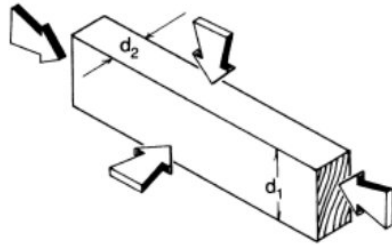
F_{b1} = Esfuerzo a la tensión actuante en la cara de menor dimensión del miembro
(carga flexionante aplicada a la cara estrecha del miembro)

F_{b2} = Esfuerzo a la tensión actuante en la cara de mayor dimensión del miembro
(carga flexionante aplicada a la cara ancha del miembro)

d_1 = Cara estrecha del miembro (ver figura 3H)

d_2 = Cara ancha del miembro (ver figura 3H)

Figura A.2: Flexión y compresión axial combinada



Fuente: Figura 3H, Sección 3.9 de NDS 2018

A.13. Conexiones mecánicas²⁴

En el capítulo 11 se aplica a la ingeniería de diseño de conexiones compuestas mediante pernos, tirafondos, anillo abierto, conectores de placa de corte, pernos de deriva, clavijas, remaches para madera, espiga, rejillas u otros sujetadores en la madera aserrada, madera laminada encolada, postes de madera, pilotes de madera, miembros estructurales compuestos, viguetas prefabricadas de madera, y paneles estructurales de madera.

A.13.1. Fabricación de conexiones²⁵

Los valores de cálculo lateral de referencia para las uniones de los capítulos 12, 14 y 14 se basan en:

- a) La suposición de que las caras de los elementos están en contacto cuando se instalan los elementos de fijación, y
- b) La previsión de la contracción de los elementos debido a las variaciones estacionales del contenido de humedad.

A.13.2. Ajuste de los valores de diseño de referencia²⁶

Los valores de diseño de referencia (Z , W , W_H) se multiplicará por todos los factores de ajuste aplicables para determinar los valores de diseño ajustados (Z' , W' , W_H'). La tabla 11.3.1 especifica los factores de ajuste que se aplican a los

²⁴ Sección 11.1 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

²⁵ Sección 11.1.5 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

²⁶ Sección 11.3.1 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

valores de cálculo laterales de referencia (Z) y a los valores de cálculo de retracción de referencia (W) para cada tipo de tornillo, y los valores de cálculo de tracción de la cabeza del tornillo de referencia (W_H) para los tornillos con cabeza redonda. La carga real aplicada a una conexión no deberá superar el valor de diseño ajustado (Z' , W' , W_H') para la conexión.

A.13.3. Valores de diseño lateral de referencia²⁷

A.13.3.1. Ecuaciones del límite de fluencia²⁸

Los valores de cálculo lateral de referencia Z , para uniones a cortante simple y a cortante doble simétrico que utilicen elementos de fijación tipo pasador, serán el valor mínimo calculado del límite de fluencia utilizando las ecuaciones de las tablas 12.3.1A y 12.3.1B (véanse las figuras 12B, 12C y del apéndice I) donde:

- a) Las caras de los miembros conectados están en contacto;
- b) La carga actúa perpendicularmente al eje de la espiga;
- c) Las distancias a los bordes, a los extremos y el espaciado se ajustan a los requisitos de 12.5; y
- d) Para tirafondos, tornillos para madera y clavos y puntas, la longitud de penetración del tornillo, p , en el elemento principal de una conexión a cortante simple o en el elemento lateral de una conexión a cortante doble es mayor o igual que p_{min} (véase 12.1).

A.13.3.2. Condiciones comunes de conexión²⁹

Se calculan para condiciones de conexión comunes de acuerdo con las ecuaciones de límite elástico de las Tablas 12.3.1A y 12.3.1B. Los valores de cálculo lateral de referencia tabulados, Z , se multiplicarán por las notas a pie de página aplicables de la Tabla para determinar un valor de cálculo lateral ajustado, Z' .

Tabla A.1: Ecuaciones del límite de fluencia

Modo de fluencia	Cortante simple	Cortante doble
------------------	-----------------	----------------

²⁷ Sección 12.3 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

²⁸ Sección 12.3.1 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018).

²⁹ Sección 12.3.2 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018)

I_m	$Z = \frac{D I_m F_{em}}{R_d}$	$Z = \frac{D I_m F_{em}}{R_d}$
I_s	$Z = \frac{D I_s F_{es}}{R_d}$	$Z = \frac{2 D I_s F_{es}}{R_d}$
II	$Z = \frac{k_1 D I_s F_{em}}{R_d}$	No aplica
III _m	$Z = \frac{k_2 D I_m F_{em}}{(1+2R_e) R_d}$	No aplica
III _s	$Z = \frac{k_3 D I_s F_{em}}{(2+R_e) R_d}$	$Z = \frac{2k_s D I_s F_{em}}{(2+R_e) R_d}$
IV	$Z = \frac{D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3(1+R_e)}}$	$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1+R_e)}}$

Fuente: Tabla 12.3.1A, Sección 12.3 de NDS 2018.

Donde:

D= Diámetro del pasador, in.

F_{yb} = Límite de fluencia del pasador, psi.

R_d = Termino de reducción (ver tabla 12.3.1B de NDS 2018).

$R_e = F_{em}/F_{es}$

$R_t = I_m/I_s$

I_m = Longitud de aplastamiento del miembro principal, in.

I_s = Longitud de aplastamiento del miembro lateral, in.

F_{em} = Resistencia al aplastamiento del miembro principal, psi (ver tabla 12.3.3 de NDS 2018).

F_{es} = Resistencia al aplastamiento del miembro principal, psi (ver tabla 12.3.3 de NDS 2018).

Y

$$k_1 = \frac{\sqrt{R_e + 2R_e^2 (1 + R_t + R_t^2) + R_t^2 R_e^3 - R_e (1 + R_t)}}{(1 + R_e)}$$

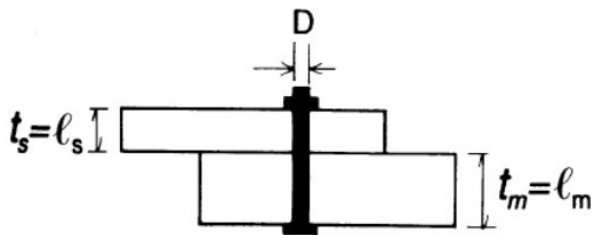
$$k_2 = -1 + \sqrt{2(1 + R_e) + \frac{2F_{yb}(1 + 2R_e)D^2}{3F_{em}l_m^2}}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + 2R_e)D^2}{3F_{em}l_s^2}}$$

A.13.3.3. Límite de fluencia del pasador³⁰

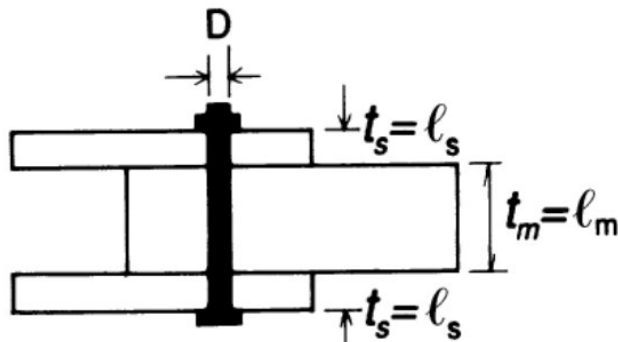
Los valores de diseño lateral de referencia, Z, para pernos, tirafondos, tornillos para madera y clavos se basan en los límites elásticos de fluencia, F_{yb} , proporcionados en las Tablas 12A a 12T.

Figura A.3: Conexiones atornilladas a cortante simple



Fuente: Figura 12B, Sección 12.3 de NDS 2018.

Figura A.4: Conexiones atornilladas a doble cortante



Fuente: Figura 12C, Sección 12.3 de NDS 2018.

