

ESTUDIO CUANTITATIVO DE VULNERABILIDAD POR CAÍDA DE CENIZA DE
COMPLEJO VOLCÁNICO CHILES-CERRO NEGRO EN CUBIERTAS DE
I.E. JOSÉ ANTONIO LLORENTE E IGLESIA SAN PEDRO DEL MUNICIPIO DE
CUMBAL.



LEYDI NERIETH GÓMEZ TORO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO

2017

ESTUDIO CUANTITATIVO DE VULNERABILIDAD POR CAÍDA DE CENIZA DE
COMPLEJO VOLCÁNICO CHILES-CERRO NEGRO EN CUBIERTAS DE
I.E. JOSÉ ANTONIO LLORENTE E IGLESIA SAN PEDRO DEL MUNICIPIO DE
CUMBAL.



LEYDI NERIETH GÓMEZ TORO

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar por el título de
Ingeniera Civil

ASESOR

Ing. Ph.D. Gustavo Adolfo Córdoba Guerrero

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2017

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Artículo 13. Acuerdo No. 005 de 2010 emanado del Honorable Consejo Académico.

Nota de aceptación

Ing. Ph.D. Gustavo Córdoba Guerrero.

Director

Ing Ruby Alicia Criollo Martínez.

Jurado 1

Ing. Fernando Delgado Arturo.

Jurado 2

San Juan de Pasto, Mayo de 2017

RESUMEN

Cumbal es un municipio ubicado al Sur occidente de Colombia, próximo al volcán complejo volcánico Chiles Cerro- Negro ubicados a 14,6 km y 15 km respectivamente y cuya actividad ha estado en aumento. Siendo Cumbal una tierra agrícola se debe tener en cuenta que una caída de ceniza dejaría la tierra totalmente o parcialmente estéril, de aquí deriva entonces una de las razones por las que se deben realizar estudios como éste.

El Servicio Geológico de Nariño ha desarrollado el mapa de amenaza [Figura 1] donde se encuentran las amenazas por flujos piroclásticos, lahares y caída de ceniza, se observa que Cumbal hace parte de la zona roja donde se espera más de 10 cm de ceniza acumulada.

Se identificaron dos lugares clave donde las personas tomarán refugio; la iglesia, al ser un sitio que brinda además de seguridad física, tranquilidad emocional por lo que representa y la escuela que por su carácter educativo tiene una alta probabilidad de encontrarse habitado.

.Para realizar esta investigación se realiza el modelamiento estructural de las edificaciones en un software de análisis estructural como Etabs 15.2., sobre las cubiertas se empiezan a hacer incrementos de carga con espesores de ceniza seca y húmeda desde 0,5 cm hasta 20 cm incrementados en 0,5 cm, y además con y sin presencia de carga viva sobre cubierta, (probablemente en oficios de limpieza). Se identificaron los puntos de colapso comparando los valores de esfuerzos, momentos, interacción carga momento, etc con los criterios de falla expuestos en el capítulo 3.11. Hecho esto se concluye que todas las cubiertas, salvo la de la Iglesia San Pedro que no alcanza la falla, fallan con espesores desde 12,5 cm de ceniza seca, sin embargo el colapso se da por cubiertas y no por elementos estructurales, lo que indicaría un colapso parcial.

ABSTRACT

Cumbal is a village located in the south-west of Colombia, close to the Chiles Cerro-Negro volcanic complex , at 14.6 km and 15 km respectively, and whose activity has been increasing. Cumbal is an agricultural land, it must be have in mind that an ash fall would leave the land totally or partially sterile, and here is one of the reasons why such studies should be carried out. The Geological Service of Nariño has developed the threat map [Figure 1] where the threats by pyroclastic flows, lahars and ash fall are observed, it is observed that Cumbal is part of the red zone where more than 10 cm of accumulated ash is expected . Two key locations were identified where people will take shelter; The church, being a site that also provides physical security, emotional tranquility for what it represents and the school that because of its educational nature has a high probability of being habited. . In order to carry out this research, the structural modeling of buildings is carried out in a structural analysis software such as Etabs 15.2., On the roofs, load increases are started with wet and dry ash thicknesses from 0.5 cm to 20 cm increments In 0.5 cm, and also with and without presence of live load on deck, (probably in cleaning trades). The points of collapse were identified by comparing the values of stress, moments, moment load interaction, etc., with the failure criteria set forth in Chapter 3.11. This fact concludes that all decks, except that of the San Pedro Church that does not reach the fault , Fail with thicknesses from 12.5 cm of dry ash, however the collapse is by decks and not by structural elements, which would indicate a partial collapse.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.	13
1. MARCO TEÓRICO	17
2. ANTECEDENTES	31
3. METODOLOGÍA.	33
4. VISITAS DE CAMPO	35
5. PROCESAMIENTO DE DATOS	40
5.1. PLANIMETRÍA DE ESCUELA JOSÉ ANTONIO LLORENTE	40
5.2. PLANIMETRÍA DE IGLESIA SAN PEDRO	46
5.3. OBTENCIÓN DE CARGA DE CENIZA	48
5.4. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ENCONTRADOS	50
5.5. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS	53
6. RESULTADOS	55
6.1. BLOQUE DE AULAS 1.	55
6.2. BLOQUE DE AULAS 2	58
6.3. BLOQUE F	62
6.4. SALA DE LABORATORIOS	65
6.5. BLOQUE DE AULAS DE INFORMÁTICA	68
6.6. IGLESIA SAN PEDRO APOSTOL	72
7. CONCLUSIONES	78
8. RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Densidad de la ceniza seca y húmeda.....	22
Tabla 2. $f'c$ para elementos estructurales.....	37
Tabla 3. Refuerzo en elementos estructurales.....	38
Tabla 4. Espesor de ceniza-Peso seco	48
Tabla 5. Valores utilizados en los modelos	50
Tabla 6. Clasificación de estructuras.....	51
Tabla 7. Propiedades del acero $f_y=60000$	52
Tabla 8. Propiedades físicas del Achapo ³⁴	52
Tabla 9. Propiedades mecánicas de tejas fibrocemento [33]	53
Tabla 10.Esfuerzos en cubierta. Bloque de aulas 1	55
Tabla 11.B104 con $M_{act}>M_{adm}$. Bloque de Aulas 1	56
Tabla 12.Chequeo de Pu en columnas de madera. Bloque de aulas 1.....	57
Tabla 13.Chequeo P-M-M En columnas de concreto. Bloque de aulas 1.	58
Tabla 14.Esfuerzos en cubierta. Bloque de aulas 2.....	58
Tabla 15.Chequeo P-M-M En columnas de concreto. Bloque de aulas 2.	60
Tabla 16.Valores de falla para B388, VIGA CRÍTICA Bloque de Aulas 2.	61
Tabla 17.Capacity Ratio. B389 el más crítico de Bloque de aulas 2	61
Tabla 18.Esfuerzos en cubierta Bloque F	62
Tabla 19.Momentos actuantes B108. BLOQUE F	63
Tabla 20.Chequeo de Pu en columnas de madera. Bloque F	64
Tabla 21.Esfuerzos en cubierta Sala de Laboratorios.	65
Tabla 22.Chequeo P-M-M En columnas de concreto. Sala de laboratorios.....	66
Tabla 23.6/5 Beam/column Sala de laboratorios	67
Tabla 24.Capacity Ratio. B389 el más crítico de Sala de Laboratorios.....	68
Tabla 25.Esfuerzo en cubiertas de Aulas de informática.....	68
Tabla 26.Chequeo P-M-M En columnas de concreto. Aulas de informática.	70
Tabla 27.6/5 Beam/column. Aulas de informática.....	71
Tabla 28.Capacity Ratio B8. Aulas de informática.	71
Tabla 29.Esfuerzos en cubierta de Iglesia.	72
Tabla 30.Cargas impuestas para Iglesia.....	74
Tabla 31.Pmm interaction columnas iglesia san pedro.....	75

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa de Amenaza por caída de cenizas,</i>	15
<i>Figura 2. Curva Típica intensidad. Vs. Daño, con valores arbitrarios.</i>	21
<i>Figura 3. Forma básica de una armadura</i>	23
<i>Figura 4. Diversos tipos de armaduras.</i>	23
<i>Figura 5. Partes de una cercha.</i>	24
<i>Figura 6. Elementos de una armadura sencilla.</i>	24
<i>Figura 7. Esfuerzos en los planos.</i>	26
<i>Figura 8. Diagrama Interacción P-MX-MY. Tomado de CSI MANUAL CONCRETE DESIGN ²⁵</i>	28
<i>Figura 9. Modelo con cargas hipotéticas, en Etabs</i>	33
<i>Figura 10. Modelo básico en ETabs.</i>	33
<i>Figura 11. Cercha analizada con espesor aleatorio, no falla</i>	34
<i>Figura 12 Cercha analizada con $e>$. Falla elemento superior y diagonales</i>	34
<i>Figura 13. Bloque de Aulas 2</i>	35
<i>Figura 14. Bloque de Aulas 1</i>	35
<i>Figura 15. Sala de informática.</i>	35
<i>Figura 16. Bloque F</i>	35
<i>Figura 17. Sala de laboratorios</i>	35
<i>Figura 18. Vista interior de Cúpula</i>	36
<i>Figura 19. Fachada de Iglesia</i>	36
<i>Figura 20. Losa interior Iglesia</i>	36
<i>Figura 21. Vista exterior de losa Iglesia.</i>	36
<i>Figura 22. Cúpula posterior</i>	36
<i>Figura 23. Cúpula frontal</i>	36
<i>Figura 24. Pórticos interiores Iglesia</i>	36
<i>Figura 25. Planimetría bloque de aulas 1-grilla madera</i>	40
<i>Figura 26. Planimetría bloque de aulas 1-grilla concreto.</i>	41
<i>Figura 27. Bloque de aulas 2 N+2,7</i>	42
<i>Figura 28. Bloque de aulas 2 N+5,4</i>	43
<i>Figura 29. Bloque F</i>	44
<i>Figura 30. Planimetría aulas de informática</i>	45
<i>Figura 31. Planimetría laboratorios</i>	46
<i>Figura 32. Columnas interiores Iglesia</i>	46
<i>Figura 33. Fachada y vista posterior Iglesia.</i>	47
<i>Figura 34. Vista lateral Iglesia</i>	47
<i>Figura 35. Bloque de Aulas 1(A). Esfuerzo S11 sin Lr. (B).Esfuerzo S22 sin Lr. ...</i>	55
<i>Figura 36. Bloque de Aulas 1(A). Esfuerzo S11 sin Lr. (B) Esfuerzo S22 sin Lr.</i>	55
<i>Figura 37. Bloque de aulas 1(A). Esfuerzo S11 con Lr. (B). Esfuerzo S22 con Lr.</i>	56

Figura 38. Bloque de aulas 1(A). Esfuerzo S11 con Lr. (B). Esfuerzo S22 con Lr.	56
Figura 39. Bloque de Aulas 1. Diagrama de MF B104. Sin Lr, ASH WET.....	56
Figura 40. Bloque de Aulas 1. Diagrama de MF B104. Con Lr, ASH WET.....	56
Figura 41. Bloque de Aulas 1. La flecha roja indica el elemento correa B104.	57
Figura 42. Bloque de aulas 1. La flecha roja indica la columna C24.....	57
Figura 43. Bloque de Aulas 1. Ubicación C50, C7, Y C1 señaladas en color amarillo,	58
Figura 44. Bloque de Aulas 2(A).Esfuerzo S11 sin Lr. (B). Esfuerzo S22 sin Lr.	59
Figura 45. Bloque de Aulas 2(A). Esfuerzo S11 sin Lr. (B). Esfuerzo S22 sin Lr. ..	59
Figura 46. Bloque de aulas 2(A) Esfuerzo S11 con Lr. (B). Esfuerzo S22 con Lr.	59
Figura 47. Bloque de aulas 2. (A) Esfuerzo S11 con Lr. (B). Esfuerzo S22 con Lr.	60
Figura 48. Bloque de Aulas 2. Ubicación C49, C14 Y C82. Col que superan el límite.	60
Figura 49. Bloque de Aulas 2. La flecha roja indica la ubicación de viga B388(N+2,7)	61
Figura 50. Bloque de aulas 2. La flecha roja indica la ubicación del perfil metálico B389.....	61
Figura 51. Bloque F(A). Esfuerzos S11 sin Lr. (B).Esfuerzos S22 sin Lr.	62
Figura 52. Bloque F(A). Esfuerzos S11 sin Lr. (B). Esfuerzos S22 con Lr.	62
Figura 53. Bloque F(A). Esfuerzos S11 con Lr. (B). Esfuerzos S22 con Lr.....	63
Figura 54. Bloque F(A). Esfuerzos S11 con Lr. (B). Esfuerzos S22 con Lr.....	63
Figura 55. Bloque F. La viga B108 en color amarillo..	63
Figura 56. Bloque F.La columna C3 de color amarillo.....	64
Figura 57. Bloque F.Las columnas de color cyan no alcanzan el límite de PMM. .	65
Figura 58. Bloque F. Chequeo en vigas (De color Cyan).	65
Figura 59. Sala de laboratorios(A). Esfuerzos S11 sin Lr. (B). Esfuerzos S22 sin Lr.	65
Figura 60. Sala de laboratorios(A). Esfuerzos S11 sin Lr. (B) Esfuerzos con S22 sin Lr.	65
Figura 61. Sala de laboratorios(A). Esfuerzos S11 con Lr. (B).Esfuerzos S22 con Lr.....	66
Figura 62. Sala de laboratorios(A). Esfuerzos S11 con Lr. (B). Esfuerzos S22 con Lr.....	66
Figura 63. Sala de Laboratorios Las columnas de color rojo C16, C8 y C20.	67
Figura 64. Sala de laboratorios. El elemento en color amarillo es la viga B22.....	67
Figura 65. Sala de laboratorios. El elemento de color amarillo es el perfil metálico B889	68
Figura 68. Aulas de informática(A). Esfuerzo S11 sin Lr. (B). Esfuerzo S22 sin Lr.	69

<i>Figura 67. Aulas de informática(A). Esfuerzo S11 con Lr. (B). Esfuerzo S22 con Lr.</i>	69
<i>Figura 66. Aulas de informática(A). Esfuerzo S11 sin Lr. (B). Esfuerzo S22 sin Lr.</i>	69
<i>Figura 69. Aulas de informática(A). Esfuerzo S11 con Lr. (B). Esfuerzo S22 con Lr.</i>	70
<i>Figura 70. Aulas de informática. Los elementos de color verde son las columnas C4 y C7</i>	70
<i>Figura 72. Aulas de informática. Los elementos rojos son vigas B2 y B3</i>	71
<i>Figura 73. Cubierta Iglesia San Pedro.</i>	72
<i>Figura 74. Esfuerzos sobre cubierta Iglesia San Pedro.</i>	72
<i>Figura 75. Iglesia de San Pedro, modelo en Etabs.</i>	73

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1	Planimetría.....	82
Anexo 2	Registro fotográfico.....	95

INTRODUCCIÓN.

El municipio de Cumbal tiene una población de 34.186 habitantes¹, está ubicado al suroccidente del departamento de Nariño, entre sus actividades económicas principales se identifican la agricultura y el expendio de alimentos². En el Departamento de Nariño se encuentran buena parte de los volcanes existentes en el país, por ejemplo, el municipio de Cumbal, Nariño, tiene en sus cercanías además del volcán Cumbal, el complejo volcánico Chiles-Cerro Negro, muy cercanos a la población, cuya actividad pone en peligro una vasta región del sur del departamento. De acuerdo con el estudio de la amenaza volcánica que ha realizado el Servicio Geológico Colombiano (SGC) para estos volcanes^{3,4}, el casco urbano del municipio de Cumbal pudiera verse afectado por flujos piroclásticos, flujos de lodo, y caídas piroclásticas provenientes del volcán Cumbal, pero además por caídas de ceniza provenientes del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro. Respecto a la caída de ceniza proveniente del volcán Cumbal el mapa de amenaza⁴ prevé espesores mucho menores a los espesores que se depositarían por caída de ceniza proveniente del complejo Chiles-Cerro Negro. De acuerdo con el mapa de amenaza de este complejo volcánico, la población de Cumbal se vería afectada por caída de ceniza con espesores mayores de 10 cm, lo cual podría afectar las estructuras de cubierta.

Dentro de los tipos de edificaciones encontradas, existe gran cantidad de viviendas, u otro tipo de instalaciones, donde en su construcción se ven aplicados métodos no considerados en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-resistente NSR-10. Entre estas instalaciones se encuentra la Iglesia San Pedro Apostol y partes de la Escuela José Antonio Llorente.

¹ Guerrero Lozano, B. DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), Boletín CENSO GENERAL 2005, Perfil Cumbal Nariño [En línea] http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/52227T7T000.PDF

² Puenayan, L.A, Et Al. PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL CUMBAL, 2011; Cumbal, Nariño. 27 p. Reporte Interno.

³ Servicio Geológico Colombiano [En línea] <http://www2.sgc.gov.co/Pasto/Volcanes/Volcanes-Chiles---Cerro-Negro/Mapa-de-Amenaza-Chiles.aspx>

⁴ <http://www2.sgc.gov.co/Pasto/Volcanes/Cumbal/Mapa-de-Amenaza.aspx>

En este estudio se analiza el efecto de la caída de ceniza sobre estas dos construcciones, donde se calcula de forma cuantitativa la vulnerabilidad de las estructuras debido a la sobrecarga impuesta por la caída de ceniza. Se realizaron tres visitas de campo para obtener todos los datos necesarios en el modelamiento de las estructuras. Es de notar que al cubrir este estudio altos espesores de caída de ceniza provenientes del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro, quedaría cubierta la vulnerabilidad por caída de ceniza proveniente del volcán Cumbal. A lo largo del trabajo se describe el modelamiento de las estructuras con diferentes cargas de ceniza, se encuentran los espesores que producirían falla, y finalmente el análisis de la vulnerabilidad y las conclusiones.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

El municipio de Cumbal, Nariño, tiene como parte de su geología al complejo volcánico Chiles-Cerro Negro, cuyo nivel de actividad reportada, fruto de los seguimientos diarios realizados por el Servicio Geológico Colombiano [SGC], para Agosto de 2015 reporta que se mantiene en NIVEL AMARILLO [III]⁵.

Se destaca que el sistema volcánico está lejos de retornar a un estado de equilibrio y que si bien la sismicidad ha mostrado una disminución gradual se mantienen valores muy altos de ocurrencia que según el SGC están asociados con una posible intrusión magmática en profundidad ⁵. De acuerdo con el mapa de amenaza por caída de cenizas del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro, SGC [Figura 1]³, es posible que en la población de Cumbal haya acumulación de cenizas de más de 10 centímetros [Zona roja].