A.13.3.4. Diámetro del pasador³¹

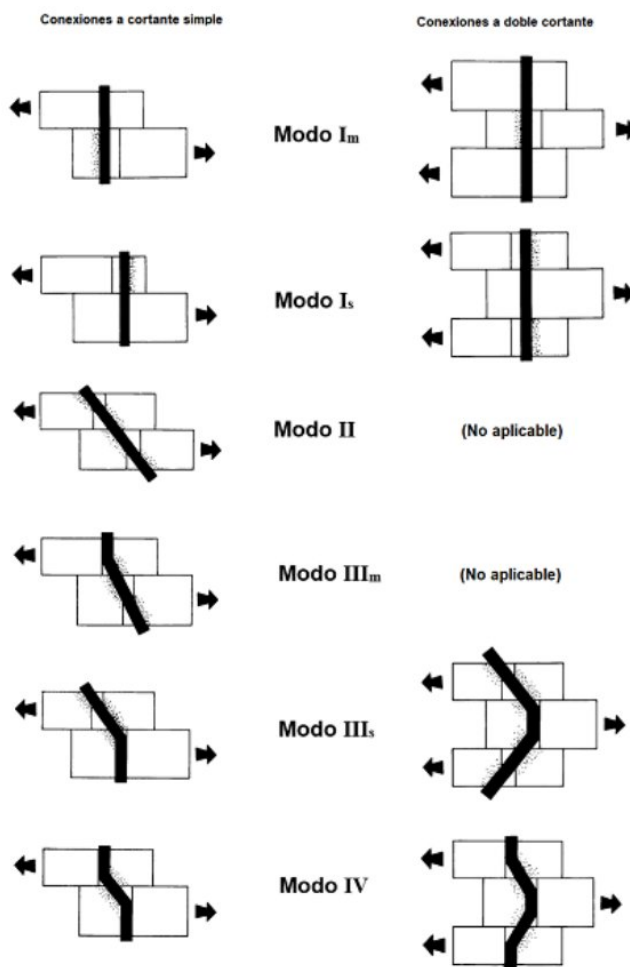
³⁰

³¹ Sección 12.3.7 de National Design Specification for Wood Construction 2018 (NDS 2018)

Cuando se utilice las Tablas 12.3.1A y 12.3.1B, el diámetro del sujetador debe tomarse como:

- a) D para clavos de vástago liso y clavos de vástago deformado de acuerdo con ASTM F1667
- b) D para sujetadores de diámetro de cuerpo completo sin rosca, y
- c) D_r para sujetadores de diámetro de cuerpo reducido o sujetadores de rosca, excepto lo dispuesto en 12.3.7.2

Figura A.5: Modos lites de fluencia en conexiones mecánicas

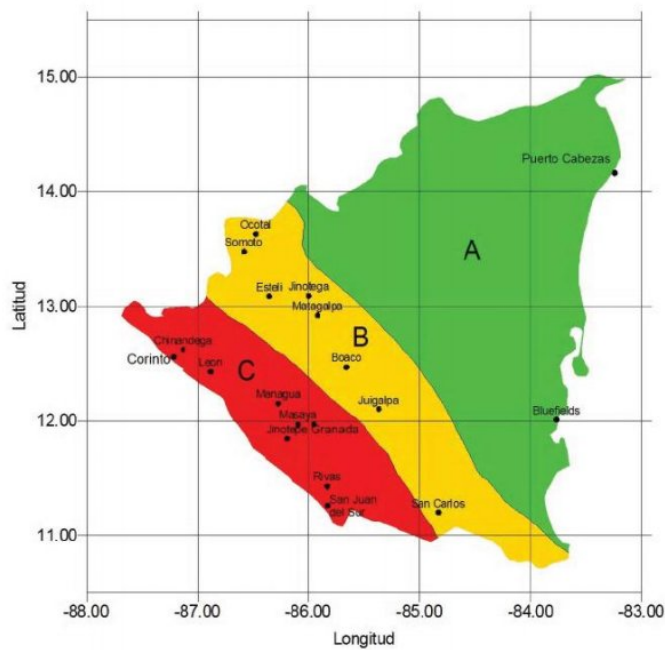


Fuente: Figura I1, Apéndice I.1 de NDS

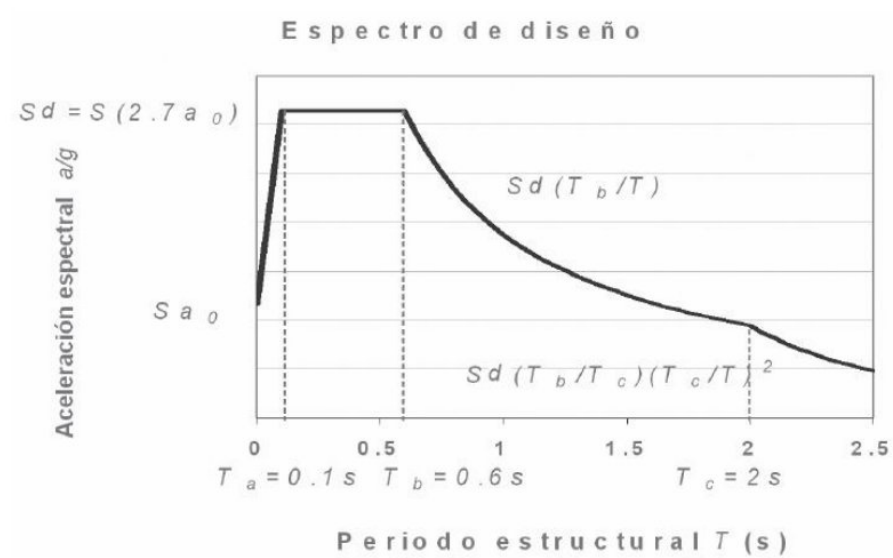
2018

ANEXO B. Tablas y figuras consultadas

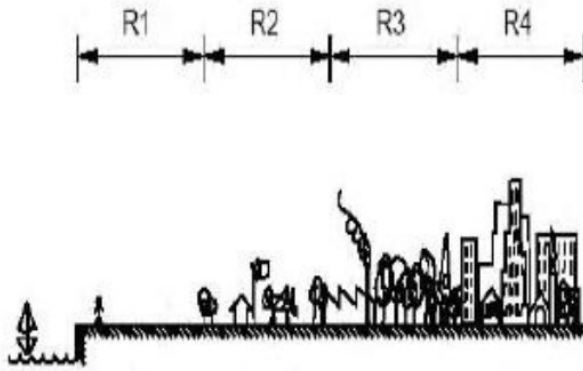
B1. Figura 2: Zonificación sísmica de Nicaragua (RNC-07)



B.2. Figura 3: Espectro de diseño (RNC-07)



B.3. Figura 6: Rugosidad del terreno (RNC-07)



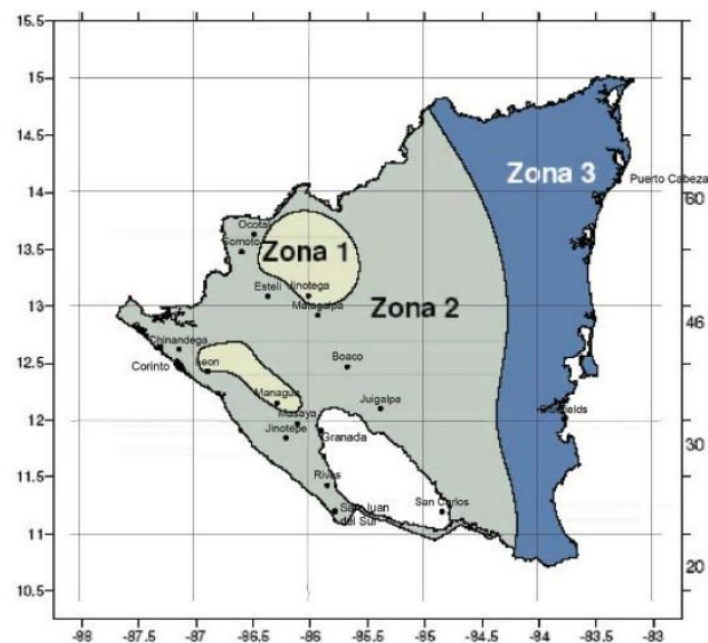
B.4. Tabla 5: Velocidades regionales, V_R , según la importancia de la construcción y la zonificación eólica, m/s (RNC-07)

	Importancia de la construcción	
	Periodo de retorno	
Zona	50	200
1	30	36
2	45	60
3	56	70

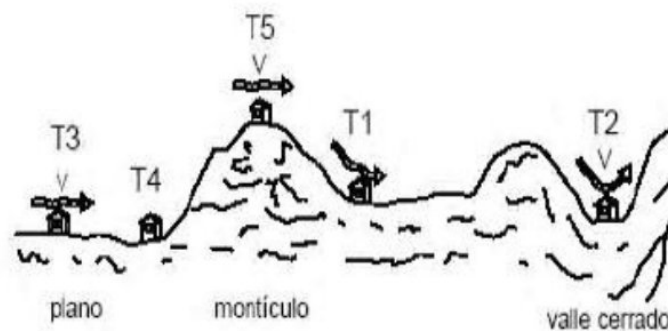
B.5. Tabla 6: Rugosidad del terreno, α y $\bar{d}$ (RNC-07)