⁵ Informe de Servicio Geológico Colombiano [En línea]
<http://www2.sgc.gov.co/getattachment/30b8345f-5bb3-4bde-8157-7b51ef631d6b/Informe-de-socializacion-junio-de-2015.aspx>

³ Ibid

Lo anterior indica que en caso de erupción de volcanes Chiles o Cerro Negro se esperaría caída de ceniza en grandes cantidades y, la principal preocupación durante este suceso es el potencial de colapso que puede tener la cubierta de las edificaciones y hasta ellas mismas, debido a su acumulación en las cubiertas, lo que podría conducir incluso a la pérdida de vida de sus habitantes.

Estudios de la resistencia que tengan las cubiertas en el área frente a este fenómeno y sus posibles niveles de daño permitirían prever posibles medidas encaminadas a la mitigación de riesgo por esta amenaza, especialmente en las edificaciones y lugares que usualmente toman las personas como refugio y que pudieran ser peligrosos en el caso de una fuerte caída de cenizas. El depósito de ceniza puede tener dos estados, húmedo y seco, por lo cual el análisis debe hacerse teniendo en cuenta ambas condiciones.

Entre los lugares que la población pudiera tomar como refugio se encuentran las escuelas, colegios, y templos. En Cumbal, existe la Institución Educativa José Antonio Llorente, la cual tiene una población flotante muy alta representada en niños en su mayoría, y la Iglesia de San Pedro que sería un lugar donde transeúntes y usuarios busquen como refugio inmediato. Por lo anterior, es importante conocer el nivel de daño que se pudiese presentar sobre las estructuras de techo de estas edificaciones, para poder tomar medidas y prevenir posibles riesgos futuros.

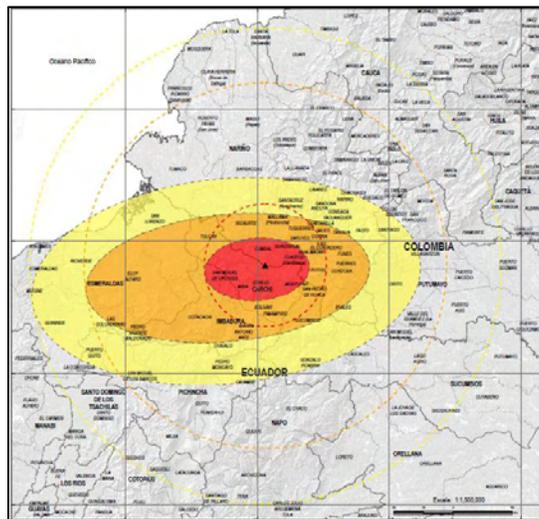


Figura 1. Mapa de Amenaza por caída de cenizas,

Tomado de Servicio Geológico Colombiano, Versión 2014³. Amarillo indica espesores hasta 1 cm, naranja hasta 10 cm, rojo >10 cm. La población de Cumbal se ubica en color rojo.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cuál es el grado de vulnerabilidad estructural por acumulación de ceniza volcánica en las cubiertas de la Institución educativa José Antonio Llorente y la Iglesia de San Pedro?

Alcance y Delimitaciones: el proyecto de investigación se trabajará hasta encontrar los resultados cuantitativos de la vulnerabilidad por caída de ceniza únicamente en las estructuras mencionadas en el título, sin embargo, abre puertas a investigaciones posteriores donde se incluiría la totalidad de las estructuras del municipio de Cumbal.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL:

Analizar con métodos cuantitativos la vulnerabilidad ante caída de ceniza de la Institución Educativa José Antonio Llorente y la Iglesia de San Pedro, del municipio de Cumbal frente a la caída de ceniza producida por una eventual erupción de los volcanes Chiles y Cerro negro

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar las características estructurales de las construcciones.
- Obtener un modelo estructural del tipo de cerchas y apoyos de las cubiertas de la Escuela y la Iglesia
- Cargar las cubiertas de las estructuras hasta el punto de la falla.
- Determinar si la falla es por cubierta, o estructural.
- Concluir en qué nivel de peligro se encuentran las dos estructuras.

1. MARCO TEÓRICO

COMPLEJO VOLCÁNICO CHILES – CERRO NEGRO

De acuerdo con Alarcón et al⁶, el complejo volcánico Chiles-Cerro Negro está ubicado en la frontera de Colombia y Ecuador, en inmediaciones de la inspección de policía de Chiles, municipio de Cumbal, se edifica en intersección de la falla Chiles-Cerro Negro, con las fallas Chiles-Cumbal y Cerro Negro-Nasate.

El volcán Chiles está ubicado a 86 km al SW de la ciudad de Pasto y tiene coordenadas geográficas 0° 49' N y 77° 56' W , su cima volcánica alcanza una cota de 4778 msnm con cráter de diámetro 1 km, el volcán Cerro Negro al que también se le clasifica como estrato volcán, se ubica a solo 3 km al NW del Volcán Chiles, a 80 km al SW de la capital del departamento de Nariño, y tiene coordenadas geográficas 0° 46' N y 77° 57' W, Cerro Negro alcanza una cota de 4470 msnm, 8 metros menos que el Chiles, mientras que comparando el diámetro de su cráter este es considerablemente mayor con 1,8 km⁵.

En cuanto a las características geológicas ⁶, se tiene que el Complejo Volcánico se encuentra sobre un basamento representado por una secuencia de lavas pilocénicas, cuyos productos se clasifican como andesitas de piroxenos y olivínicas.

Aunque su última erupción ocurrió hace 1600 años todavía cuenta con aguas termales y un sistema hidrotermal activo⁷, en cuanto a la actividad actual, según fuentes como, el Instituto Geofísico-EPN del Ecuador⁸, esta se reduce a la presencia de una actividad sísmica predominante y se exterioriza en la presencia de fuentes termales y solfataras.

⁶ Alarcón, A., Rodríguez E.E. y Escallón, J. 2000. Atlas de Amenaza Volcánica en Colombia, Ingeominas. 119 p.

⁵ Ibid

⁷ Volcano Discovery [En línea]

http://www.volcanodiscovery.com/cerro_negro_de_mayasquer.html

⁸ Orellana, R. Instituto Geofísico-EPN, Quito, 2016. [En línea]

<http://www.igepn.edu.ec/chiles-cerro-negro>

TIPOS DE AMENAZA VOLCÁNICA

De acuerdo a Voskuil⁹, las amenazas volcánicas presentan los siguientes tipos;

- Flujos de lava
- **Caída de cenizas**
- Nubes ardientes
- Impactos directos
- Lahares
- Gases volcánicos
- Sismos volcánicos
- Tsunami
- Nubes de ceniza que afectan navegación aérea.

Las amenazas volcánicas se clasifican en directas e indirectas, de este modo;

- Amenazas Directas: Debido al impacto directos de los productos de la erupción volcánica.
 - Flujos de lava.
 - Caída de piroclastos: caída de cenizas y rocas.
 - Flujos piroclásticos (flujos de pómez, nubes ardientes, base surge)
 - Lahares.
 - Gases.
- Amenazas Indirectas: Debido a efectos colaterales de la erupción.
 - Lahares fríos.
 - Deslizamientos
 - Tsunamis.
 - Lluvia ácida.
 - Cenizas en la atmósfera.
 - Influencia sobre el clima.

La forma en que se pueden impactar las estructuras, son:

- Nubes y columnas eruptivas.

⁹ VOSKUIL, R. Thematic-Map Generalization, Geographical Review Vol. 54, No. 1. 1996. Berrima, NSW, Australia. 138 p.

- Gases volcánicos.
- Flujos y domos de lava.
- Flujos piroclásticos
- Lahares

Hay ciertos tipos de impactos, que pueden llegar a ocurrir, aunque son menos probables, se presentan y son otra manera de afectar estructuras y causarían pérdidas de vidas si no son manejados de acuerdo con un plan de contingencia, o si los impactos son extremadamente violentos, y estos son;

- Lahares “fríos” secundarios [pueden ocurrir por años después de la erupción].
- Deslizamientos.

EVALUACIÓN DE LA AMENAZA VOLCÁNICA

La evaluación de Amenaza Volcánica tiene dos enfoques, tanto a corto como a largo plazo, a largo plazo estudia la historia eruptiva del volcán junto con su mapeo, modelación y zonificación del tipo de amenaza volcánica, es decir, estudia con que intensidad puede llegar un evento a los determinados lugares. A corto plazo, se refiere a una constante vigilancia y monitoreo que se realiza al volcán con el fin de que se puedan prevenir los desastres.

CENIZA VOLCÁNICA.

Los materiales y residuos producidos ante eventualidades de erupciones volcánicas son diversos, aunque cada uno de ellos causa daños a estructuras y población aledaña, los más comunes son los depósitos de ceniza, las cuales se forman durante una erupción, cuando roca y lava explotan en millones de pequeñas partículas. Debido a que al dispersarse en la atmósfera la ceniza cubre grandes extensiones de terreno, ésta al caer puede ocasionar daños en lugares donde los flujos de gravedad emitidos por un volcán no alcanzan a llegar. Los volcanes tienen un efecto de enfriamiento en el clima, porque la ceniza permanece en el cielo y reduce la cantidad de luz solar que llega a la superficie”¹⁰.

¹⁰ Windows to the universe [En línea]
<http://www.window2unviarse.org/eart/interior/lava.html&lang=sp>

Esta caída de ceniza produce una amenaza que afecta según el tamaño de sus partículas, es así como según Blong¹¹, durante una explosión los fragmentos más gruesos caen rápidamente en las cercanías del volcán, mientras que la más fina viaja grandes distancias gracias a la acción del viento, incluso miles de kilómetros, acrecentando el área y el número de personas afectadas. Este tipo de amenaza volcánica también trae consigo efectos sobre la salud de las personas, como el agravamiento de enfermedades pulmonares, trastornos gastrointestinales en caso de la ingesta de agua y alimentos contaminados con un elemento químico como el flúor o metales pesados, y también daños oculares como la conjuntivitis y abrasiones en la córnea¹¹.

Ante un evento de caída de ceniza es muy común encontrar afectación en elementos de tipo hidráulico, como presas, alcantarillas, plantas de aguas negras, etc¹², además de ser un obstáculo para las corrientes de agua y para el transporte.

Estructuralmente se tiene que, capas de ceniza de 2 a 3 cm. de espesor pueden causar el colapso de techos con pendientes menores a 20° y/o en estructuras de mala calidad¹³. Espesores más grandes como el esperado sobre Cumbal en caso de erupción del Chiles-Cerro Negro, pudieran ser catastróficos, por ejemplo; la ceniza seca tiene un peso de 400-700 kg/m³, la lluvia puede incrementarlo de un 50 a un 100%. Una capa de ceniza de 10 cm de espesor representará una carga extra de 40-70 kg/m² si está seca, y de 100-125 kg/m² si está húmeda, poniendo en peligro potencia de colapso las estructuras de techos¹⁴.

¹¹ Blong, R.H. Volcanic Hazard. Macquarie University Academic Press. Sydney, Australia.1984. 120 p.

¹² IVHHN, Cities and Volcanoes Commission, USGS, IAVCEI, gns. LOS PELIGROS DE LAS CENIZAS VOLCÁNICAS PARA LA SALUD. Guía para el público. Cambridge, Reino Unido. 2001. 4 a 8 p.

¹³ Martínez Bringas, A., Gómez Vázquez, A., y De la Cruz-Reyn, S. Riesgos geológicos, capítulo 4 Elaboración de Mapas de peligros volcánicos. México DF. 2006. 109 p.

¹⁴ Guerrero Martínez, C., Martínez Bringas, A., Gómez Vázquez, A., y De la Cruz-Reyn, S., Hernández Alcántara T. Atlas Nacional de Riesgos, Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos: Elaboración de Mapas de Peligros Volcánicos. 1era Edición. 2006. México DF. 115 p.

VULNERABILIDAD

Para el caso en estudio, vulnerabilidad por caída de ceniza, se toma la definición de esta como sigue, el grado o por ciento de pérdida o daño que puede sufrir una población, infraestructura o en la productividad, por efecto de alguna de las manifestaciones volcánicas¹⁵.

Rigurosamente la Vulnerabilidad se expresa como la relación entre el costo de reparar y el costo de reemplazar, o el porcentaje de daño en relación con un daño total previamente cuantificado. Este resulta en una escala de 0 a 1, la relación de la intensidad de un evento potencialmente dañino, contra el porcentaje de daño se muestra en la figura 2, donde a partir de cierto valor de intensidad el daño es del 100%. Para el caso de caída de ceniza, la intensidad corresponde a un espesor de ceniza; para condiciones húmedas y condiciones secas.

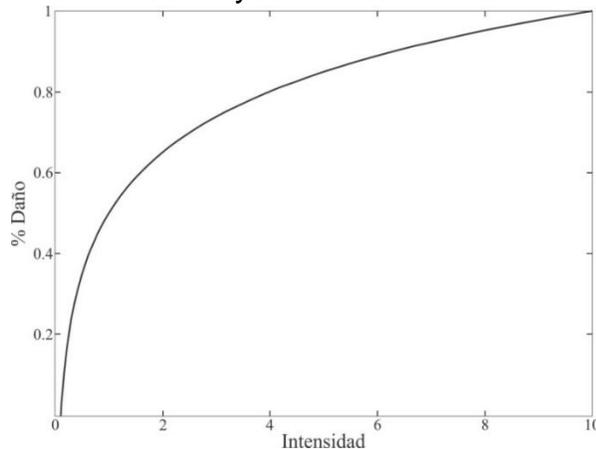


Figura 2. Curva Típica intensidad. Vs. Daño, con valores arbitrarios.

CENIZA COMO CARGA EN ESTRUCTURAS DE CUBIERTA.

Los efectos de la ceniza volcánica en las cubiertas depende principalmente de la densidad de la ceniza húmeda o seca y el espesor del depósito, el diseño estructural y las técnicas de la construcción.

Densidad de la ceniza y espesor: la densidad de la ceniza depende de su estado, húmedo o seco, y ésta es un factor vital para determinar la carga, en la Tabla 1 se encuentra la relación que existe entre la densidad y la carga.

¹⁵ United Nations Disaster Relief Organization (UNDRO). (1991). Mitigating Natural Disasters: Phenomena, Effects and Options: A Manual for Policy Makers and Planners.

|Tabla 1. Densidad de la ceniza seca y húmeda.

Descripción	Densidad [kg/m³]	Carga [kPa]
Ceniza seca sin compactar	500 – 1300	0.5 – 1.3
Ceniza húmeda compacta	1000 – 2000	1.0 – 2.0

La carga sobre una edificación se encuentra con la ecuación 1:

$$L = \frac{\rho dg}{1000} \text{ [ECUACIÓN 1]}$$

Donde:

L: carga de ceniza volcánica [presión en kPa]

d: Espesor de ceniza [m]

ρ : densidad de la ceniza [kg/m³]

g: aceleración de gravedad [9.8 m/s²]

La carga generada por la ceniza es directamente proporcional al espesor del depósito de la misma. Cuanto más húmeda y compacta esta la ceniza, producirá cargas más altas con menores espesores.

DISEÑO Y TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN:

Los efectos de las cargas de ceniza en edificaciones varían dependiendo de su diseño y construcción, incluyendo pendiente de cubierta, materiales de construcción, sistema de soporte, tiempo y mantenimiento del edificio. En general, cubiertas planas son susceptibles a recibir más daño y colapsar las que son fuertemente inclinadas¹⁶ y, en aquellas que son hechas con materiales lisos como metal y vidrio es más fácil que la ceniza volcánica se deslice que en las cubiertas hechas con materiales rugosos como paja, asfalto, madera y tejas de fibrocemento.

CUBIERTAS Y SU ANÁLISIS

Durante una visita previa al municipio de Cumbal con un examen visual se encontró que, la escuela fue construida con una cubierta a dos aguas, lo que podría indicar presencia de cerchas y, para la iglesia, se reconocen cubiertas de concreto, posiblemente macizas.

¹⁶ Volcanic Ashfall Impact, Working Group. [En línea] https://volcanoes.usgs.gov/volcanic_ash/buildings.html

- *Cercha o armadura*: la cercha es una composición de barras rectas unidas entre sí en sus extremos para constituir una armazón rígida de forma triangular, capaz de soportar cargas en su plano, particularmente aplicadas sobre las uniones¹⁷, denominada *nodos*

En consecuencia, todos los elementos se encuentran trabajando a tracción o compresión sin la presencia de flexión y corte como se observa en la figura 3.

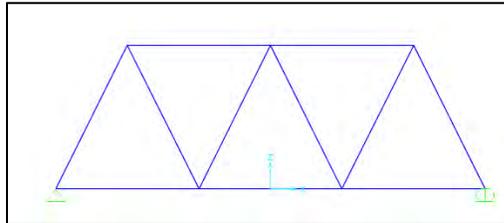


Figura 3. Forma básica de una armadura

Las cerchas se dividen según su forma [figura 4], aunque es casi infinito el número de formas posibles que puede tomar. Además se dividen según la aplicación de las condiciones estáticas de equilibrio en isostáticas e hiperestáticas. Otra calificación es según la formación, la cual puede ser simple, compuesta y compleja, la simple se obtiene de adicionar barras a la armadura básica triangular, la compuesta se obtiene de unir dos o más cerchas simples, mientras que la cercha compleja es la que no se considera como ninguna de las anteriores¹⁸.

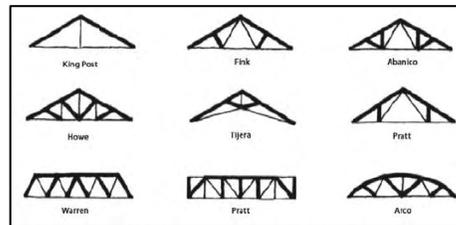


Figura 4. Diversos tipos de armaduras.

Una cercha se compone de diversos elementos [Figura 5], sin embargo, los más representativos son:

- ✓ Los miembros de arriba: cordón superior
- ✓ Los miembros de abajo: cordón inferior
- ✓ Diagonales

¹⁷ Beer, Ferdinand. Johnston, Russell E, Jr. DeWolf, John T, Mazurek David F. Engineering Mechanics: Statics, 1962; p:153

¹⁸ Beer, Ferdinand. Johnston, Russell E, Jr. DeWolf, John T, Mazurek David F. Engineering Mechanics: Statics, 1962; p:258

✓ Verticales montantes o pendolones dependiendo del tipo de fuerza.
 En la figura 5, se señala con detalle los elementos correspondientes a una armadura sencilla.

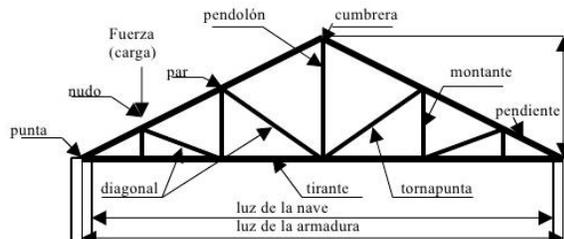


Figura 6. Elementos de una armadura sencilla.

- *Cubierta Plana*: cubiertas antiguas, son por lo general, en losa maciza de concreto, las cuales según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-Resistente, deben ser de luces de menos de 6 metros y deben tener una inclinación mínima del 2% para asegurar desagüe¹⁹.

TIPOS DE APOYOS

Se identifican apoyos fijos, en las columnas de todas las estructuras existentes, que restringen rotación y desplazamiento²⁰, lo que se puede ver en la figura 6.

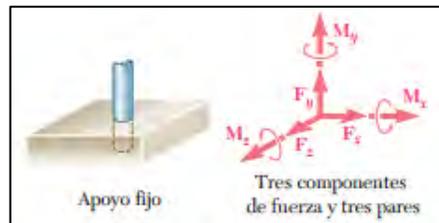


Figura 6. Reacciones en apoyo fijo. Tomado de²⁰

TIPO DE LOSAS

Cuando se hace el modelo de una losa en Etabs se identifican varios tipos, que son;

¹⁹ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. NSR-10. Bogotá, Colombia. Marzo de 2010. Título C.

²⁰ Beer, Ferdinand. Johnston, Russell E, Jr. DeWolf, John T, Mazurek David F. Engineering Mechanics: Statics, 1962; p:362

- Tipo “Shell”: los objetos tienen rigidez a la flexión y, por tanto, resisten una porción de la carga a través de deformación. Como resultado, se dispondrá de menos carga para transferir a los elementos estructurales situados debajo de ella²¹.
- Tipo “Membrane”: cargas aplicadas son repartidas en un 100% directamente a los elementos estructurales sobre los cuales se encuentra apoyada; además, no proporciona rigidez considerable, siendo inexistente la restricción al giro²¹.

Debido a que las cubiertas de *fibrocemento* no aportan rigidez, se hace uso del elemento **membrane**.

CRITERIOS DE FALLA

Dadas las diferencias en la forma en que se comportan los diferentes elementos estructurales y teniendo en cuenta su función dentro de la edificación y su material, se han asumido un criterio de falla diferente para cada elemento.

Cubierta en fibrocemento: para el chequeo de la cubierta, se compara la carga mínima de rotura para teja de fibrocemento categoría D, clase 2 (5000N/m)²², con la carga proveniente de la ceniza y la carga viva, la falla se presenta cuando el esfuerzo real de la cubierta (proporcionado por el software) supera el esfuerzo de flexión de una hoja de Eternit P-10 , igual a 1640 N/m², estos datos están consignados en el capítulo 9 del presente trabajo de investigación.

Los esfuerzos en losas son identificados como S_{ij} (donde i puede ser igual a 1 o 2 y j puede ser igual a 1, 2 o 3) y son aquellos que ocurren en la cara 1 de un elemento en dirección j ²³, notando que S_{21} y S_{12} son iguales.

La dirección j se refiere al sentido del eje local del elemento. Así, esfuerzo S_{11} , ocurre sobre la cara del elemento (perpendicular a la dirección del eje 1 de la losa)

²¹ Computers and Structures, INC. Software de diseño integral para Edificaciones. Berkeley, California, 1995. P;121

²¹ Ibid

²² ICONTEC, Bogotá, 1990.P;3.

²³ Computers and Structures, INC. Software de diseño integral para Edificaciones. Berkeley, California, 1995. P;218

y actúa en dirección paralela al eje 1 del elemento (las tensiones actúan normales a la cara 1). Como otro ejemplo, esfuerzo S_{12} ocurre sobre la cara 1 del elemento (Perpendicular al eje 1) y actúa en dirección paralela al eje 2 (las tensiones actúan de forma paralela al eje 1 como si fueran un esfuerzo cortante), lo que se puede detallar más claramente en la figura 7.

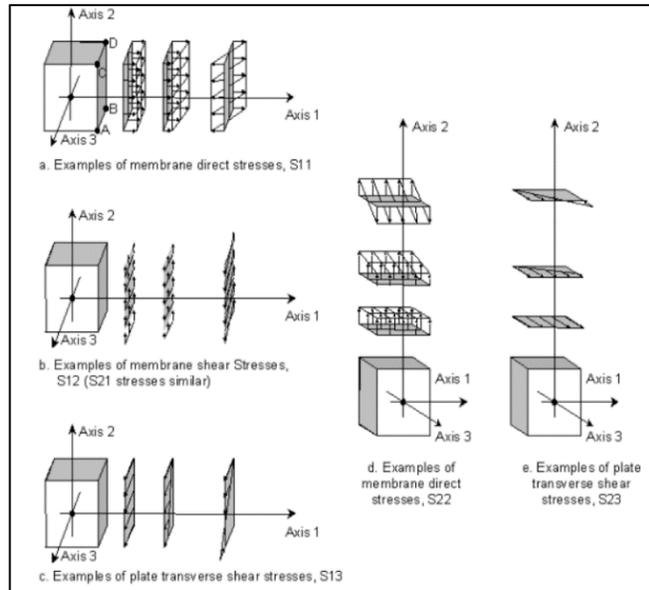


Figura 7. Esfuerzos en los planos.
Tomado de Manual Concrete Design ²³

Columnas en madera: en este tipo de elementos estructurales encontrados en dos de los bloques estudiados, se realiza la verificación de que la carga puntual que recibe sea menor que la admisible, que se calcula según el título G.4.3-5 de NSR-10²⁴, como sigue;

- **CÁLCULO DE LONGITUD EFECTIVA**

$$l_e = k_e l_u \text{ [G.4.3-1] [ECUACIÓN 2]}$$

l_e = Longitud efectiva en mm

²³ ibid

²⁴ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. NSR-10. Bogotá, Colombia. Marzo de 2010. Título G. P;G-42

k_e = Coeficiente de longitud efectiva, según tabla G. 4.3 – 1
 l_u = Longitud no soportada lateralmente de la columna en la dirección en mm

- **RELACIÓN DE ESBELTEZ.**

En el diseño de columnas de madera, se considera como medida de esbeltez la definida por la fórmula;

$$\gamma = \frac{l_e}{r*\sqrt{12}} \text{ [G.4.3-2] [ECUACIÓN 3]}$$

De la tabla G.4.3-2 al tratarse de una columna de sección transversal cuadrada es posible aplicar la fórmula simplificada;

$$\gamma = \frac{l_{e1,2}}{d}$$

Dónde d= dimensión de la sección transversal, en mm

- **COEFICIENTE DE ESTABILIDAD EN COLUMNAS**

$$F_{CE} = \frac{0,822E' \min}{\gamma^2} \text{ [Ecuación 4]}$$

$$C_P = \frac{1+F_{CE}/F^*C}{2C} - \sqrt{\left[\left(\frac{1+F_{CE}}{2C} \right)^2 - \frac{F_{CE}}{C} \right]} \text{ [Ecuación 5]}$$

Dónde;

C=0,8 (De tabla G.4.3-3)

- **CARGAS ADMISIBLES.** Las cuales se calculan con la siguiente ecuación;

$$P_n = F^*cAn \text{ [Ecuación 6]}$$

Vigas y correas de madera: para los elementos que trabajan a flexión, se realiza un chequeo de momentos actuantes (M33) proporcionado por ETabs vs momento resistente, el cual se calcula según el título G del código sismo-resistente, como sigue;

De ¹⁸ se sabe que, el momento actuante sobre vigas rectangulares, no debe exceder el valor de momento resistente dado por la fórmula G.3.3-7²⁴ .

¹⁸ Ibid

²⁴ Ibid

$$M_{max} \leq F' b \frac{b d^2}{6} [\text{Ecuación 7}]$$

Columnas de concreto: los elementos estructurales que trabajan a compresión, se podrían verificar manualmente mediante la comparación de momentos actuantes para cada espesor de ceniza. Sin embargo, el software brinda una opción en la que este factor es calculado automáticamente mediante la verificación de la relación carga momento. En primer lugar, es necesario haber especificado el refuerzo en acero (cantidad y tipo de varilla), ya que funciona como chequeo del comportamiento que tiene elemento frente a las condiciones aplicadas. La verificación de capacidad se basa en si los puntos de carga de diseño se encuentran dentro del volumen de interacción con la opción column p-mm interaction ratios. Si el punto está dentro del volumen, la capacidad de la columna es adecuada, y viceversa. El punto en el volumen de interacción (P, Mx y My) representado por el punto L se coloca en la interacción; si el punto está dentro éste, la capacidad de la columna es adecuada; Sin embargo, si el punto está fuera del mismo, está sobrecargada²⁶.

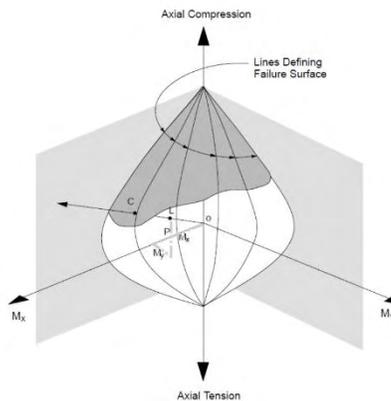


Figura 8. Diagrama Interacción P-MX-MY.
Tomado de CSI MANUAL CONCRETE
DESIGN²⁵

Vigas de concreto: para estos elementos estructurales se utiliza una función en el software, similar a la utilizada para el análisis y chequeo de las columnas, en este caso, se trata de 6/5Beam/Column Capacity Ratios, se trata de la capacidad dada

²⁴ ibid

²⁶ Computers and Structures, INC. Software de diseño integral para Edificaciones. Berkeley, California, 1995. P;230

por la sumatoria de 6/5 los momentos resistentes en vigas y los momentos resistentes en columnas que concurren en dicho nodo²⁵, al correr esta opción en el análisis, las vigas señaladas en rojo, son aquellas que presentan problemas con la cuantía de acero suministrada, es decir, es menor a la necesaria para las condiciones de carga.

Estructuras metálicas: el chequeo que se realiza para elementos metálicos, consiste en calcular las fuerzas y esfuerzos por flexión, carga axial y de cortante en múltiples localizaciones a lo largo de la longitud del elemento y, comparando los valores calculados con los límites permisibles. La comparación produce una relación Demanda/Capacidad (Capacity ratios)²⁵ que debe ser menor que un valor igual a 1 para que satisfagan los requerimientos del código colombiano de construcciones sismoresistentes.

Elementos finitos: La aplicación de elementos finitos en este proyecto de investigación, surge de la necesidad de obtener resultados con un nivel de precisión más alto que los proporcionados por métodos como el de diferencias finitas, que por ejemplo, tiene dificultades a la hora de aplicarse en elementos en sistemas de geometría irregular, con condiciones no usuales a o de composición heterogénea²⁷. El elemento finito en cambio proporciona una alternativa más adecuada para tales sistemas, consiste en dividir el dominio de la solución en pequeñas regiones, a lo que se le llama discretización²⁸. La discretización se refiere a dividir el dominio en elementos finitos, ya sea en una, dos o tres dimensiones, los puntos de unión denominados nodos²⁶, esta discretización se puede conseguir en Etabs con el uso de la opción *FLOOR AUTO MESH OPTION*²⁹, de tal modo serán aplicadas las ecuaciones óptimas para el análisis por el programa trabajado.

ESCLERÓMETRO DE IMPACTO

²⁷ CHAPRA .S, REYMOND. C, Métodos numéricos para Ingenieros, New York,2000, p;201.

²⁸ GABALDON CASTILLO, FELIPE. Método de los Elementos Finitos, PREPROCESO Y POSTPROCESO, Madrid 2007, P;3-7

²⁹ Computers and Structures, INC. Software de diseño integral para Edificaciones. Berkeley, California, 1995. P;191

El esclerómetro de impacto es un aparato mediante el cual se puede realizar un ensayo no destructivo, con el índice de rebote se obtiene la resistencia del concreto armado, este se obtiene “cargando” el émbolo para enviarlo con una energía de impacto fija, para ello se presiona el aparato sobre la superficie limpia de concreto, una vez el émbolo llega a un determinado punto un resorte lo libera y golpea el hormigón, dependiendo de la dureza de misma, rebota con mayor o menor fuerza. Es la respuesta de rebote la que desplaza una guía sobre un visor escalado (de 10 a 100) y consigue la medición. Se puede presionar el botón de bloqueo para facilitar la lectura³⁰.

SCANNER BOSCH

El aparato para la detección de refuerzo que se utilizó es un *Bosch D-tect150 professional*, capaz de detectar en estructuras de concreto materiales como: tubos de plástico, acero de refuerzo, madera, etc, a una profundidad de hasta 150 mm, teniendo como propiedades mostrar la distancia entre objeto y otro, y el aviso sonoro y óptico (luz roja) cuando se detecta el material ³¹, este aparato se utilizó con el objetivo de que los datos numéricos introducidos en el Software sean lo más cercanos a la realidad posibles, al igual que el esclerómetro de impacto.

³⁰ PATOLOGÍA+REHABILITACIÓN+CONSTRUCCIÓN [En línea]
<https://www.patologiasconstruccion.net/2013/11/resistencia-del-hormigon-mediante-esclerometro-o-indice-de-rebote-1/>

³¹ BOSCH, ROBERT. OBJ_BUCH-844-007.book, Alemania, 2016. P;21.

2. ANTECEDENTES

Como es evidente, el tema de la vulnerabilidad en toda su magnitud ha sido estudiado por diferentes autores, sin embargo, para el caso, es necesario enfocarse únicamente en investigaciones concernientes a características similares a las explicadas previamente. Es así como, se toman algunos referentes que se han trabajado dentro del Grupo de Investigación en Riesgos y Amenazas (GRAMA).

El trabajo de Patiño ³², sobre el apoyo en la evaluación de la vulnerabilidad física y funcional de las edificaciones de ocupación normal a la caída de ceniza del Volcán Galeras, ubicadas en los municipios de Nariño, La Florida, Sandoná, Consacá y Yacuanquer, a grandes rasgos se centra en la capacidad de las cubiertas y determinar la probabilidad de un colapso de estas teniendo en cuenta para esto la tipología de cada una de las cubiertas para posteriormente realizar una evaluación estructural y encontrar la resistencia en cada tipología. Los resultados de este trabajo indican que por sus características constructivas y estructurales las cubiertas en teja más vulnerables a la caída de ceniza son las cubiertas livianas, seguidas por las moderadas y las pesadas, esta última resulta siendo la más resistente. El espesor de ceniza crítico encontrado en la revisión estructural demuestra que en las cubiertas pesadas la falla se inicia en las correas y luego en las armaduras. A partir de los resultados obtenidos en la revisión de las cubiertas en losa, se determinó que la más resistente a la sobrecarga por ceniza es la losa aligerada. Para el escenario máximo probable de caída piroclástica las cubiertas con mayor susceptibilidad al colapso son livianas y moderadas. Este trabajo es de vital importancia para los fines del proyecto debido a que se hicieron bastantes estudios en los cuales se analizaron las cubiertas y sus características concluyendo para cada una de estas su resistencia, con este trabajo de investigación se busca obtener resultados que también permitan llegar a una

³² PATIÑO ÁGREDA, I.D. Apoyo en la evaluación de la vulnerabilidad física y funcional de las edificaciones de ocupación normal a la caída de ceniza del Volcán Galeras, ubicadas en los municipios de Nariño, La Florida, Sandoná, Consacá y Yacuanquer, Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Civil. 2010.

conclusiones concretas y sobre todo, útiles para posteriores estudios acerca del tema.

Del mismo modo, se tomará parte de la metodología utilizada por Moriano et al³³, en busca de llegar a una gráfica similar a la construida por ellas, también integrantes del GRAMA en cuyo trabajo de investigación titulado *“Evaluación de la vulnerabilidad estructural por riesgo de lahares: Caso de estudio en la población de Santiago Xalitzintla, en el flanco NE del volcán Popocatepetl”*, se realiza una previa tipificación de estructuras encontradas, y mediante un trabajo de modelamiento, se reconoce en una escala de colores, el nivel de daño en las diferentes edificaciones, de acuerdo a un nivel de presión aplicada ante el riesgo de lahares.

³³ Moriano Tello, D.E., Paredes Ruiz, P.A. Evaluación de la vulnerabilidad estructural por riesgo de lahares: Caso de estudio en la población de Santiago Xalitzintla, en el flanco NE del volcán Popocatepetl, Paper, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana (Ingenieras Civiles). Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Civil. 2016.

3. METODOLOGÍA.

- Mediante visitas de campo al municipio de Cumbal se realizó el levantamiento requerido para obtener planos de las estructuras estudiadas y verificar que estos sean acordes con lo construido; de no haberlos, es necesario realizar las mediciones necesarias. También se debe revisar detalladamente los materiales utilizados así como el estado en que se encuentran.
- A partir de las medidas que se obtengan, se realiza abstracción para hacer el modelo estructural que será tridimensional y mediante el análisis realizado sobre su comportamiento se llegará finalmente a la curva Intensidad vs %Daño.

Análisis en cerchas, placa delgada y placa gruesa.

- I. Se calculan los estados de carga aplicables con los datos obtenidos
- II. Se generan modelos en ETabs con las medidas tomadas en campo.

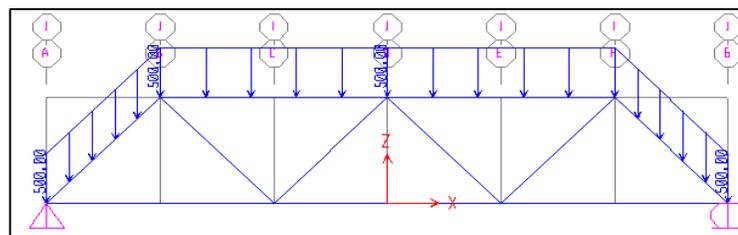


Figura 9. Modelo con cargas hipotéticas, en Etabs

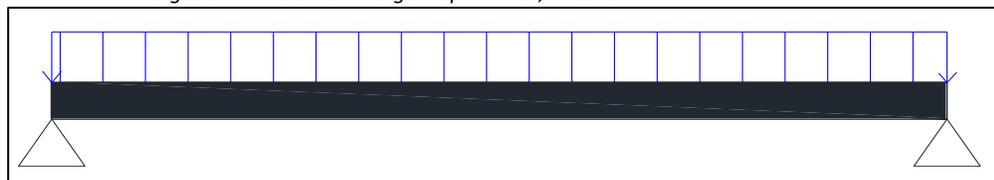


Figura 10. Modelo básico en ETabs.