Tipos de terreno (Figura)	α	$\bar{d}$, m
R1 Escasas o nulas obstrucciones al flujo de viento, como en campo abierto	0.099	245
R2 Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones	0.128	315
R3 Zona típica urbana y suburbana. El sitio está rodeado predominantemente por construcciones de mediana y baja altura o por áreas arboladas y no se cumplen las condiciones del Tipo R4	0.156	390
R4 Zona de gran densidad de edificios altos. Por lo menos la mitad de las edificaciones que se encuentran en un radio de 500 m alrededor de la estructura en estudio tiene altura superior a 20 m	0.17	455

B.6. Figura 7: Zonificación eólica de Nicaragua para análisis por viento (RNC-07)



B.7. Figura 8: Formas topográficas locales (RNC-07)



B.8. Tabla 8: Coeficientes C_p para construcciones cerradas (RNC-07)

	C_p
Pared de barlovento	0.8
Pared de sotavento*	-0.4
Paredes laterales	-0.8
Techos planos	-0.8
Techos inclinados, lado de sotavento	-0.7
Techos inclinados, lado de barlovento**	$-0.8 < 0.04\theta < 1.6 < 1.8$
Techos curvos	véase Tabla

B.9. Tabla 12.1: Cargas de trabajo de diferentes tipos de suelo (Harmsen, Teodoro. Diseño de Estructuras de Concreto Armado)

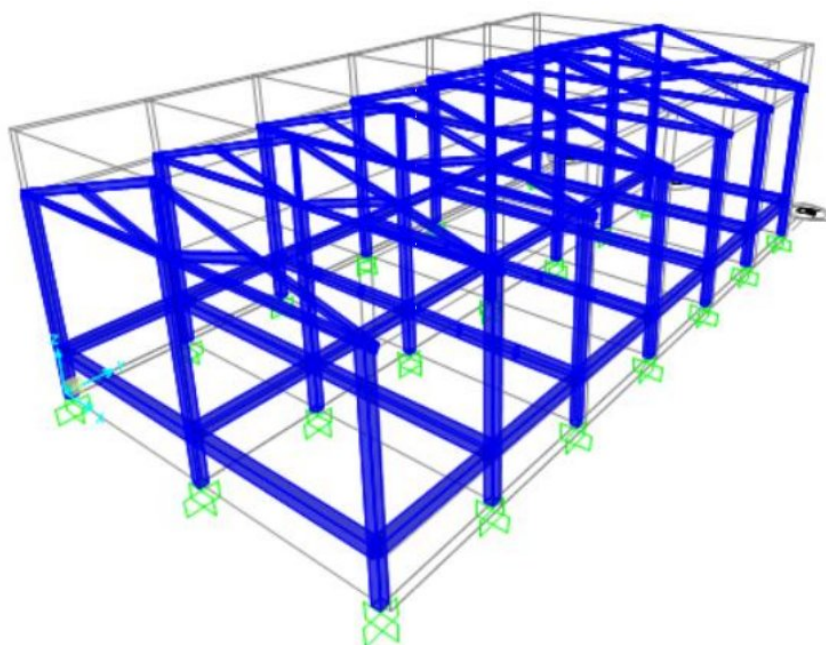
Tipo de suelo	q_s (kg/cm ²)
1. Rocas macizas: granito, diorita, gneis.	100
2. Rocas laminadas: esquistos, pizarra.	40
3. Roca sedimentarias: caliza, arenisca.	15
4. Cascajo, gravas o gravas arenosas (GW ó GP)	
Compactas	5
Medianamente compactas (Lima)	4
Seltas	3
5. Arenas o arenas con grava bien graduadas (SW)	
Compactas	3.75
Medianamente compactas	3
Seltas	2.25
6. Arenas o arenas con grava mal graduada (SP)	
Compactas	3
Medianamente compactas	2.50
Seltas	1.75
7. Gravassienosas o grava-arena-sieno (GM)	
Compactas	2.50
Medianamente compactas	2
Seltas	1.50
8. Arenas sienosas o arena-sieno (SM)	2
9. Gravassarcillosas o arenas arcillosas (GC-SC)	2
10. Suelos inorgánicos, sienos, arenas finas (ML-CL)	1
11. Arcillas inorgánicas plásticas, arenas diatomáceas, sienos elásticos (CH-MH)	1

B.10. Tabla 7: Factor F_{TR} (Factor de topografía y rugosidad del terreno, RNC-07)

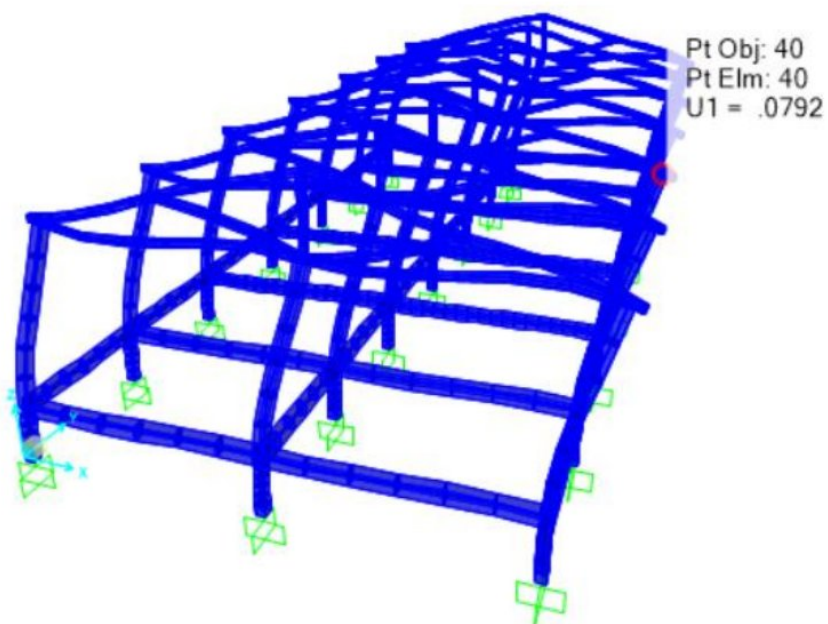
Tipos de Topografía (Figura)	Rugosidad de terrenos en alrededores		
	Terreno tipo R2	Terreno tipo R3	Terreno tipo R4
T1 Base protegida de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento	0.8	0.7	0.66
T2 Valles cerrados	0.9	0.79	0.74
T3 Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5 % (normal)	1	0.88	0.82
T4 Terrenos inclinados con pendientes entre 5 y 10 %	1.1	0.97	0.9
T5 Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores de 10 %, cañadas o valles cerrados	1.2	1.06	0.98

ANEXO C. Modelado de la estructura en SAP2000

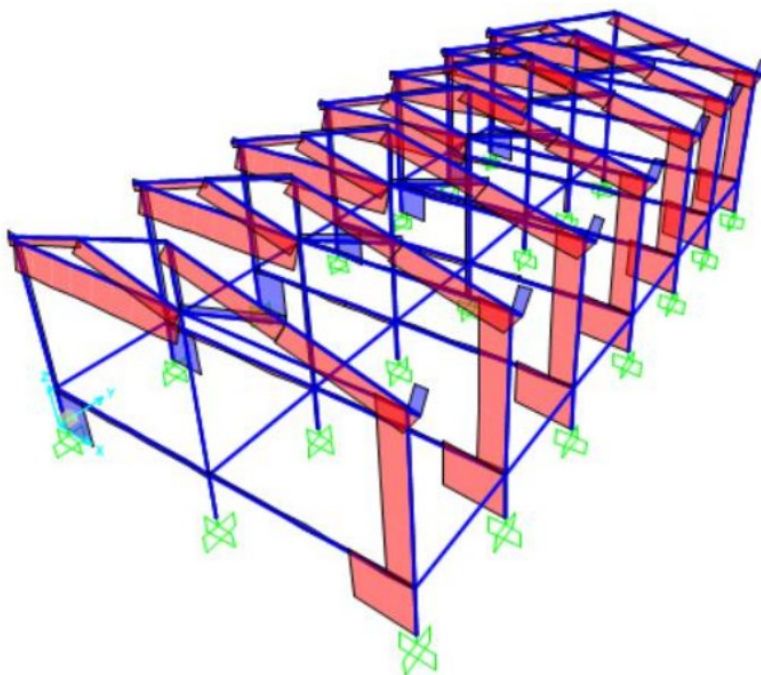
C.1. Ilustración 1: Vista tridimensional de modelado (SAP2000)