- III. Se asumirá dentro de la carga muerta estática la carga efectuada por el depósito que se aumentará poco a poco. [Figuras 9 y 10].
- IV. Una vez cargada se hace análisis estructural para cada incremento de carga apoyándose del Software para el análisis de estructuras ETAB

- V. En los diagramas de estrés se podrá verificar si la estructura sigue en funcionamiento o ya ha fallado, con el análisis de los esfuerzos o momentos según sea el caso de la estructura utilizada (Figura 11 y figura 12).

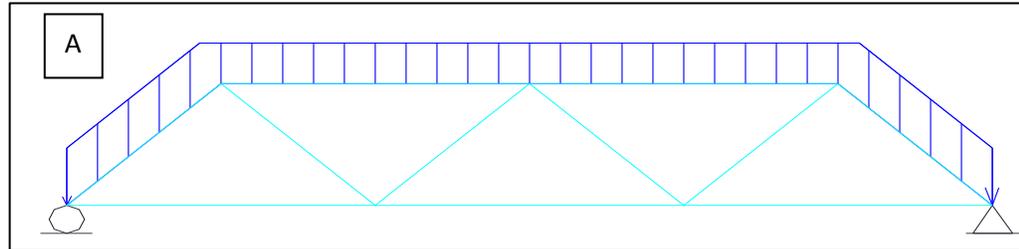


Figura 11. Cercha analizada con espesor aleatorio, no falla

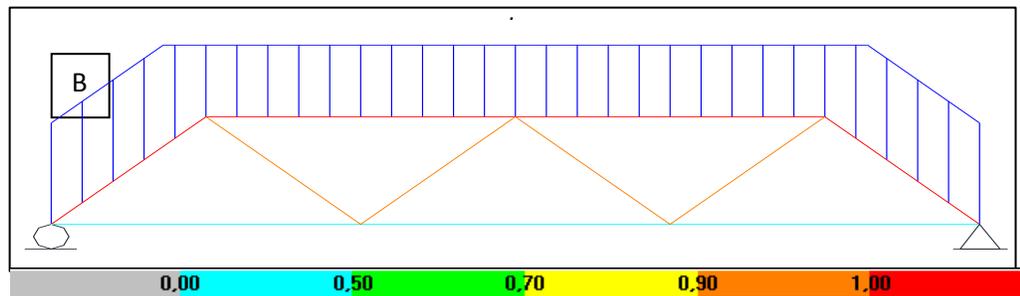


Figura 12 Cercha analizada con $e>$. Falla elemento superior y diagonales

4. VISITAS DE CAMPO

Se tomaron medidas procurando garantizar la máxima precisión que se pueda alcanzar con las condiciones existentes.

VISITA DE CAMPO 1: LEVANTAMIENTO A LAS ESTRUCTURAS

Toma de medidas en Escuela José Antonio Llorente: la medición de los bloques de la Institución Educativa se realizó de forma manual con la ayuda de cinta métrica y planos auxiliares realizados a mano alzada, los cuales, posteriormente fueron digitalizados. Se tuvo en cuenta todos los bloques en los cuales hay ocupación para actividades académicas, los cuales se indican en las figuras 13 a 17, expuestas a continuación.



Figura 14. Bloque de Aulas 1



Figura 13. Bloque de Aulas 2



Figura 17. Sala de laboratorios



Figura 16. Bloque F



Figura 15. Sala de informática

Toma de medidas en Iglesia de San Pedro: las medidas tomadas en la iglesia, corresponden a todos los elementos estructurales y no estructurales, que aportan peso y que la constituyen, entre los principales figuran; losa principal, sobre la cual se apoyan dos cúpulas y una bóveda central con una altura de 2.5 metros, además se midieron los diámetros y alturas de todas las columnas que soportan la estructura, a continuación en las figuras 18 a 24 se indican algunas fotografías en las que se detallan sus componentes;



Figura 19. Fachada de Iglesia



Figura 18. Vista interior



Figura 21. Vista exterior de losa Iglesia.



Figura 20. Losa interior

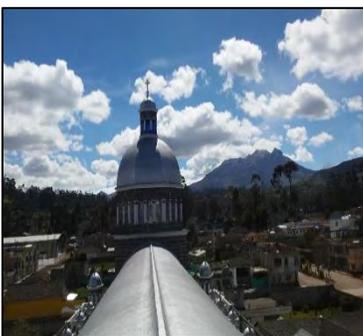


Figura 22. Cúpula posterior



Figura 24. Pórticos interiores Iglesia

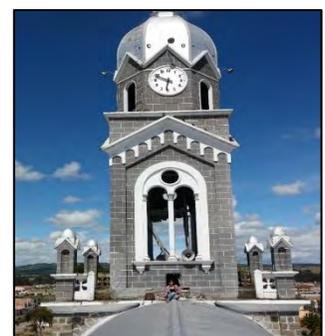


Figura 23. Cúpula frontal

VISITA DE CAMPO 2: OBTENCIÓN DE F'C REAL EN LAS ESTRUCTURAS.

Posteriormente, se realizó un nuevo trabajo de campo en las estructuras, esto con el objetivo de encontrar la resistencia a la compresión de las estructuras en concreto que se denominó f'_c real; con el uso de un esclerómetro de impacto²⁹ se encontró un valor de f'_c real promedio de 21 Mpa en columnas de todas las estructuras, además de la losa de la iglesia San Pedro Apostol. En cuanto a las vigas todas las encontradas contaron con un valor de $f'_c=21$ MPa, salvo las que conforman el bloque de Aulas 2 de la Insitución Educativa, cuya resistencia a la compresión es de 28 Mpa, con el valor de f'_c real se modelaron y se analizaron todas las estructuras. Se resumen los valores encontrados en la tabla 2. Las fotografías se incluyen en anexos.

Tabla 2. f'_c para elementos estructurales

Elemento estructural	Edificación	f'_c (Mpa)
Columnas	Iglesia San Pedro	21
Losa		21
Columnas	Aulas 1. I.E. José Antonio Llorente	21
Columnas	Aulas 2. I.E. José Antonio Llorente	21
Vigas		28
Columnas	Aulas de Informática. I.E. José Antonio Llorente	21
Vigas		21
Columnas	Laboratorios. I.E. José Antonio Llorente	21
Vigas		21
Columnas	Bloque F. I.E. José Antonio Llorente	21

VISITA DE CAMPO 3: OBTENCIÓN DE REFUERZO EN LAS ESTRUCTURAS.

En una tercera visita de campo, se determinó de manera aproximada el refuerzo de las edificaciones en estudio. Para esta labor se utilizó un Scanner BOSCH²⁹ que siguiendo su modo de uso proporciona la disposición y el diámetro del refuerzo longitudinal y transversal. Realizado el ensayo se digitalizaron los datos indicados en la tabla 3. Las fotografías de la visita se incluyen en anexos.

²⁹ Ibid

Tabla 3. Refuerzo en elementos estructurales

REFUERZO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES								
BLOQUE DE AULAS 1								
ELEMENTO ESTRUCTURAL:	<i>Columnas</i>							
Refuerzo transversal	diámetro(")	1/4"	# de barras de confinamiento	6	S en zona de confinamiento(cm)	5	S en el resto de la luz(cm)	20
Refuerzo longitudinal	diámetro(")	3/8"	# de barras por cara	3			Recubrimiento(cm)	3
BLOQUE F								
ELEMENTO ESTRUCTURAL:	<i>Columnas</i>							
Refuerzo transversal	diámetro(")	1/4"	# de barras de confinamiento	6	S en zona de confinamiento(cm)	5	S en el resto de la luz(cm)	20
Refuerzo longitudinal	diámetro(")	3/8"	# de barras por cara	3			Recubrimiento(cm)	3,5
ELEMENTO ESTRUCTURAL:	<i>Vigas</i>							
Refuerzo transversal	diámetro(")	1/4"	# de barras de confinamiento	6	S en zona de confinamiento(cm)	5	S en el resto de la luz(cm)	20
Refuerzo longitudinal	diámetro(")	3/8"	# de barras	3			Recubrimiento(cm)	4
BLOQUE DE AULAS 2								
ELEMENTO ESTRUCTURAL:	<i>Columnas rectangulares Piso 1 y 2</i>							
Refuerzo transversal	diámetro(")	1/4"	# de barras de confinamiento	6	S en zona de confinamiento(cm)	5	S en el resto de la luz(cm)	15
Refuerzo longitudinal	diámetro(")	5/8"	# de barras por cara	4			Recubrimiento(cm)	3,5
ELEMENTO ESTRUCTURAL:	<i>Columnas circulares Piso 1 y 2</i>							
Refuerzo transversal	diámetro(")	1/4"	# de barras de confinamiento	6	S en zona de confinamiento(cm)	5	S en el resto de la luz(cm)	15
Refuerzo longitudinal	diámetro(")	4/8"	# de barras	7			Recubrimiento(cm)	3,5
ELEMENTO ESTRUCTURAL:	<i>Vigas piso 1 y 2</i>							
Refuerzo transversal	diámetro(")	3/8"	# de barras de confinamiento	3	S en zona de confinamiento(cm)	5	S en el resto de la luz(cm)	15
Refuerzo longitudinal	diámetro(")	5/8"	# de barras	6			Recubrimiento(cm)	4
BLOQUE LABORATORIOS								
ELEMENTO ESTRUCTURAL:	<i>Columnas</i>							
Refuerzo transversal	diámetro(")	1/4"	# de barras de confinamiento	6	S en zona de confinamiento(cm)	5	S en el resto de la luz(cm)	15
Refuerzo longitudinal	diámetro(")	3/8"	# de barras por cara	2			Recubrimiento(cm)	4,5
ELEMENTO ESTRUCTURAL:	<i>Vigas</i>							
Refuerzo transversal	diámetro(")	1/4"	# de barras de confinamiento	6	S en zona de confinamiento(cm)	5	S en el resto de la luz(cm)	15
Refuerzo longitudinal	diámetro(")	3/8"	# de barras por cara	2			Recubrimiento(cm)	4,5
AULAS DE INFORMÁTICA								

ELEMENTO ESTRUCTURAL:		Columnas						
Refuerzo transversal	diámetro(")	1/4"	# de barras de confinamiento	6	S en zona de confinamiento(cm)	5	S en el resto de la luz(cm)	15
Refuerzo longitudinal	diámetro(")	3/8"	# de barras por cara	2			Recubrimiento(cm)	4,5
ELEMENTO ESTRUCTURAL:		Vigas						
Refuerzo transversal	diámetro(")	1/4"	# de barras de confinamiento	6	S en zona de confinamiento(cm)	5	S en el resto de la luz(cm)	15
Refuerzo longitudinal	diámetro(")	3/8"	# de barras por cara	2			Recubrimiento(cm)	4,5
IGLESIA								
ELEMENTO ESTRUCTURAL:		Columnas cuadradas sección: 60cm*60cm						
Refuerzo transversal	diámetro(")	1/4"	# de barras de confinamiento	6	S en zona de confinamiento(cm)	5	S en el resto de la luz(cm)	15
Refuerzo longitudinal	diámetro(")	3/4"	# de barras en total	10			Recubrimiento(cm)	4
ELEMENTO ESTRUCTURAL:		Columnas circulares, diámetro=40 cm						
Refuerzo transversal	diámetro(")	1/4"	# de barras de confinamiento	7	S en zona de confinamiento(cm)	5	S en el resto de la luz(cm)	15
Refuerzo longitudinal	diámetro(")	3/4"	# de barras	10			Recubrimiento(cm)	4,5

5. PROCESAMIENTO DE DATOS

5.1. PLANIMETRÍA DE ESCUELA JOSÉ ANTONIO LLORENTE

En las figuras 26 a 32 se adjunta la planimetría realizada.

Bloque de aulas 1

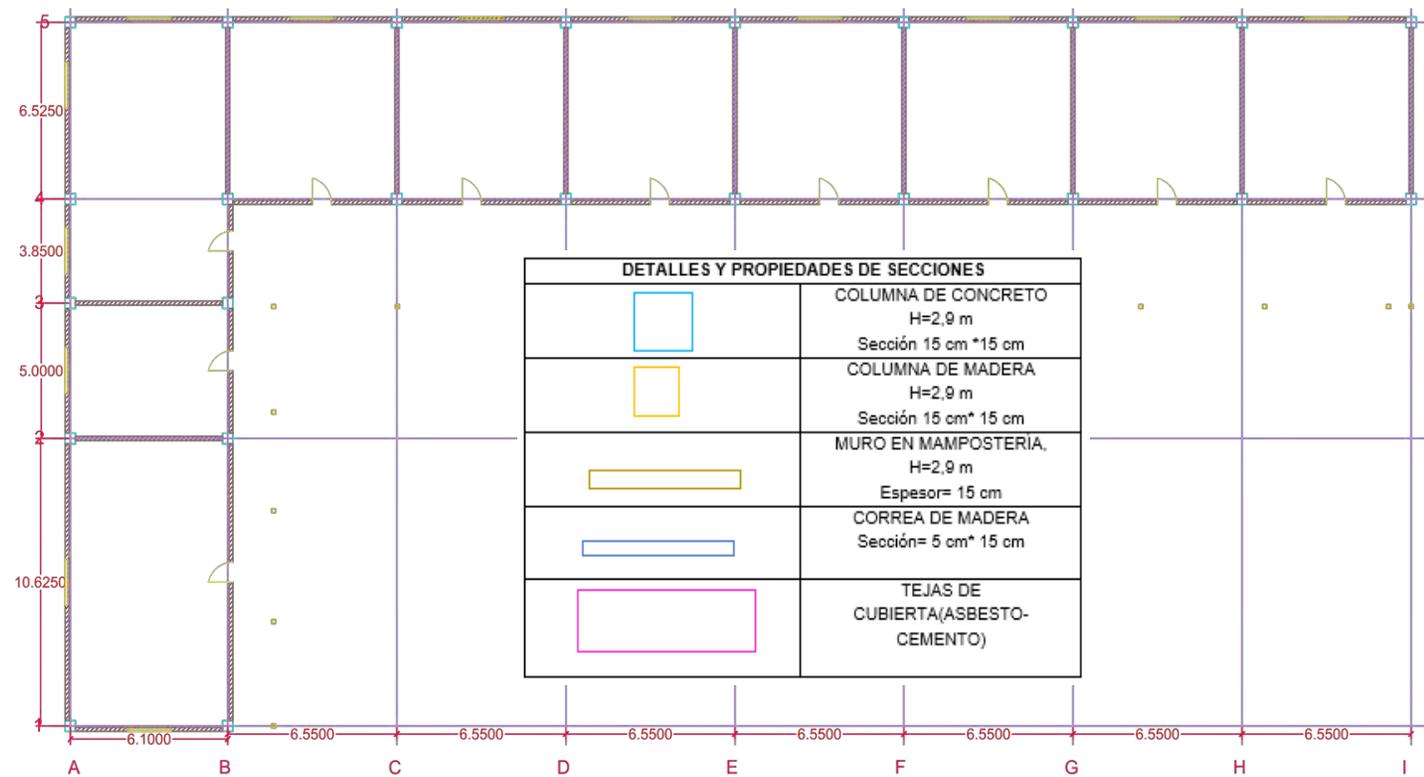


Figura 25. Planimetría bloque de aulas 1-grilla madera

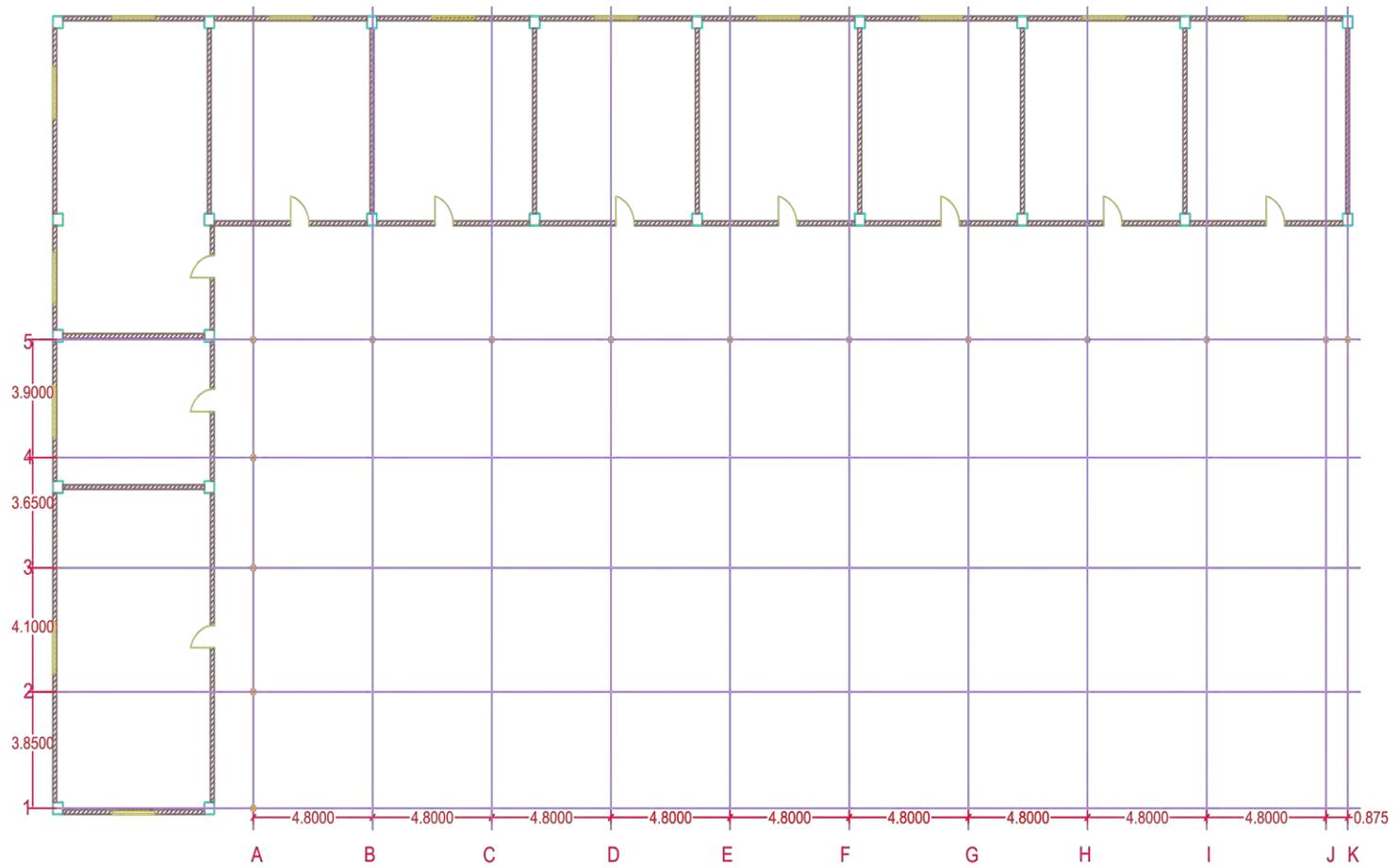


Figura 26. Planimetría bloque de aulas 1-grilla concreto.