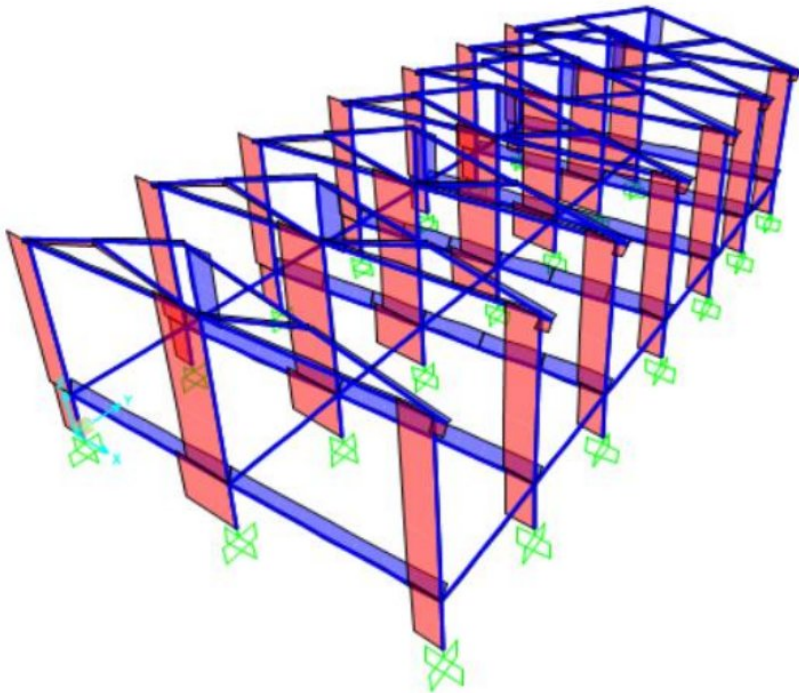
C.2. Ilustración 2: Desplazamiento lateral debido a la carga de sismo (SAP2000)



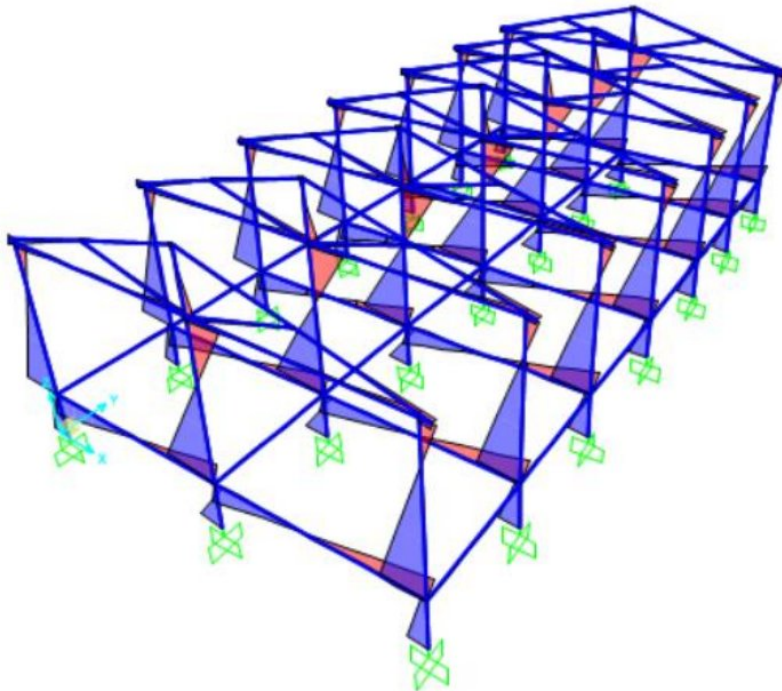
C.3. Ilustración 3: Diagrama de esfuerzos axiales en la estructura debido a la combinación de cargas más crítica (SAP2000)



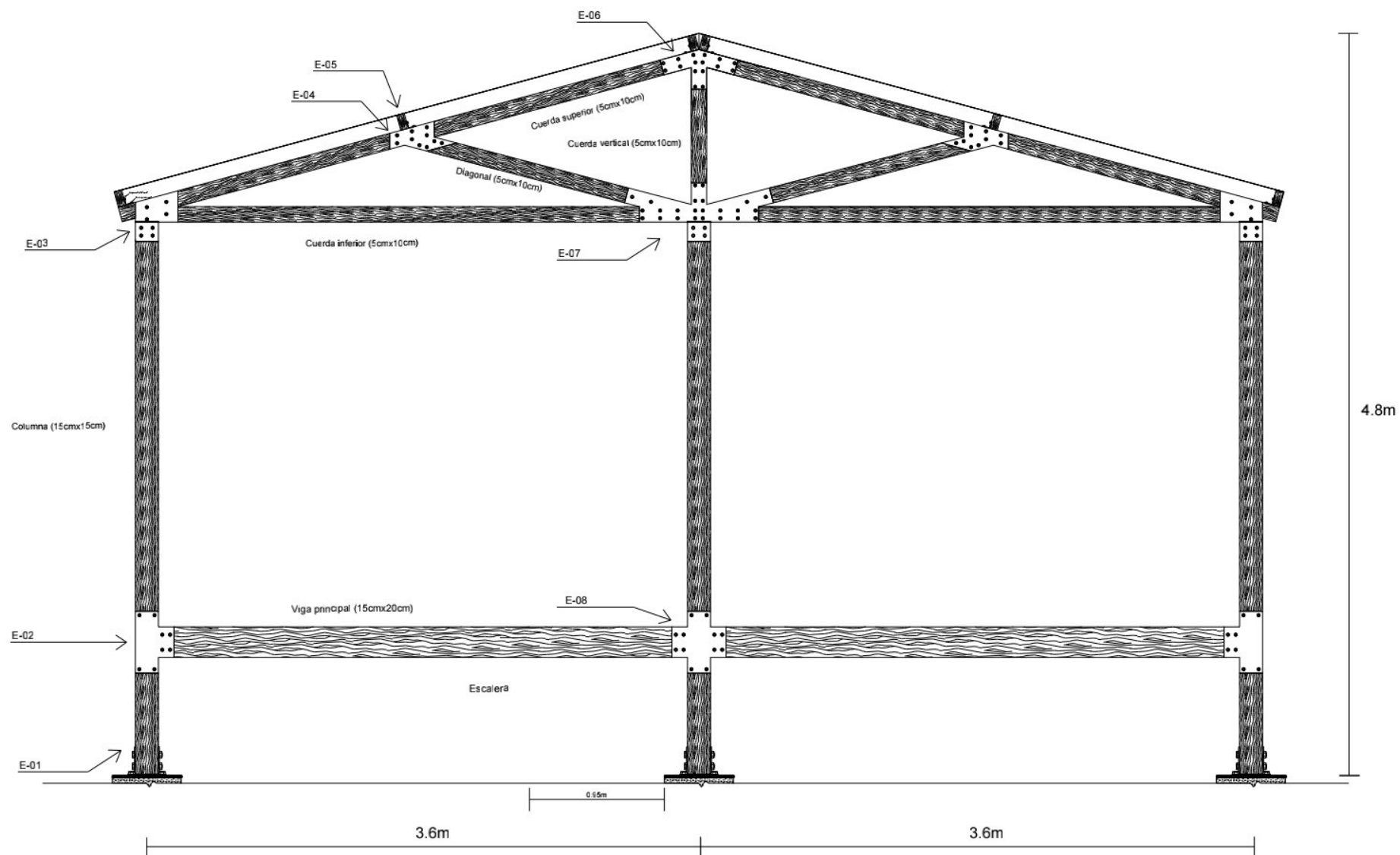
C.4. Ilustración 4: Diagrama de esfuerzos cortantes en la estructura debido a la combinación de cargas más críticas (SAP2000)



C.5. Ilustración 5: Diagrama de momento flexionante en la estructura debido a la combinación de cargas más críticas (SAP2000)



ANEXO D. Planos estructurales



Diseño estructural de casa de madera
en el centro turístico Pinar del río
Dipilto, Nueva Segovia

Elevación estructural
vista frontal

Fecha:
Octubre 2023

Escala:

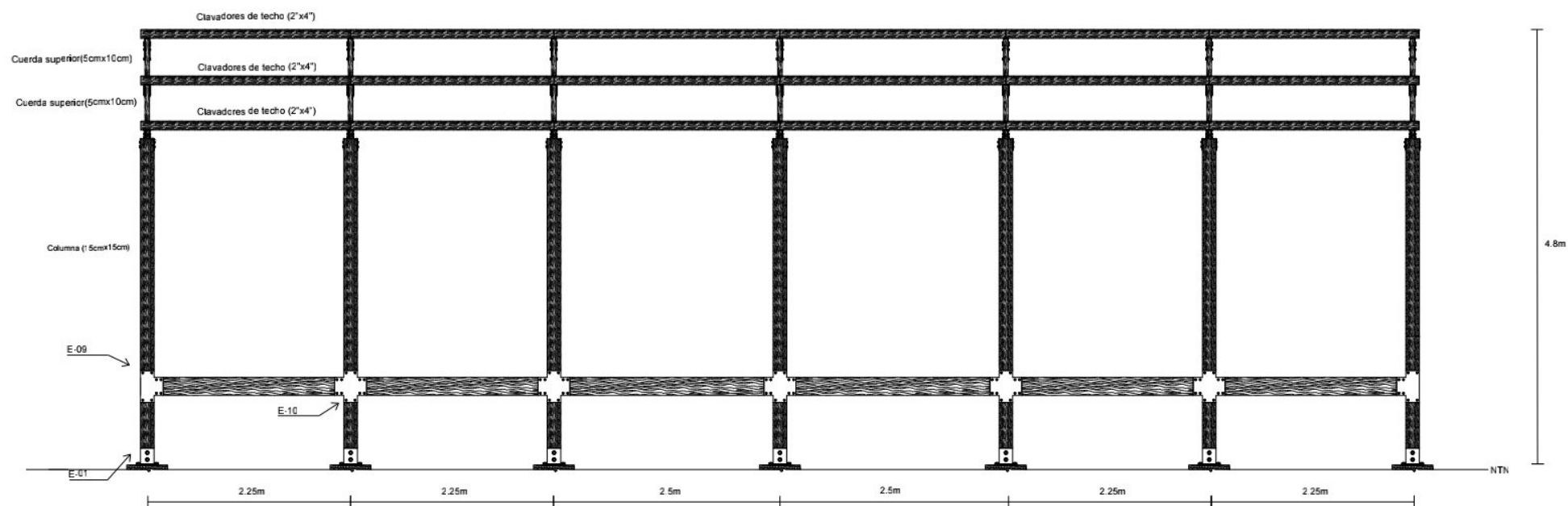
1:75

Autor:

Br. Jorge Chacon

Lamina:

ES-01



Diseño estructural de casa de madera
en el centro turístico Pinar del río
Dipilto, Nueva Segovia

Elevación estructural
vista lateral

Fecha:
Octubre 2023

Escala:

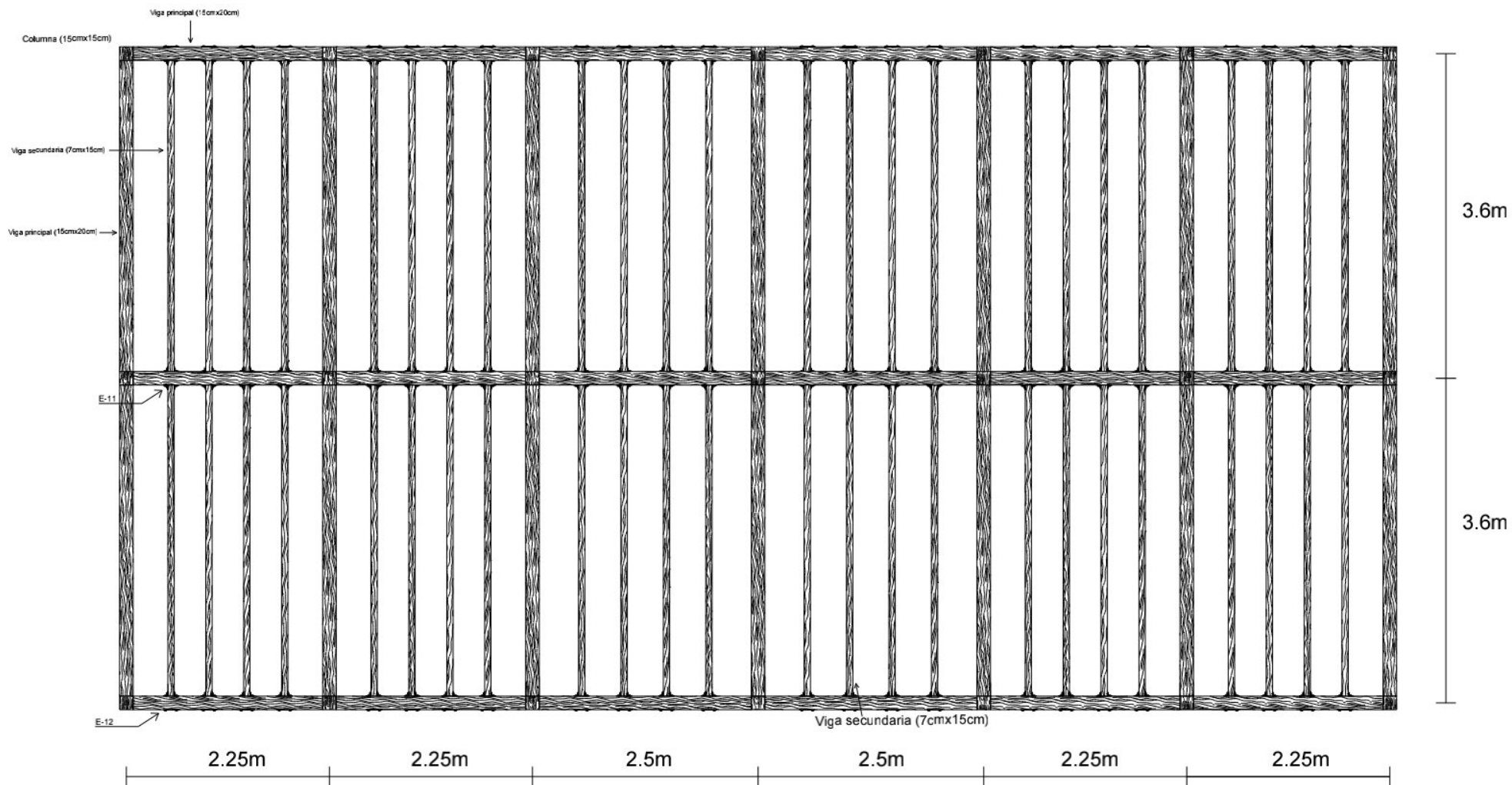
1:75

Autor:

Br. Jorge Chacon

Lamina:

ES-02



Diseño estructural de casa de madera
en el centro turístico Pinar del río
Dipilto, Nueva Segovia