Bloque de aulas 2.

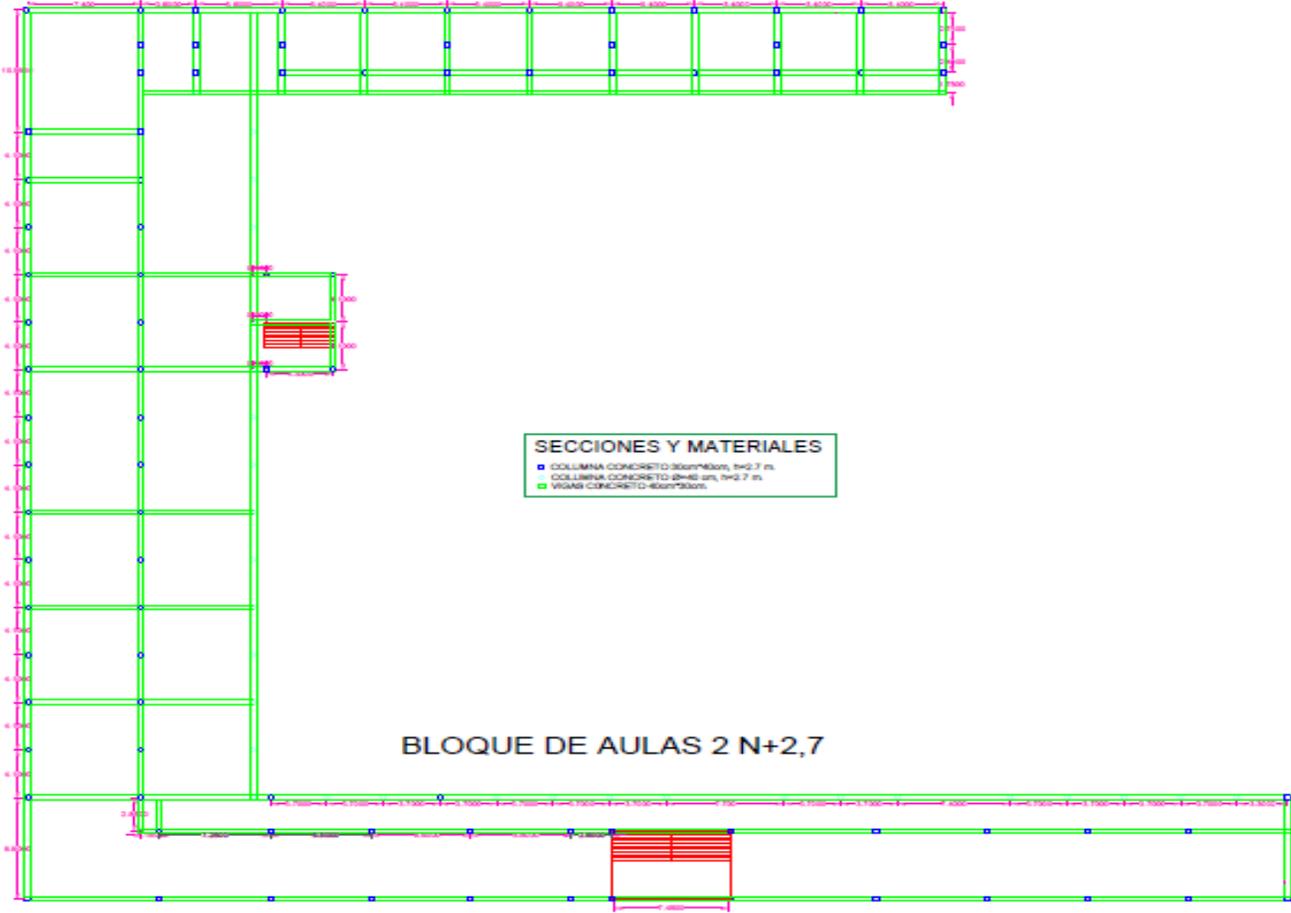


Figura 27. Bloque de aulas 2 N+2,7

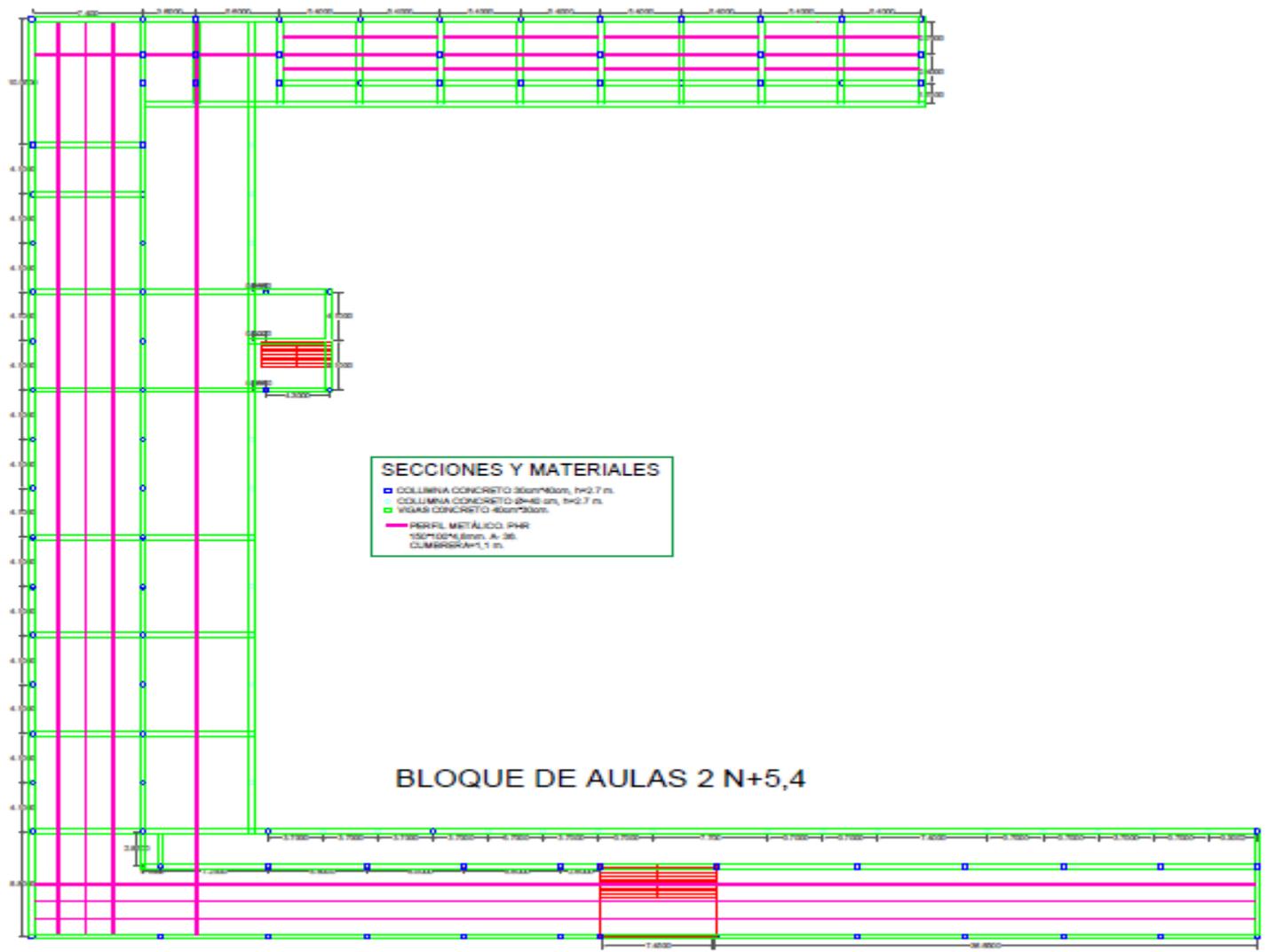
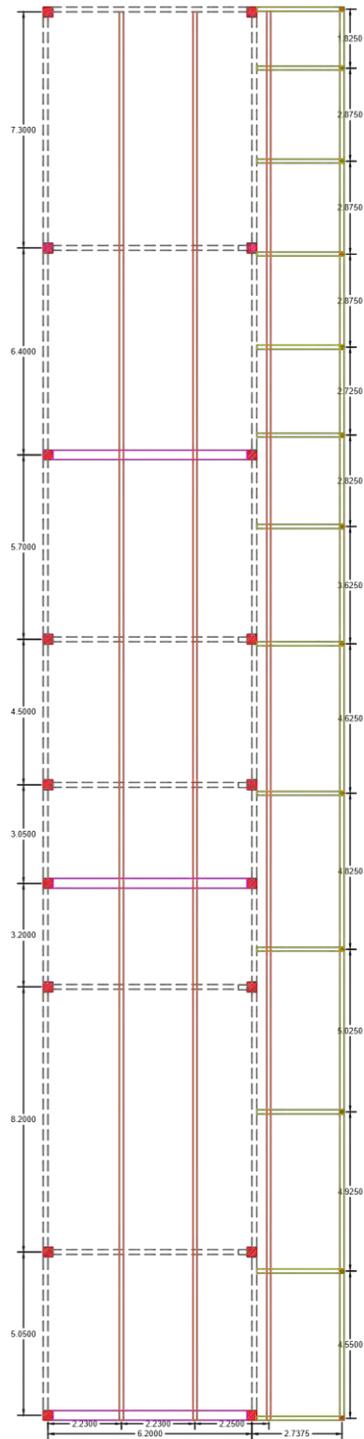


Figura 28. Bloque de aulas 2 N+5,4

Bloque F

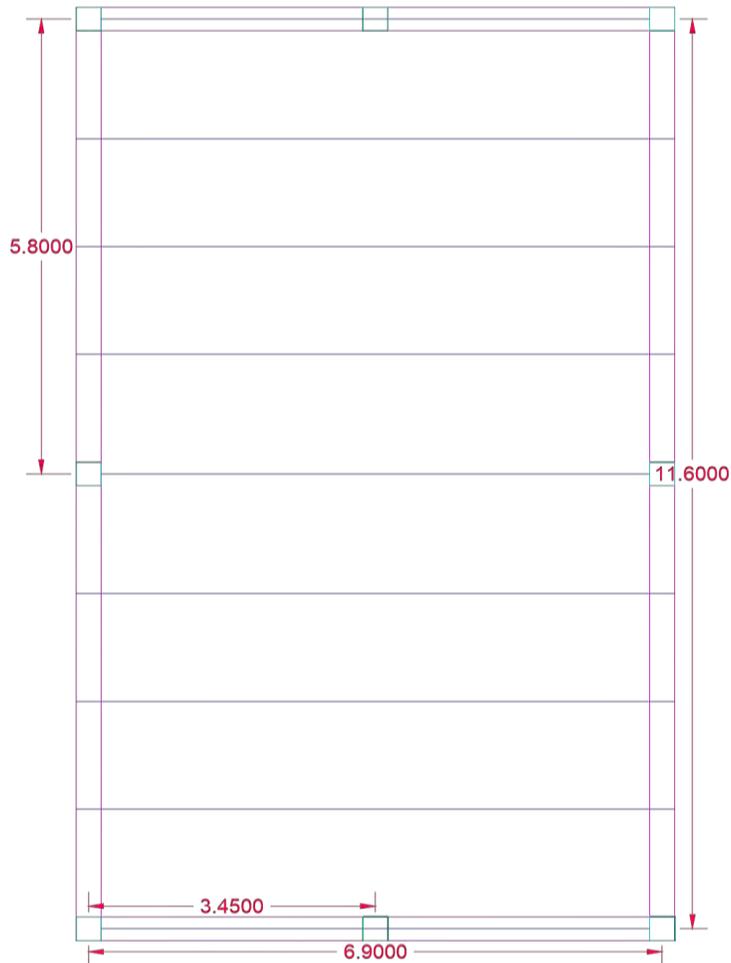


SECCIONES Y MATERIALES

- COLUMNA CONCRETO 30*30, h=2.7 m.
- ▭ VIGAS CONCRETO 30cm*30cm.
- COLUMNA MADERA 12,5cm*12,5cm h=2.7 m.
- ▭ Muro mampostería, e=15 cm. h=2.7 m
- ▭ VIGAS MADERA 12,5cm*12,5cm.
- ▭ CORREAS MADERA 12,5cm*12,5cm. Caballete 3,6 m

Figura 29. Bloque F

Aulas de informática



SECCIONES Y MATERIALES	
□	COLUMNA CONCRETO 30cm*30cm, h=2.7 m.
□	VIGAS CONCRETO 30cm*30cm.
—	PERFIL METÁLICO. PHR 150*100*4,8mm. A- 36. CABALLETE A 3.6m

Figura 30. Planimetría aulas de informática

Laboratorios

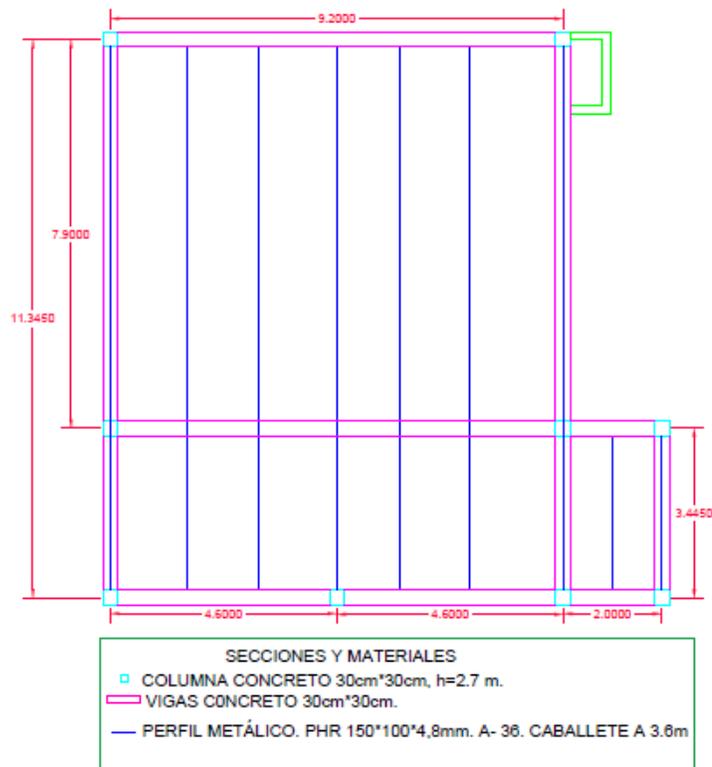


Figura 31. Planimetría laboratorios

5.2. PLANIMETRÍA DE IGLESIA SAN PEDRO

En las figuras 33 a 35 se indica la planimetría de la estructura.

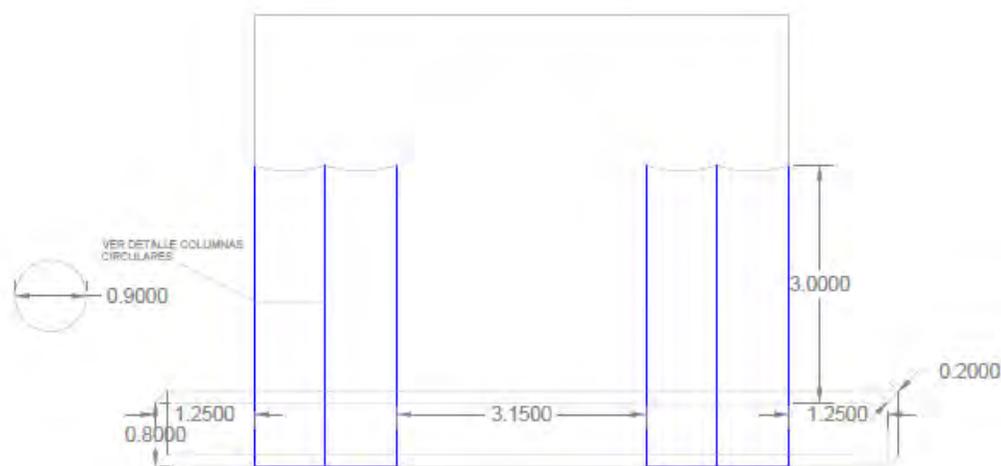


Figura 32. Columnas interiores Iglesia

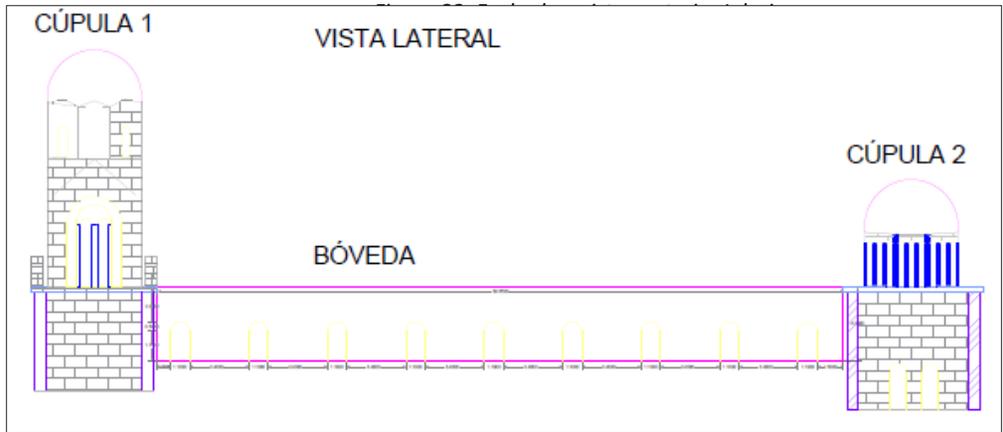
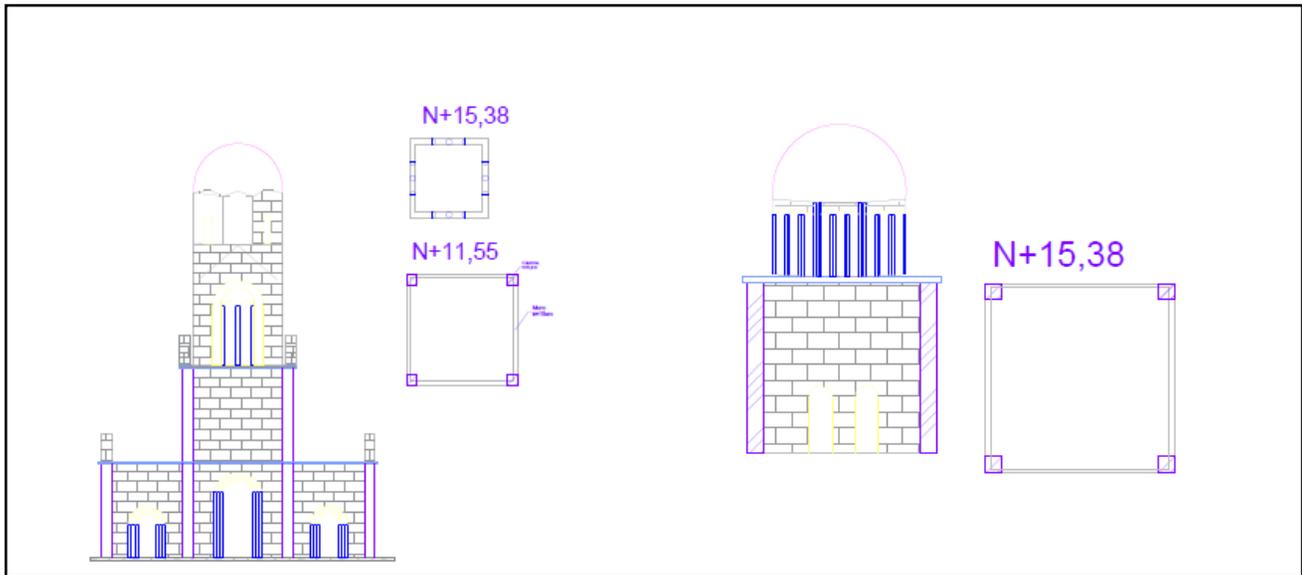


Figura 34. Vista lateral Iglesia

5.3. OBTENCIÓN DE CARGA DE CENIZA

Según el SGC ¹, la densidad seca de la ceniza de los volcanes estudiados es de 1000 kg/m³. Se trabaja con espesores desde 0,5 cm hasta 20 cm, realizando incrementos de 0,5 cm hasta llegar al valor último. Es de notar que los 20 cm resultan de un caso extremo en el que se dé una erupción simultánea de los dos volcanes, y que cada uno produzca el máximo espesor esperado en la zona de estudio, es decir, 10 cm.