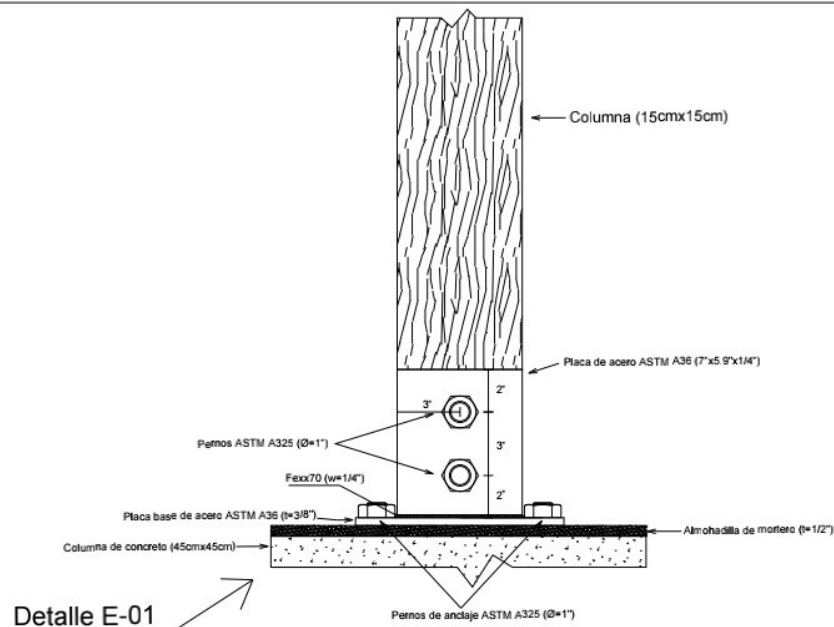
Planta estructural de
vigas de piso

Fecha:
Octubre 2023

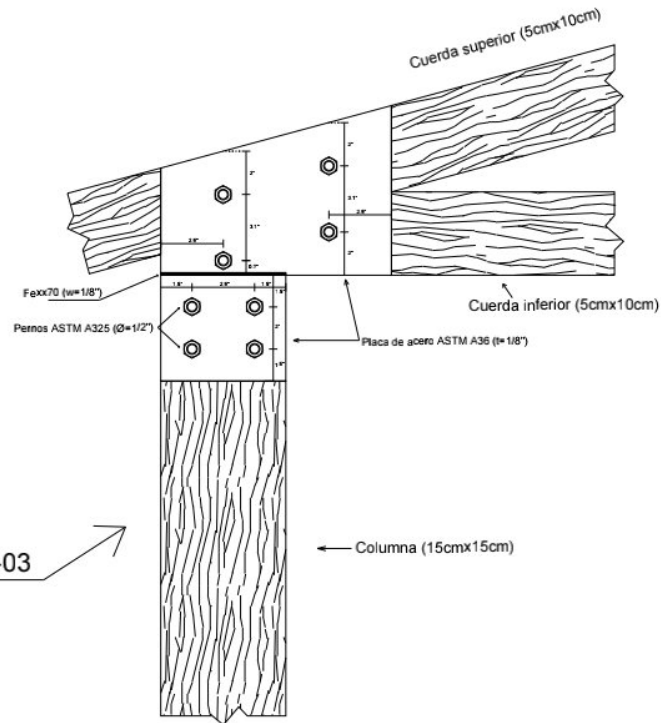
Escala:
1:15

Autor:
Br. Jorge Chacon

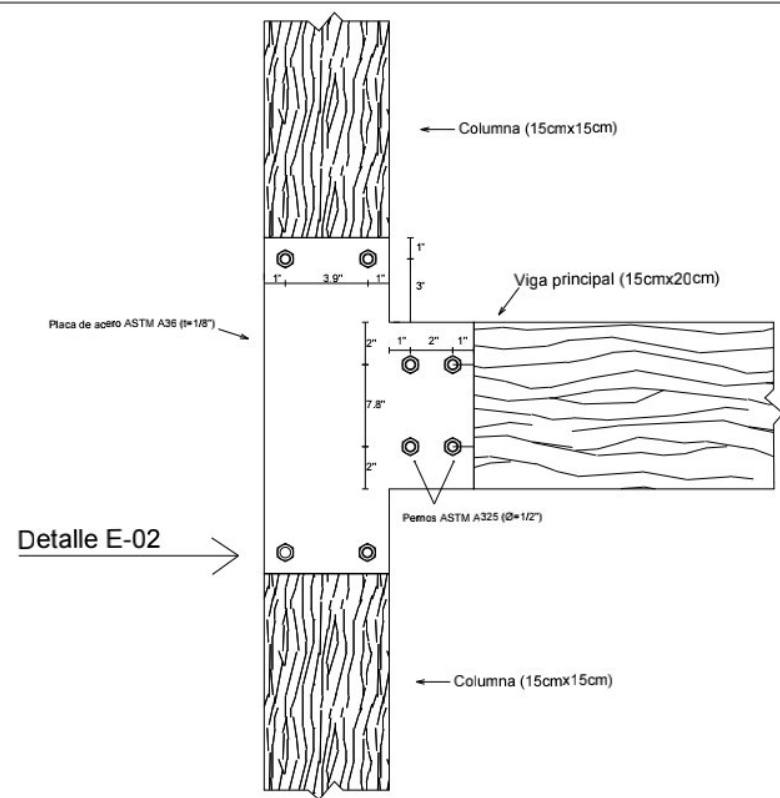
Lamina:
ES-03



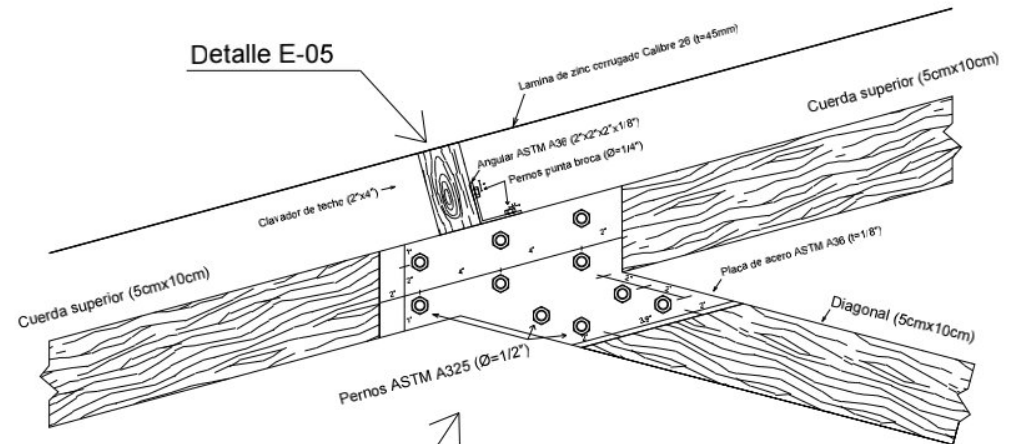
Detalle E-01



Detalle E-03



Detalle E-02



Detalle E-04

Detalle E-05



Diseño estructural de casa de madera
en el centro turístico Pinar del río
Dipilto, Nueva Segovia

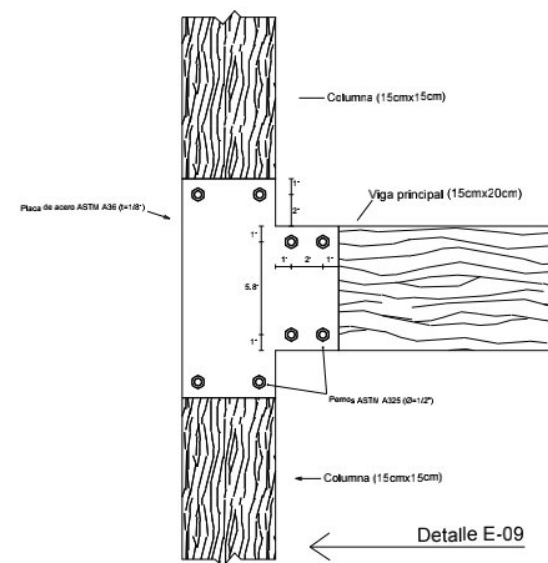
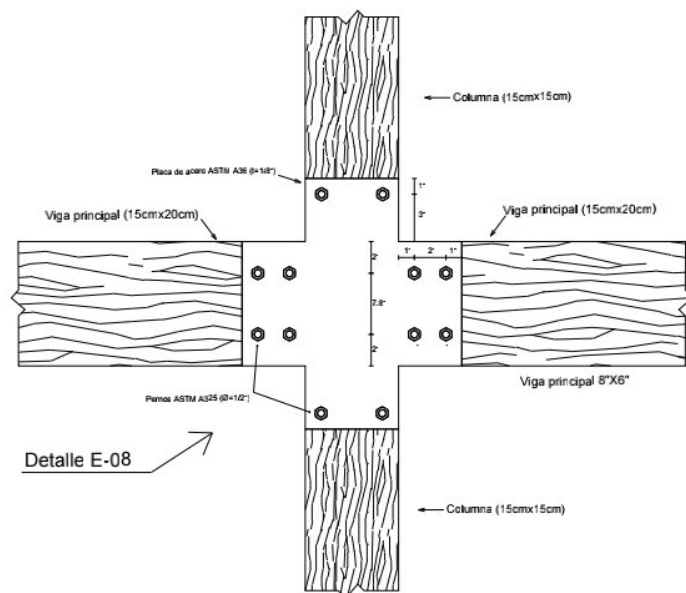
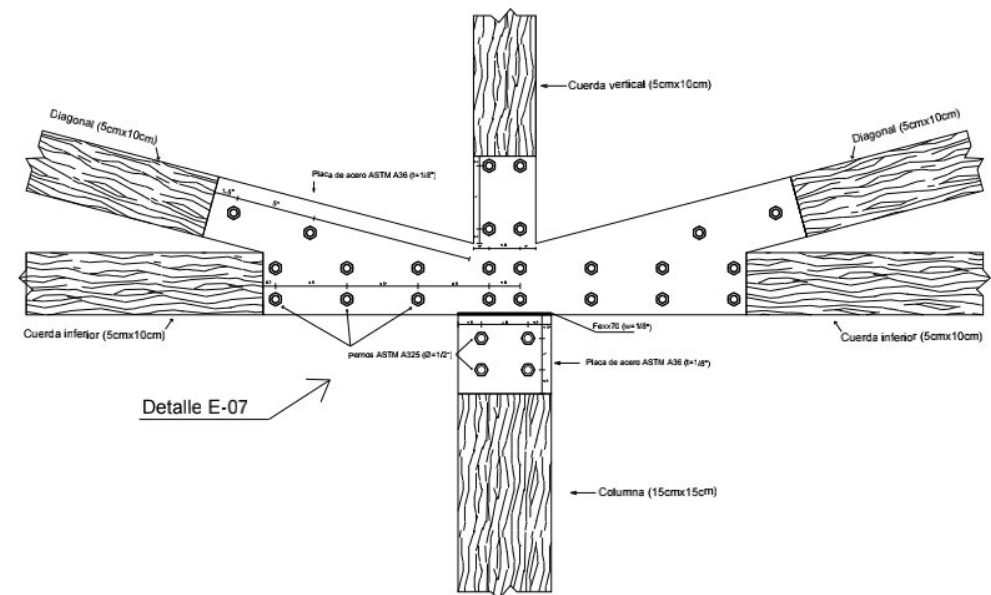
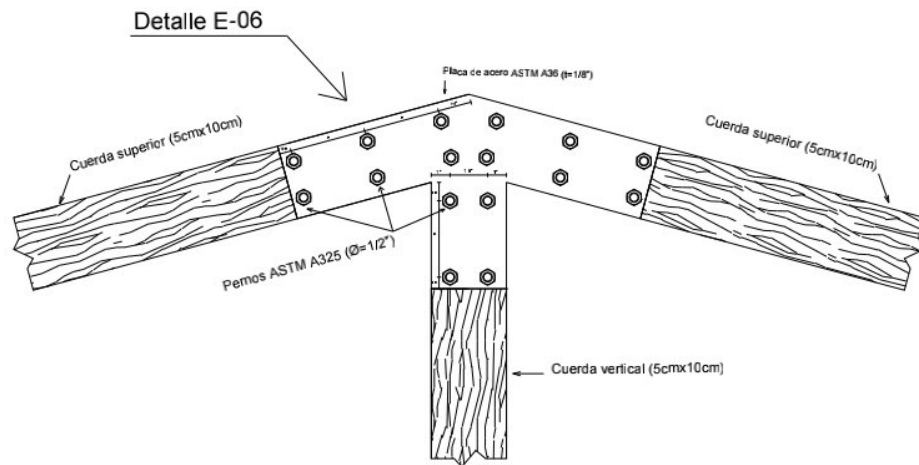
Detalle de conexiones