La carga de ceniza se puede calcular como sigue [Ecuación 8];

$$CC = \frac{\rho * e}{1000} \quad [\text{Ecuación 8}]$$

Donde:

- CC: Carga de ceniza (ton/m²)
- ρ: Densidad seca de la ceniza (kg/m³)
- e: Espesor variable de la capa de ceniza (m)

Una vez aplicada la ecuación para encontrar la carga por unidad de área, se tienen los resultados consignados en la tabla 4

Tabla 4. Espesor de ceniza-Peso seco

Espesor ceniza [cm]	Espesor ceniza [m]	pseca [Kg/m ³]	peso seco [ton/m ²]
0.50	0.01	1000	0.005
1.00	0.01		0.010
1.50	0.02		0.015
2.00	0.02		0.020
2.50	0.03		0.025
3.00	0.03		0.030
3.50	0.04		0.035
4.00	0.04		0.040
4.50	0.05		0.045
5.00	0.05		0.050
5.50	0.06		0.055
6.00	0.06		0.060
6.50	0.07		0.065
7.00	0.07		0.070

¹ ibid

Espesor ceniza	Espesor ceniza	peso seco
[cm]	[m]	[ton/m²]
7.50	0.08	0.075
8.00	0.08	0.080
8.50	0.09	0.085
9.00	0.09	0.090
9.50	0.10	0.095
10.00	0.10	0.100
10.50	0.11	0.105
11.00	0.11	0.110
11.50	0.12	0.115
12.00	0.12	0.120
12.50	0.13	0.125
13.00	0.13	0.130
13.50	0.14	0.135
14.00	0.14	0.140
14.50	0.15	0.145
15.00	0.15	0.150
15.50	0.16	0.155
16.00	0.16	0.160
16.50	0.17	0.165
17.00	0.17	0.170
17.50	0.18	0.175
18.00	0.18	0.180
18.50	0.19	0.185
19.00	0.19	0.190
19.50	0.20	0.195
20.00	0.20	0.200

Es importante resaltar que la lluvia es un imprevisto que se debe contemplar a la hora de calcular cargas, ya que según Guerrero Martínez et Al ¹³, la densidad de la ceniza en condiciones saturadas varía entre 1000 y 2000 Kg/m³, de la cual para efectos del presente trabajo de investigación se ha adoptado un valor promedio de 1500kg/m³ para la obtención de cargas. La tabla 5 indica los valores para ceniza húmeda que serán utilizados en los modelos :

¹³ Ibid

¹³ Ibid

Tabla 5. Valores utilizados en los modelos

Espesor ceniza	Espesor ceniza	phumeda	peso humedo
[cm]	[m]	[Kg/m³]	[ton/m²]
0.50	0.01	1500	0.008
1.00	0.01		0.015
1.50	0.02		0.023
2.00	0.02		0.030
2.50	0.03		0.038
3.00	0.03		0.045
3.50	0.04		0.053
4.00	0.04		0.060
4.50	0.05		0.068
5.00	0.05		0.075
5.50	0.06		0.083
6.00	0.06		0.090
6.50	0.07		0.098
7.00	0.07		0.105
7.50	0.08		0.113
8.00	0.08		0.120
8.50	0.09		0.128
9.00	0.09		0.135
9.50	0.10		0.143
10.00	0.10		0.150
10.50	0.11		0.158
11.00	0.11		0.165
11.50	0.12		0.173
12.00	0.12		0.180
12.50	0.13		0.188
13.00	0.13		0.195
13.50	0.14		0.203
14.00	0.14		0.210
14.50	0.15		0.218
15.00	0.15		0.225
15.50	0.16	0.233	
16.00	0.16	0.240	
16.50	0.17	0.248	
17.00	0.17	0.255	
17.50	0.18	0.263	
18.00	0.18	0.270	
18.50	0.19	0.278	
19.00	0.19	0.285	
19.50	0.20	0.293	
20.00	0.20	0.300	

5.4. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ENCONTRADOS

En las estructuras de la Institución Educativa José Antonio Llorente y la Iglesia de San Pedro, se encuentran tres materiales principales (Concreto, madera, acero) los cuales son utilizados principalmente en la construcción del sistema estructural,

estos a su vez cuentan con diferentes propiedades mecánicas. Además, en el momento en que se realiza el análisis y la obtención de resultados, se debe tener en cuenta el fibrocemento utilizado en el sistema de cubiertas de la Institución Educativa que requiere un estudio mediante el uso de Elemento Finitos²⁶, a continuación se indica un agrupamiento de las estructuras según el año de construcción y de acuerdo con el material principal utilizado, en la tabla 6, se puede observar la clasificación de las edificaciones analizadas;

Tabla 6. Clasificación de estructuras

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	ESTRUCTURA	MATERIAL(ES)
<1984	IGLESIA DE SAN PEDRO	-CONCRETO REFORZADO
1984-1998	BLOQUE DE AULAS 1 BLOQUE F	-CONCRETO REFORZADO -MADERA
1998-2010	BLOQUE DE AULAS 2	-CONCRETO REFORZADO -PERFILERÍA METÁLICA
>2010	SALA DE COMPUTADORES SALA DE LABORATORIOS	-CONCRETO REFORZADO -PERFILERÍA METÁLICA

Concreto reforzado: en las edificaciones analizadas se esperaban diferentes calidades para el $f'c$, sin embargo, después de hacer el ensayo de esclerómetro ²⁹, se encontró que la mayoría de los elementos estructurales tienen una resistencia a la compresión de 21 MPa salvo las vigas de uno de los bloques de la I.E JOSÉ ANTONIO LLORENTE como se indicó en la tabla 2, del presente trabajo de investigación.

Acero: las propiedades del acero se asumen como las requeridas por el Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente Títulos A, C y F (Grado 60), en estructuras como las estudiadas con Grupos de Uso y coeficiente de importancia como sigue; Grupo IV y Coeficiente $I=1,5$ para la Iglesia San Pedro, al tratarse de Edificaciones designadas como refugios para emergencias ³¹, en este trabajo se clasifica la Iglesia en este grupo, ya que, a pesar de que en el código no aparece de manera explícita, el común de la gente tiende a usarlos como refugio, y Grupo III y Coeficiente $I=1,25$ en el caso de la I.E. JOSÉ ANTONIO LLORENTE, haciendo parte esta de Guarderías, escuelas, colegios, universidades y otros centros de enseñanza³³, aclarado esto, se muestra en la tabla 7, las propiedades características del material;

²⁶ ibid

²⁹ ibid

Tabla 7. Propiedades del acero $f_y=60000$

Propiedad	Valor
ρ [ton/m ³]	7.8334
E [kN/m ²]	200000000
F_y [kN/m ²]	413685,5
F_u [kN/m ²]	620528,2
F_{ye} [ton/m ²]	455054
F_{ue} [ton/m ²]	682581

Madera: el Achapo es un tipo de madera conífera³⁴ con las propiedades enunciadas en la tabla 6, que usualmente se utiliza en construcciones de esta índole, por sus propiedades mecánicas, a sabiendas de esto, en el momento de la primera visita de campo, se llevó a un experto de la región en construcciones en madera, quién, por inspección visual y su experiencia en ello, determinó que se trataba efectivamente de este tipo de material, en las tabla 8, se ingresan sus propiedades físicas y mecánicas.

Tabla 8. Propiedades físicas del Achapo³⁴

Kg.cm	
Propiedades físicas	
Densidad básica	0,00037
Propiedades mecánicas	
Módulo de elasticidad en flexión(kg/cm ²)	90
Módulo de rotura en flexión(kg/cm ²)	698
Compresión paralela (RM) (kg/cm ²)	333
Compresión perpendicular (ELP) (kg/cm ²)	41
Corte paralelo a las fibras (kg/cm ²)	81
Dureza en los lados(kg)	267
Tenacidad (resistencia al choque) (kg.cm)	2,16

Fibrocemento: según ficha técnica de Eternit³⁵. Las principales propiedades de la teja modulada en fibrocemento utilizada en la totalidad de las cubiertas de la I.E. JOSÉ ANTONIO LLORENTE, son las consignadas en la tabla 9.

³⁴ WWF-COLOMBIA-PROGARMA SUBREGIONAL, AMAZONAS NORTE & CHOCÓ DARIÉN. Maderas de Colombia. P;13, 14.

³⁵ Eternit. Tejas onduladas P+10, 2014. Ficha técnica.

Tabla 9. Propiedades mecánicas de tejas fibrocemento [33]

Propiedad	Valor
Resistencia a la flexión (kg/cm²)	160
Peso promedio por unidad de superficie(kg/cm²)	14,5
Coefficiente de conductividad térmica (kcal/m²h°C)	4,76

5.5. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

El proceso de modelación estructural en software se hace en CSI ETABS en su versión 15.2.2. Se realiza un modelo para cada uno de los bloques nombrados anteriormente, teniendo en cuenta diferentes variables influyentes, como:

Combinaciones de carga aplicadas en modelos .edb: al ser este un trabajo de chequeo de estructuras, y para las condiciones dadas se exploran las opciones posibles que interesan para este tipo de estudio de vulnerabilidad por caída de ceniza. Dicho esto, se toma en cuenta la posible presencia de carga viva que pudiese presentarse sobre la cubierta por concepto de personal de limpieza. Por tanto en las combinaciones de carga se tendrá en cuenta las cargas de ceniza húmeda y seca, la carga muerta y la carga viva. En este trabajo se propone una modificación a la combinación B.2.4-4 del código, para tener en cuenta la carga de ceniza y la totalidad de Lr, no reducida por 0,5, así;

✚ 1,2D+L+Lr+ASH (DRY/WET) _ (1, 2, 3,..20) cm.

✚ 1,2D+L+ASH (DRY/WET) _ (1, 2, 3,...20) cm.

Donde D es la carga muerta con un factor de 1,2 señalado por el código que permite tener en cuenta la incertidumbre debido a la edad de la estructura y posibles fallas de mantenimiento como es la presencia de polvo y suciedad depositados sobre las cubiertas. L es la carga viva presente en cada edificación, Lr se refiere a la carga viva de cubierta. ASH es la carga de ceniza seca o húmeda (DRY/WET).

Para determinar la carga con la cual las estructuras fallan, se inicia desde un valor bajo del depósito de ceniza (0,5 cm) incrementándolo hasta que se presenten fallas estructurales, el valor del incremento es de 0,5 cm. El valor máximo de 20 cm se toma porque de acuerdo a la máxima que soportan las tejas estipuladas en la norma están colapsarían con 16,7 cm en condiciones óptimas; apoyos según

especificación técnica, ceniza seca y sin carga viva de cubierta, por tanto por seguridad los incrementos se limitan hasta 20 cm

Modelado y cargas en estructuras en etabs: una vez definida la información de la geometría de las estructuras y sus cargas se procede a modelar los distintos elementos de su composición.

Columnas de concreto reforzado: se modelan como MARCOS³⁶ (frames en el programa). En las propiedades de su sección se aclara que funciona como Columna (COLUMN P-M2-M3 en el programa) cuyo funcionamiento será chequeado en lugar de diseñado. Además se debe incluir la disposición del acero de refuerzo consignado en la tabla 6, y se introduce el valor de $f'c$, según cuál sea la estructura correspondiente. Finalmente, en cuanto al apoyo, este se asume en todos los casos como empotramiento¹⁹.

Vigas de concreto reforzado: las vigas son construidas como MARCOS³⁶, en las propiedades de su sección se aclara que funciona como Viga (BEAM-M3 en el programa). Se incluyen las especificaciones y disposición encontrados para el refuerzo y la característica de $f'c$ en el material.

Elementos de madera: se modelan como MARCOS³⁶, definiendo el material como ortotrópico, y se introducen los valores correspondientes a densidad y los módulos de elasticidad respectivos³⁴.

Estructura metálica: se modelan como MARCOS³⁶, asumiendo el material como acero A36 debido a que se observó una buena calidad y un estado nuevo y su sección tipo HSS152,4mmx50,8mmx2,5mm.

Cubierta de fibrocemento: se modelan como MEMBRANA (MEMBRANE) en el programa) 20 con un espesor nominal de 6 mm³⁰. Una vez modelada la cubierta se realiza sobre cada Membrana un proceso de discretización en elementos finitos²⁶ en búsqueda de obtener resultados más precisos. En cuanto al material este se define como Fibrocemento con las propiedades especificadas en la ficha técnica³³.

Sobre la cubierta de fibrocemento se aplica una carga igual a 0,049 kN/m² correspondiente a carga ASH, y de 0,35 kN/m², la carga viva según NSR-10 título B para cubiertas con una pendiente mayor a 15%³⁷. Los incrementos en los espesores de ceniza se consiguen multiplicando este valor constante (0,049) por 1,2,3...40, correspondiente a incrementos de espesores de 0,5 cm en 0,5 cm hasta llegar a 20 cm. De este modo en cada combinación se consigue la carga aplicada en la cubierta para diferentes espesores.

6. RESULTADOS

Una vez introducidos todos los parámetros enunciados anteriormente, se ejecuta el programa y se obtienen los resultados, clasificados según la estructura o bloque analizado. Para cada elemento estructural y su resistencia máxima, que está explicada dentro de los criterios de falla expuestos en el marco teórico, el análisis de los modelos de las edificaciones se realizó para las combinaciones de carga explicadas en el capítulo 5. Como se expone a continuación;

6.1. BLOQUE DE AULAS 1.

Cubierta de fibrocemento: una teja de fibrocemento en condiciones ideales resistiría 16,7 cm de ceniza seca y 11 cm de ceniza húmeda sin presencia de carga viva, como se indicó en el capítulo 3.11.1 Sin embargo, en las condiciones geométricas y de apoyos encontrados en las estructuras los esfuerzos y espesores máximos resultan menores tal como se muestra en la tabla 10. En las figuras 35 a 38, se indican los diagramas de esfuerzos.

Tabla 10. Esfuerzos en cubierta. Bloque de aulas 1

Sin Lr				Con Lr=0,35 kN/m ²			
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	ESFUERZO DE FALLA		Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	ESFUERZO DE FALLA	
		S ₁₁ (KPa)	S ₂₂ (KPa)			S ₁₁ (KPa)	S ₂₂ (KPa)
DRY	14	1,65	1,643	DRY (cm)	11,5	1,642	1,69
WET	9,5	1,67	1,68	WET(cm)	7,5	1,64	1,65

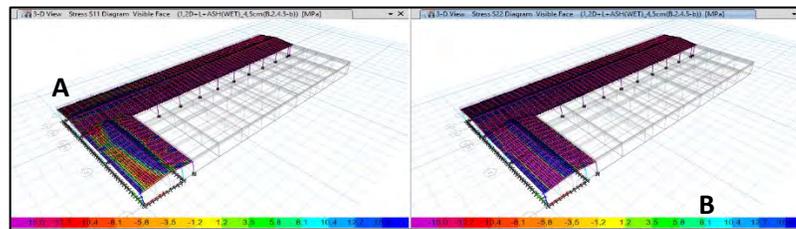


Figura 35. Bloque de Aulas 1(A). Esfuerzo S11 sin Lr. (B).Esfuerzo S22 sin Lr.

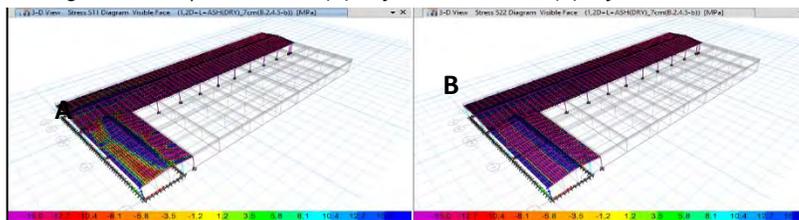


Figura 36. Bloque de Aulas 1(A). Esfuerzo S11 con Lr. (B) Esfuerzo S22 con Lr.