Fecha:
Octubre 2023

Escala:
1:15

Autor:
Br. Jorge Chacon

Lamina:
ES-04

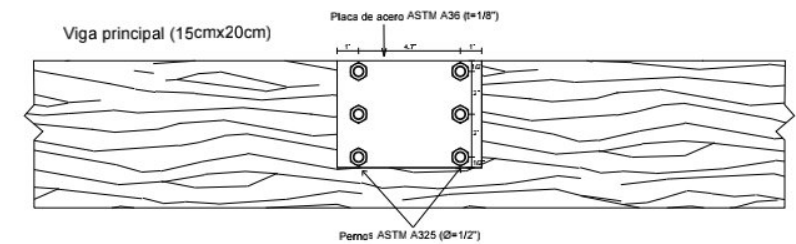
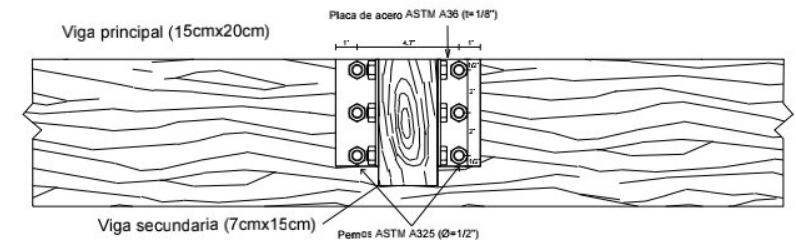
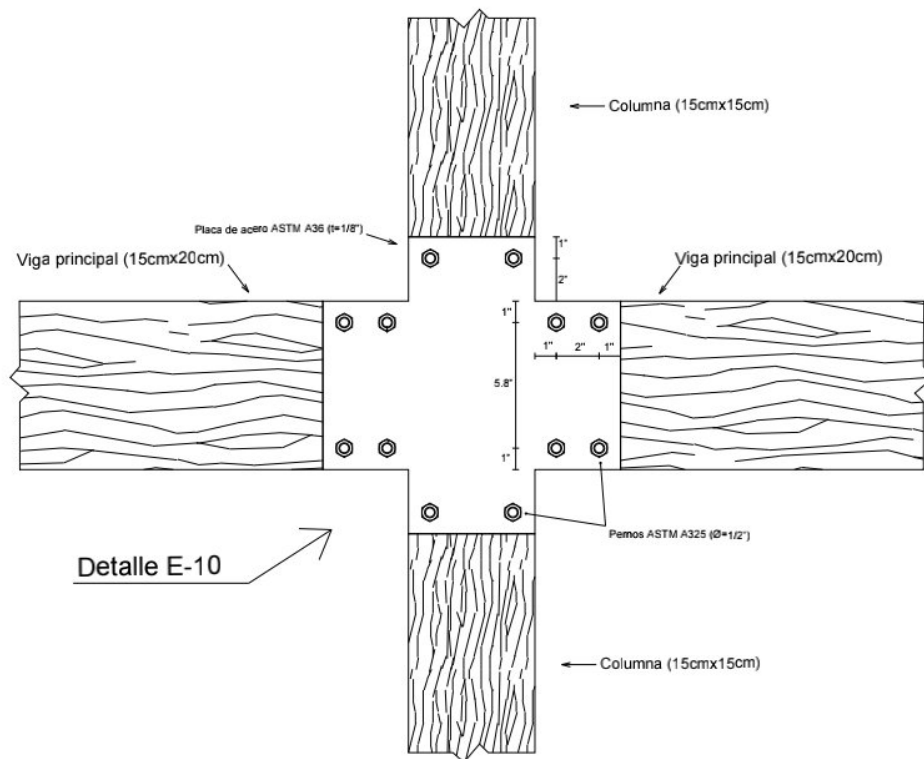


Diseño estructural de casa de madera
en el centro turístico Pinar del río
Dipilto, Nueva Segovia

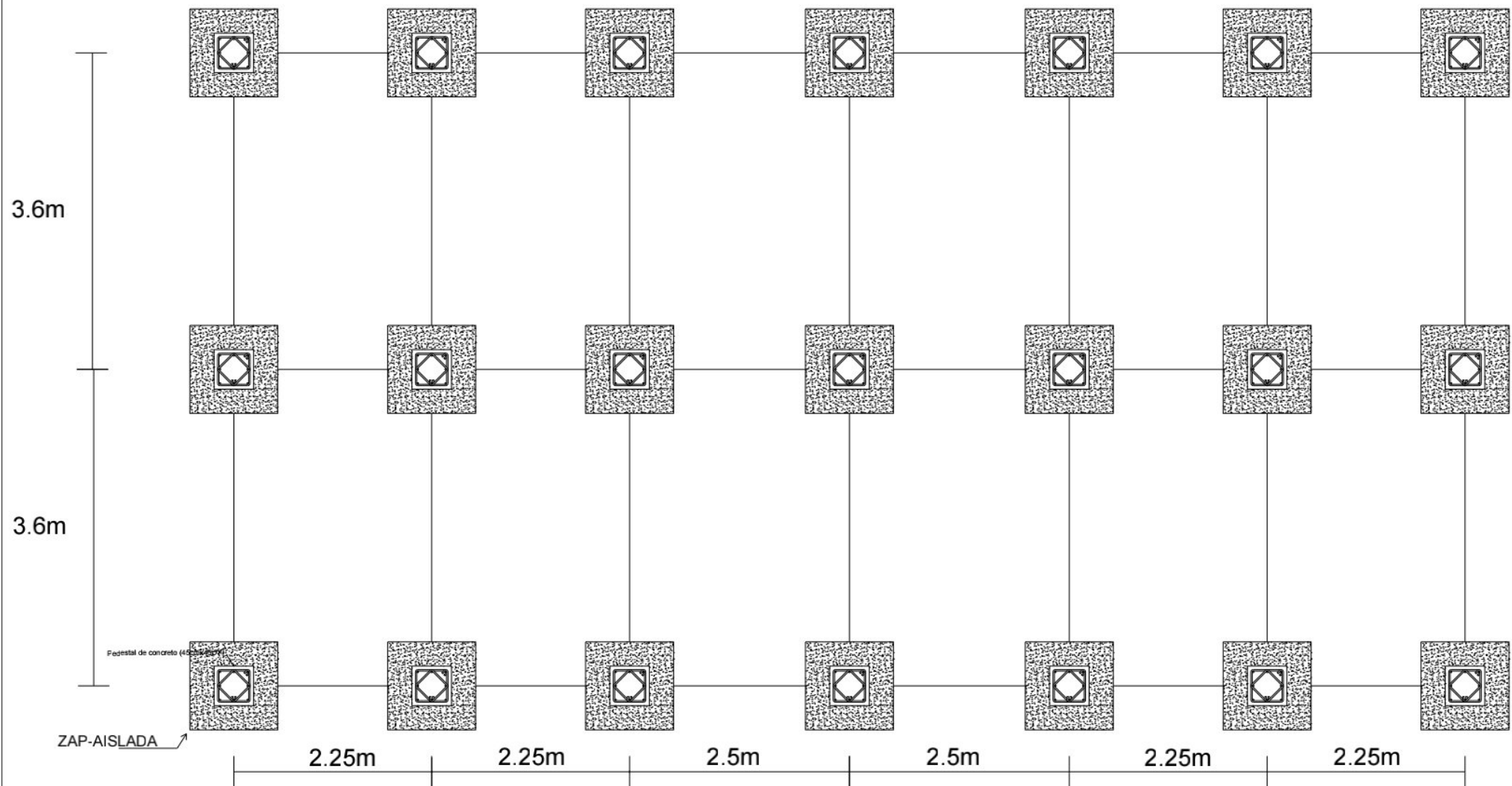
Detalle de conexiones
Fecha:
Octubre 2023