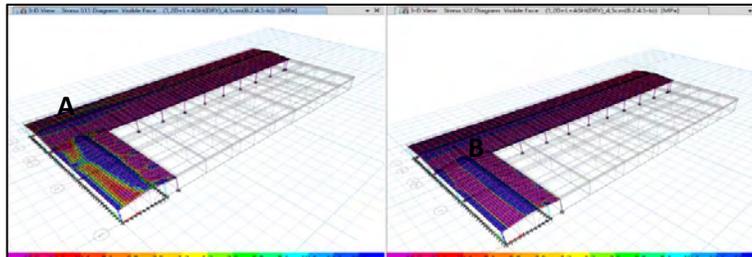


Figura 37. Bloque de aulas 1(A). Esfuerzo S11 con Lr. (B). Esfuerzo S22 con Lr.

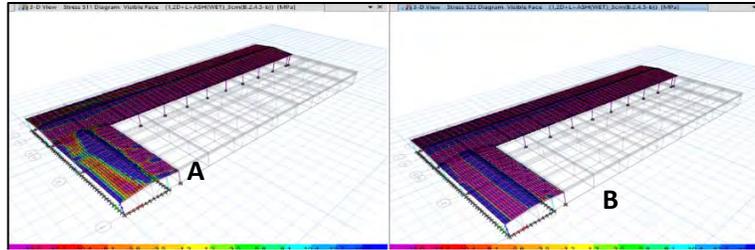


Figura 38. Bloque de aulas 1(A). Esfuerzo S11 con Lr. (B). Esfuerzo S22 con Lr.

Correas de madera: el criterio de falla para estos elementos es el punto en el cual superen el momento admisible. Siguiendo los pasos indicados en el numeral 3.11.3. y aplicando la Ecuación 7, teniendo en cuenta que $F'b$ para madera tipo ES3=23 Mpa²⁴, para esta correa con sección $b=50$ mm y $d=100$ mm se tiene que el momento máximo de chequeo es 1,91 kN.m. En la tabla 11, se consignan los datos correspondientes al elemento más crítico, es decir, la correa B104, mientras que las figuras 39 y 40 indican el diagrama de momentos correspondiente a los casos de falla. Finalmente, la figura 41, se refiere a la ubicación de B104 en el modelo del Bloque de Aulas 1, resaltada en color amarillo.

Tabla 11. B104 con Momento Actuante > Momento admisible. Bloque de Aulas 1

B104					
Sin Lr			Con Lr=0,35kN/m2		
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	M3-3 DE FALLA (kN.m)	Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	M3-3 DE FALLA (kN.m)
DRY	>20	-	DRY	>20	-
WET	17,5	2,03	WET	14,5	1,93



Figura 39. Bloque de Aulas 1. Diagrama de MF B104. Sin Lr, ASH WET.

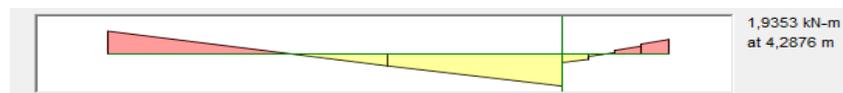


Figura 40. Bloque de Aulas 1. Diagrama de MF B104. Con Lr, ASH WET.

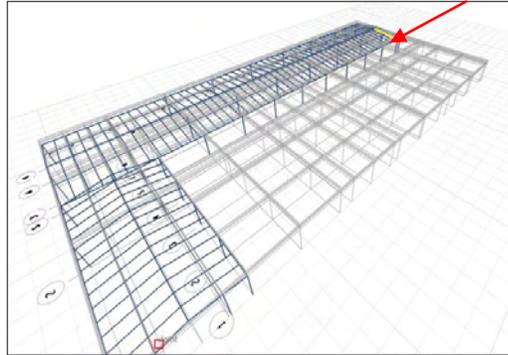


Figura 41. Bloque de Aulas 1. La flecha roja indica el elemento correa B104.

Columnas de madera: para el chequeo de columnas de madera de este bloque se realiza la verificación de que la carga actuante sobre ellas no supere la carga máxima admisible, que se calcula siguiendo los pasos del numeral 3.11.2. Se tiene que⁴¹; $K_e=1,2$, ya que tiene condición de apoyos 4²⁴. Luego de la ecuación 2; $l_e=3,48\text{ m}$, y con $b=d=125\text{ mm}$, de la ecuación 3 se tiene que $Y=27,8$ de la ecuación 3 $Y=23,2$. Hecho esto y teniendo en cuenta que para madera ES3²⁴ $E'_{\min}=5500\text{ Mpa}$, de la aplicación de la ecuación 4 $F'_{CE}=8,4\text{ MPa}$. De la ecuación 5, $C_p=0,16$ de lo cual resulta que $f^*c=3,5\text{ Mpa}$. Finalmente de la ecuación 6 $P_n=-89,5\text{ kN}$.

Calculado esto se realiza el chequeo de que las cargas aplicadas sobre estas columnas no superen este valor, en la tabla 12, se indican los valores máximos encontrados en la columna más crítica (C24) y su ubicación está señalada en color amarillo en la figura 42.

Tabla 12. Chequeo de P_u en columnas de madera. Bloque de aulas 1.

C24					
Sin L_r			Con $L_r=0,35\text{kN/m}^2$		
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	$P_u(\text{kN})$ de falla	Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	$P_u(\text{kN})$ de falla
DRY	17,5	-89,51	DRY	15	-90
WET	15,5	-89,6	WET	13,5	-89,8

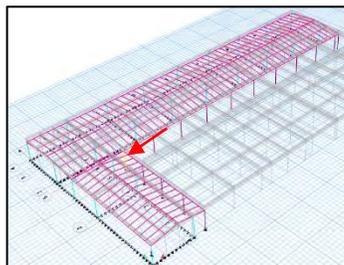


Figura 42. Bloque de aulas 1. La flecha roja indica la columna C24.

²⁴ Ibid

Columnas de concreto: para el chequeo de las columnas del Bloque de Aulas 1 se realiza la verificación de que el valor de PMM^{25} no supere la unidad. En la tabla 13, se indican los valores para uno de los elementos que alcanzaron el criterio de falla, y en la figura 43, se indica la ubicación de estas columnas⁴².

Tabla 13. Chequeo P-M-M En columnas de concreto. Bloque de aulas 1.

C7					
Sin Lr			Con Lr=0,35kN/m2		
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	Capacity Ratio	Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	Capacity Ratio
DRY	19	1,05	DRY	12,5	1,013
WET	13	1,03	WET	8,5	1,027

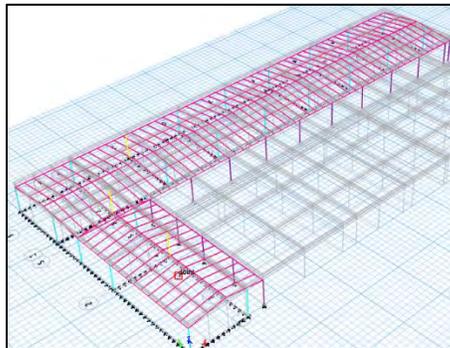


Figura 43. Bloque de Aulas 1. Ubicación C50, C7, Y C1 señaladas en color amarillo,.

6.2. BLOQUE DE AULAS 2

Cubierta de fibrocemento: en la tabla 14, se indican los valores de espesor de ceniza en el cual la cubierta supera los valores límites, y en las figuras 44 a 47 se relacionan los diagramas de esfuerzos sobre la cubierta para cada caso.

Sin Lr	Con Lr=0,35 kN/m2
--------	-------------------

Tabla 14. Esfuerzos en cubierta. Bloque de aulas 2.

²⁵ Ibid

Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	ESFUERZO DE FALLA		Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	ESFUERZO DE FALLA	
		S ₁₁ (KPa)	S ₂₂ (KPa)			S ₁₁ (KPa)	S ₂₂ (KPa)
DRY	15,5	1,67	1,64	DRY	12,5	1,77	1,64
WET	11	1,66	1,69	WET	7	1,65	1,69

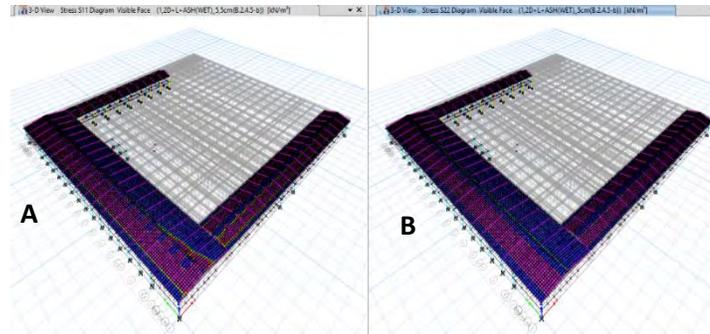


Figura 44. Bloque de Aulas 2(A).Esfuerzo S11 sin Lr. (B). Esfuerzo S22 sin Lr.

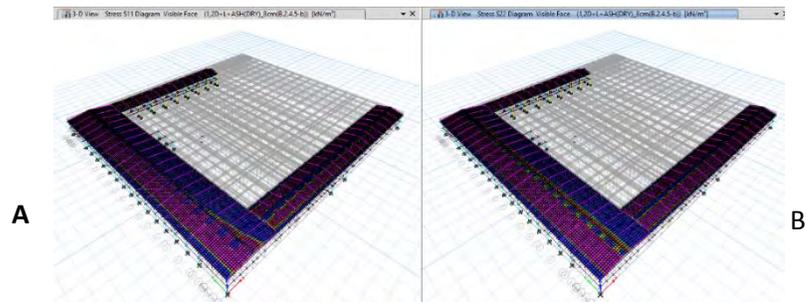


Figura 45. Bloque de Aulas 2(A). Esfuerzo S11 sin Lr. (B). Esfuerzo S22 sin Lr.

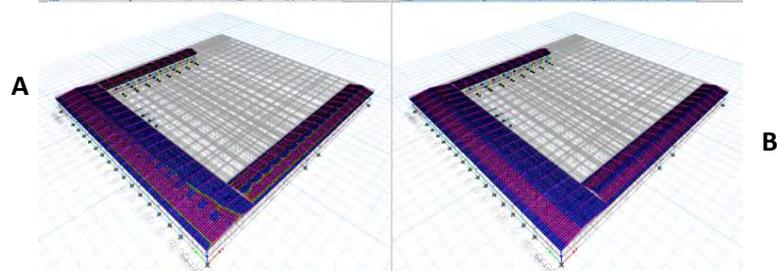


Figura 46. Bloque de aulas 2(A) Esfuerzo S11 con Lr. (B). Esfuerzo S22 con Lr.

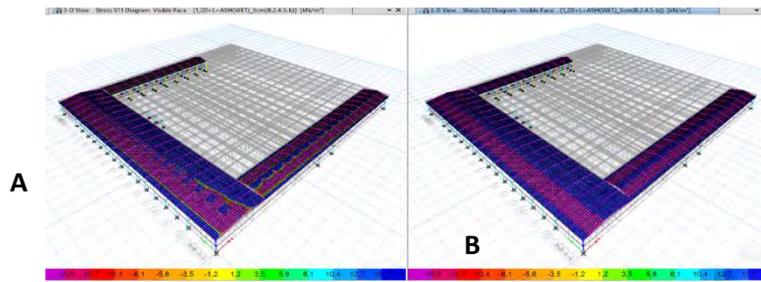


Figura 47. Bloque de aulas 2. (A) Esfuerzo S11 con Lr. (B). Esfuerzo S22 con Lr.

Columnas de concreto: en la tabla 15, se indican los valores máximos encontrados en una de las columnas donde se supera el valor límite, en la figura 48, se indica la ubicación de estas columnas.

Tabla 15. Chequeo P-M-M En columnas de concreto. Bloque de aulas 2.

C49					
Sin Lr			Con Lr=0,35kN/m2		
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	Capacity Ratio	Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	Capacity Ratio
DRY	19,5	1,001	DRY	16	1,02
WET	13	1,013	WET	9	1,013

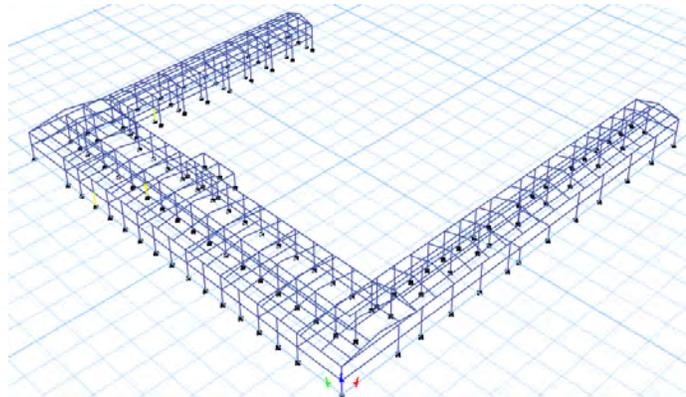


Figura 48. Bloque de Aulas 2. Ubicación C49, C14 Y C82. Col que superan el límite.

Vigas de concreto reforzado, $f'c=4000$ psi: dado que todas las vigas alcanzan la falla se opta por indicar únicamente la viga que alcanza el límite con menores cargas, en la tabla 16, se muestran los valores conseguidos, y en la figura 49, su ubicación.

Tabla 16. Valores de falla para B388, VIGA CRÍTICA Bloque de Aulas 2.

B388			
Sin Lr		Con Lr=0,35 kN/m²	
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm).	Condición	Espesor de ceniza de falla(cm).
DRY	15,5	DRY	13
WET	12	WET	9,5

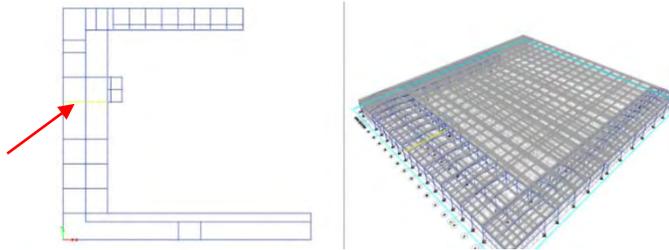


Figura 49. Bloque de Aulas 2. La flecha roja indica la ubicación de viga B388(N+2,7)

Perfiles metálico

los espesores de sobrecarga de ceniza seca y húmeda para el cual el valor de Capacity Ratio es mayor que 1, en la tabla 17, se indican los valores del perfil crítico B389, y en la figura 50, su ubicación, resaltado de color amarillo.

Tabla 17. Capacity Ratio. B389 el más crítico de Bloque de aulas 2

PERFIL METÁLICO B389					
SIN Lr			CON Lr=0,35 kN/m²		
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	Capacity Ratio	Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	Capacity Ratio
DRY	8,5	1,001	DRY	6	1,002
WET	6	1,03	WET	4,5	1,04

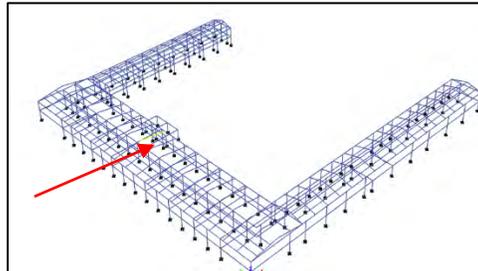


Figura 50. Bloque de aulas 2. La flecha roja indica la ubicación del perfil metálico B389.

6.3. BLOQUE F

Cubierta de fibrocemento: en la tabla 18 se consignan los valores de los esfuerzos sobre la cubierta del Bloque F, y en las figuras 51 a 54, sus respectivos diagramas.

Tabla 18. Esfuerzos en cubierta Bloque F

Sin Lr				Con Lr=0,35 kN/m ²			
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	ESFUERZO DE FALLA		Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	ESFUERZO DE FALLA	
		S ₁₁ (KPa)	S ₂₂ (KPa)			S ₁₁ (KPa)	S ₂₂ (KPa)
DRY	13	1,67	1,63	DRY	11,5	1,68	1,67
WET	10,5	1,61	1,68	WET	7	15,09	1,77

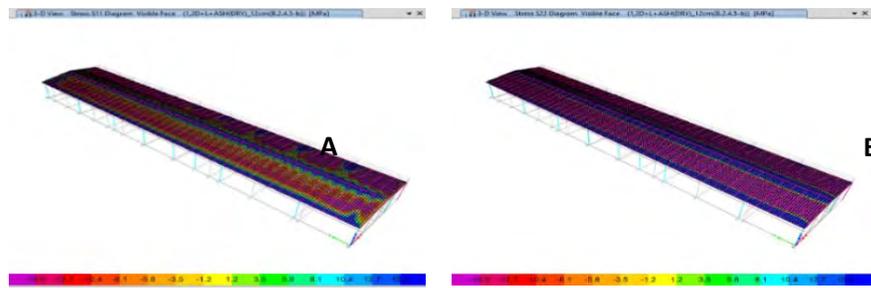


Figura 51. Bloque F(A). Esfuerzos S₁₁ sin Lr. (B).Esfuerzos S₂₂ sin Lr.

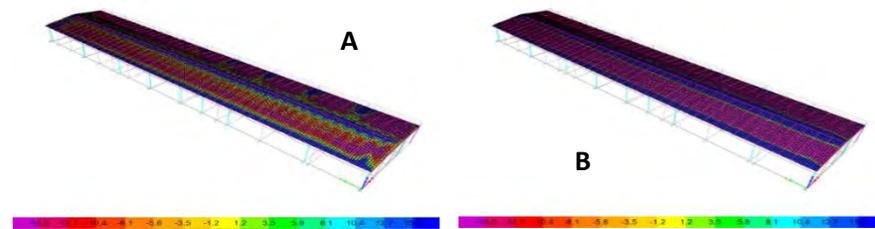


Figura 52. Bloque F(A). Esfuerzos S₁₁ sin Lr. (B). Esfuerzos S₂₂ con Lr.

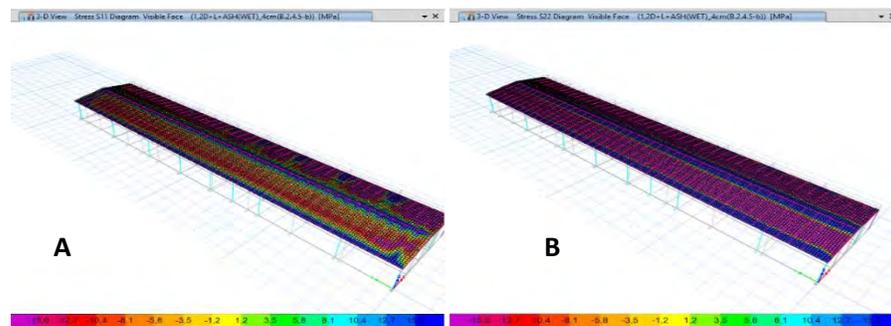


Figura 53. Bloque F(A). Esfuerzos S11 con Lr. (B). Esfuerzos S22 con Lr.