Escala:
1:15
Autor:
Br. Jorge Chacon

Lamina:
ES-05



	Diseño estructural de casa de madera en el centro turístico Pinar del río Dipilto, Nueva Segovia	Escala:	1:15	Lámina: ES-06
		Fecha: Octubre 2023	Autor: Br. Jorge Chacon	

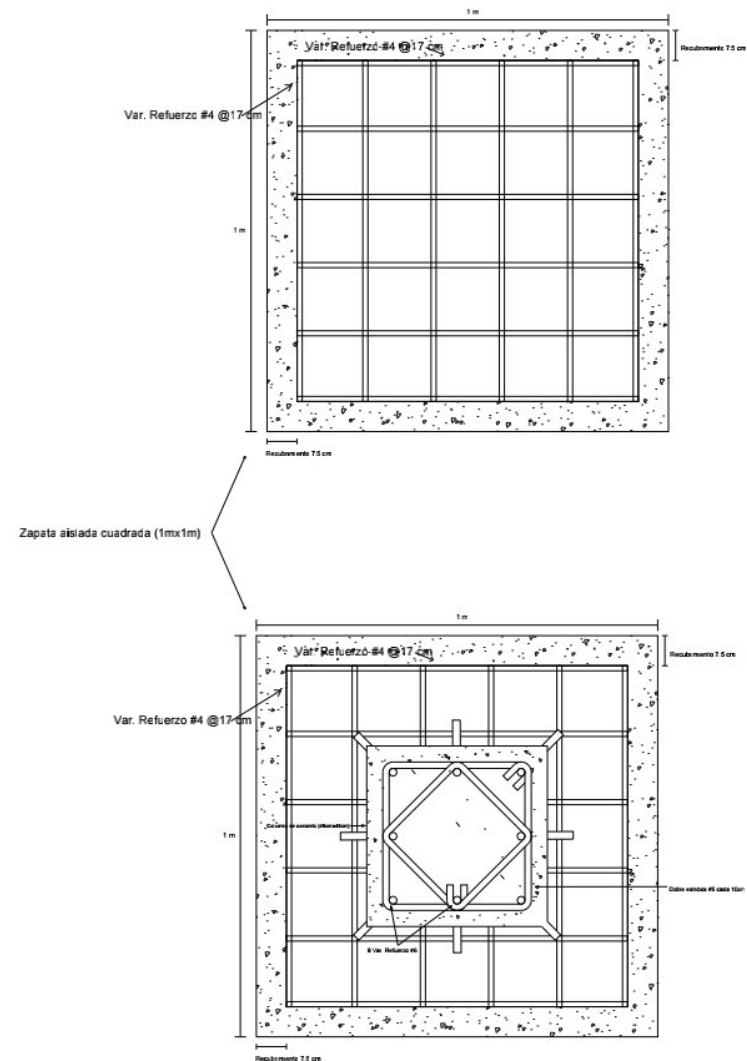
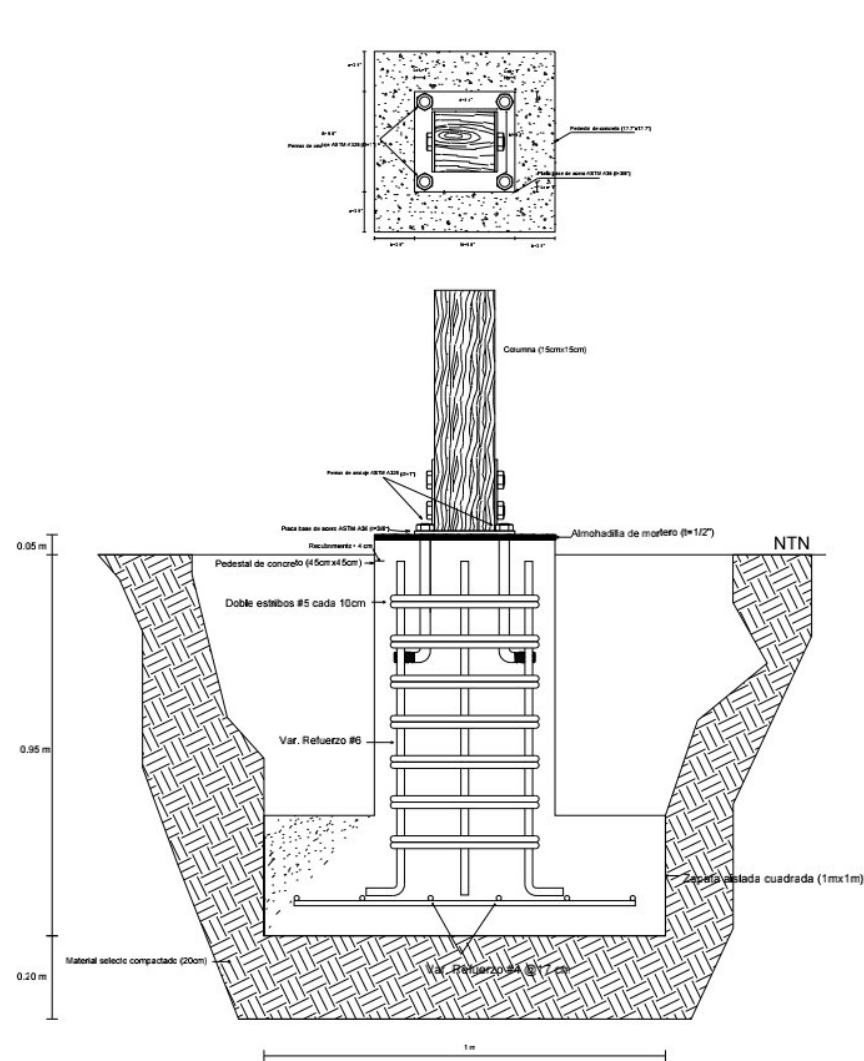


Diseño estructural de casa de madera
en el centro turístico Pinar del río
Dipilto, Nueva Segovia

Planta de cimentaciones
Fecha:
Octubre 2023

Escala:
1:75
Autor:
Br. Jorge Chacon

Lamina:
ES-07



Detalle ZAPATA AISLADA Y PEDESTAL DE CONCRETO



Diseño estructural de casa de madera
en el centro turístico Pinar del río
Dipilto, Nueva Segovia

Detalle de cimentaciones
(Zapata y Columna)

Fecha:
Octubre 2023

Escala:
1:15

Autor:
Br. Jorge Chacon

Lamina:
ES-08



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION** hace constar que:

CHACON GARCÍA JORGE MANUEL

Carné: **2017-0494I** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los tres días del mes de agosto del año dos mil veinte y tres.

Atentamente,



MSc. Ana Rosa López Olivas
Secretario de Facultad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
SECRETARIA ACADEMICA

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2023

No. Recibo **27638**

No. Inscripción **820**

NOMBRES Y APELLIDOS: Jorge Manuel Chacon García

CARRERA: INGENIERIA CIVIL

CARNET: 2017-0494i

TURNO:

PLAN DE ESTUDIO: 2015

SEMESTRE: SEGUNDO SEMESTRE 2023

FECHA: 02/08/2023

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					

F: Frecuencia de inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

ISOZA

GRABADOR

FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO

FIRMA DEL
ESTUDIANTE

cc: ORIGINAL: ESTUDIANTE - COPIA: EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 02-ago.-2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SOLVENCIA ECONOMICA

Fecha: 3/8/2023

Nombre del Estudiante: CHACON GARCIA JORGE MANUEL

Numero de Carnet: 2017-0494I

Carrera: INGENIERIA CIVIL

Taller Monografico: SERVICIOS MONOGRAFICOS UNI-IES


Firma y Sello
Ing. Lester Lara Corea
Delegado Administrativo FTC