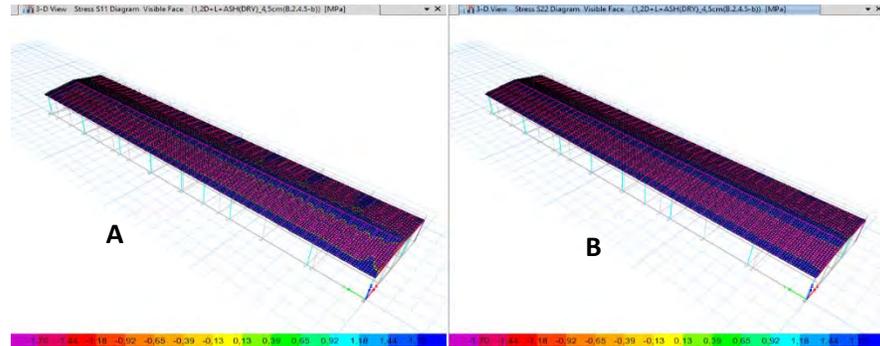


Figura 54. Bloque F(A). Esfuerzos S11 con Lr. (B). Esfuerzos S22 con Lr.

Vigas de madera: el criterio de falla para estos elementos es el punto en el cual superen el momento admisible Siguiendo los pasos indicados en el numeral 3.11.3. y aplicando la Ecuación 7. Teniendo en cuenta que $F'b$ para madera tipo ES3=23 Mpa²⁴, para esta correa con sección $b=125$ mm y $d=125$ mm se tiene que el momento máximo de chequeo es 7,42 kN.m. Únicamente la viga B108 superó este valor con un espesor de 20 cm de ceniza húmeda y en presencia de carga viva, en la tabla 19, se indican los resultados y en la figura 55, su ubicación.

Tabla 19. Momentos actuantes B108. BLOQUE F

B108					
Sin Lr			Con Lr=0,35kN/m2		
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	M3-3(kN.m)	Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	M3-3(kN.m)
DRY	>20		DRY	>20	
WET	>20	2,03	WET	18	7,53

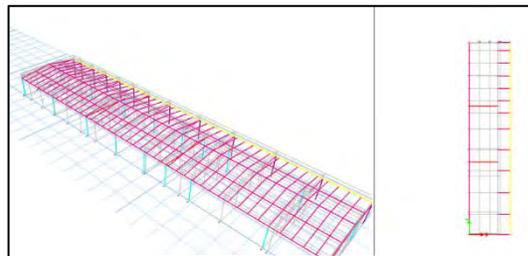


Figura 55. Bloque F. La viga B108 en color amarillo..

²⁴ Ibid

Columnas de madera: para el chequeo de columnas de madera de este bloque se realiza la verificación de que la carga actuante sobre ellas no supere la carga máxima admisible, siguiendo los pasos del numeral 3.11.2, se tiene que; $K_e=1,2$, ya que tiene condición de apoyos 4²⁴. Luego de la ecuación 2; $l_e=3,48\text{ m}$ y con $b=d=125\text{ mm}$, de la ecuación 3 se tiene que $Y=27,8$. Hecho esto y teniendo en cuenta que para madera ES3²⁴ $E'_{\min}=5500\text{ Mpa}$, de la aplicación de la ecuación 4 $F'_{CE}=5,8\text{ MPa}$. De la ecuación 5, $C_p=0,18$ de lo cual resulta que $f^*c=3,9\text{ Mpa}$, Finalmente de la ecuación 6 $P_n=-85,7\text{ kN}$. Se identificó una columna que supera este valor límite y es la columna C3 de la cual se arrojan datos en la tabla 20 y su ubicación en la figura 56.

Tabla 20. Chequeo de P_u en columnas de madera. Bloque F

C3					
Sin Lr			Con Lr=0,35kN/m2		
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	$P_u(\text{kN})$	Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	$P_u(\text{kN})$
DRY	>20	-	DRY	17,5	-85,7
WET	>20	-	WET	14	-85,73

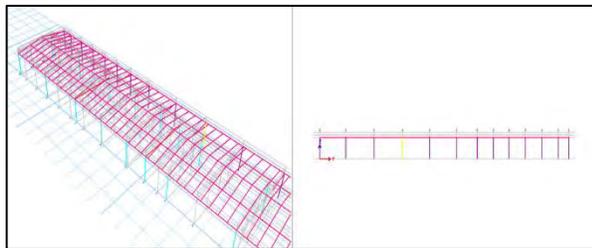
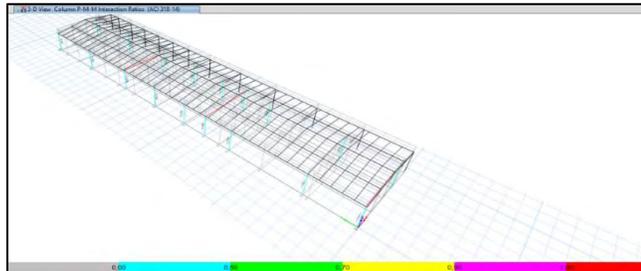


Figura 56. Bloque F. La columna C3 de color amarillo..

Columnas de concreto reforzado. $F'_c=3000\text{ psi}$: en este caso, ninguna de las columnas alcanzó un valor mayor a 1, de hecho, como se puede observar en la figura 57, todas ellas quedan en color “cyan”, lo que indica que ni siquiera llegan a un 50% de su capacidad.



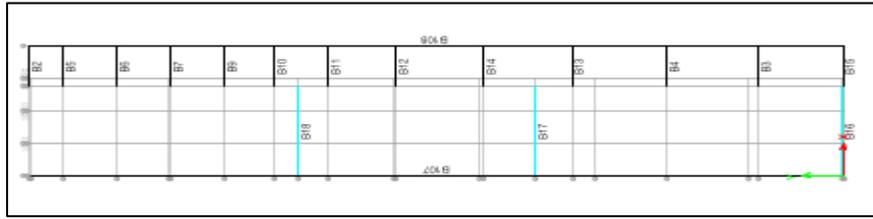


Figura 57. Bloque F. Las columnas de color cyan no alcanzan el límite de PMM.

Vigas de concreto reforzado, $f'c=3000$ psi: en cuanto a las vigas de concreto reforzado ninguna de ellas supera el valor de 1, lo que se puede ver en la figura 58.

Figura 58. Bloque F. Chequeo en vigas (De color Cyan).

6.4. SALA DE LABORATORIOS

Cubierta de fibrocemento: Los resultados de los esfuerzos son los consignados en la tabla 21, y sus respectivos diagramas en las figuras 59 a 62.

Tabla 21. Esfuerzos en cubierta Sala de Laboratorios.

Sin Lr				Con Lr=0,35 kN/m2			
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	ESFUERZO DE FALLA		Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	ESFUERZO DE FALLA	
		S ₁₁ (KPa)	S ₂₂ (KPa)			S ₁₁ (KPa)	S ₂₂ (KPa)
DRY	15,5	1,69	1,662	DRY	12	1,70	1,68
WET	10,5	1,65	1,68	WET	7,5	1,71	1,74

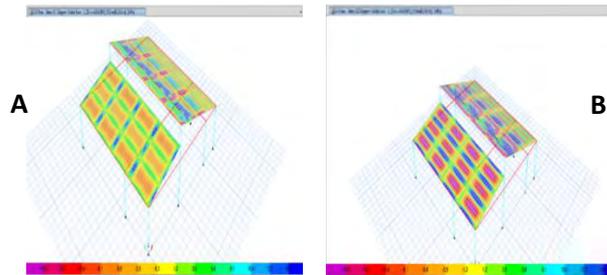


Figura 59. Sala de laboratorios(A). Esfuerzos S11 sin Lr. (B). Esfuerzos S22 sin Lr.

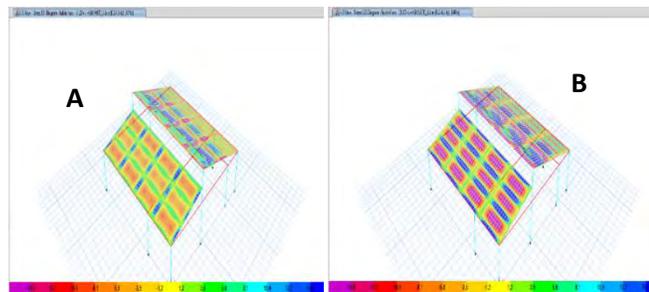


Figura 60. Sala de laboratorios(A). Esfuerzos S11 sin Lr. (B) Esfuerzos con S22 sin Lr.

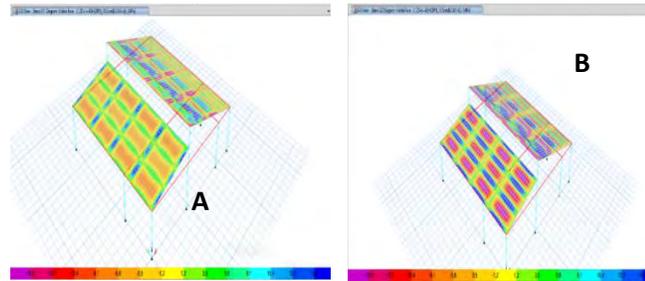


Figura 61. Sala de laboratorios(A). Esfuerzos S11 con Lr. (B).Esfuerzos S22 con Lr.

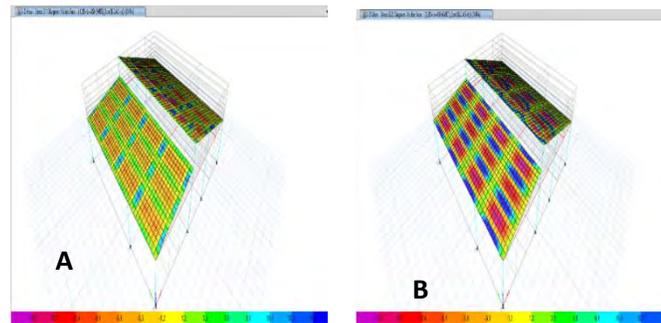


Figura 62.Sala de laboratorios(A). Esfuerzos S11 con Lr. (B). Esfuerzos S22 con Lr.

Columnas de concreto reforzado $f'_c=3000$ psi: en este modelo para las condiciones de carga indicadas se sobrepasó el valor límite de 1 de Interaction Ratio en 3 columnas que están mencionadas en la tabla 22, e indicadas en la figura 63, indicadas en color rojo.

Tabla 22.Chequeo P-M-M En columnas de concreto. Sala de laboratorios.

C16					
Sin Lr			Con Lr=0,35kN/m2		
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	Interaction Ratio	Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	Interaction Ratio
DRY	16	1,016	DRY	13,5	1,012
WET	10,5	1,001	WET	9	1,012

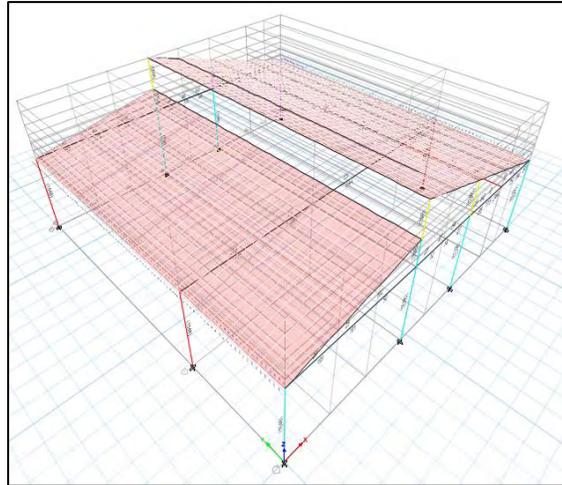


Figura 63. Sala de Laboratorios Las columnas de color rojo C16, C8 y C20.

Vigas de concreto reforzado, $f'c=3000$ psi: en cuanto a las vigas de concreto reforzado, solo 2 de ellas alcanzan un valor por encima de 1, el permitido, los valores de la viga crítica están consignados en la tabla 23 y está indicada con color amarillo en la figura 64.

Tabla 23. 6/5 Beam/column Sala de laboratorios

B22			
Sin Lr		Con Lr=0,35 kN/m2	
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm).	Condición	Espesor de ceniza de falla(cm).
DRY	>20	DRY	17,5
WET	19	WET	14

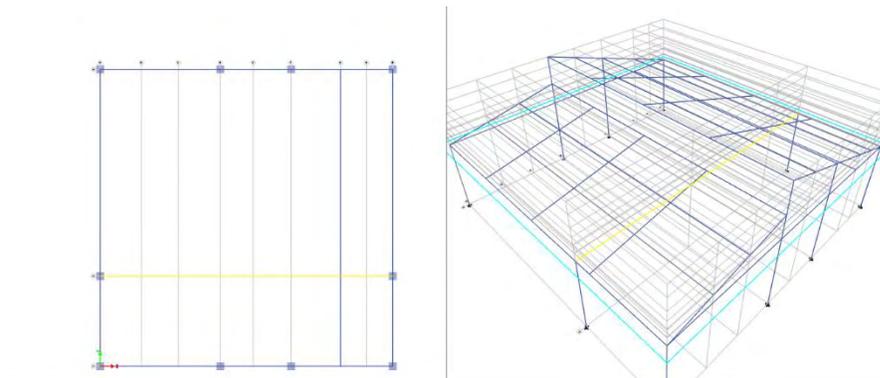


Figura 64. Sala de laboratorios. El elemento en color amarillo es la viga B22.

Perfiles metálicos: en el caso, se indica el elemento más crítico y se indican los espesores de sobrecarga de ceniza seca y húmeda para el cual el valor de

Sin Lr				Con Lr=0,35 kN/m2			
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	ESFUERZO DE FALLA		Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	ESFUERZO DE FALLA	
		S ₁₁ (KPa)	S ₂₂ (KPa)			S ₁₁ (KPa)	S ₂₂ (KPa)

Capacity Ratio es mayor que 1, esta información está consignada en la tabla 24, junto a su ubicación en la figura 65, donde se encuentra señalado con amarillo.

Tabla 24. Capacity Ratio. B389 el más crítico de Sala de Laboratorios.

PERFIL METÁLICO B889					
SIN Lr			CON Lr=0,35 kN/m2		
Condición	Espesor de ceniza de fi	Capacity	Condi	Espesor de ceniza	Capacity Ratio
DRY					1,002
WET					1,04

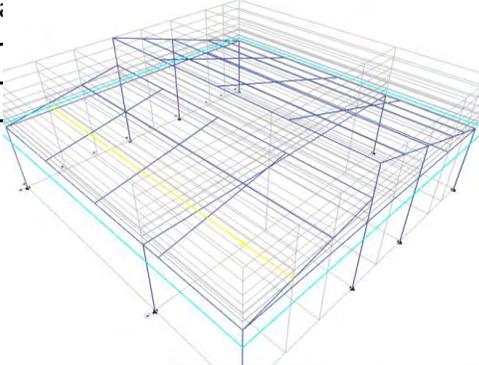


Figura 65. Sala de laboratorios. El elemento de color amarillo es el perfil metálico B889.

6.5 . BLOQUE DE AULAS DE INFORMÁTICA

Cubierta de fibrocemento: los resultados de los espesores de falla y los esfuerzos en la cubierta de esta edificación se encuentran en la tabla 25, y sus respectivas imágenes en las figuras 66 a 69.

DRY	14,5	15,12	18,97	DRY	12	15,95	65,68
WET	12,5	15,08	20,39	WET	7,5	15,09	70,98

Tabla 25. Esfuerzo en cubiertas de Aulas de informática

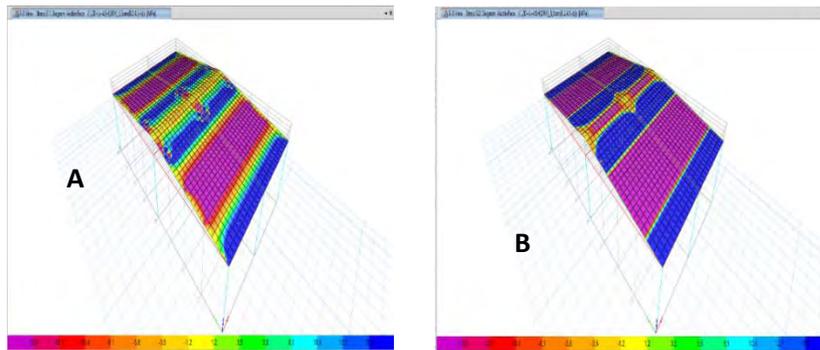


Figura 68. Aulas de informática(A). Esfuerzo S11 sin Lr. (B). Esfuerzo S22 sin Lr.

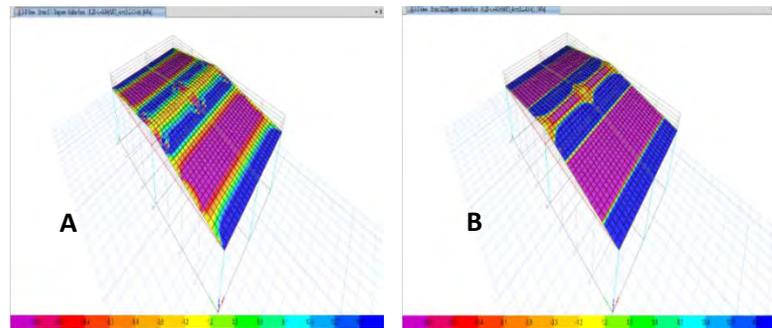


Figura 67. Aulas de informática(A). Esfuerzo S11 con Lr. (B). Esfuerzo S22 con Lr.

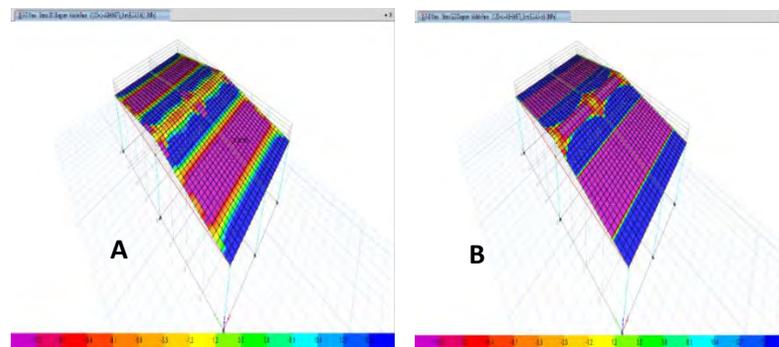


Figura 66. Aulas de informática(A). Esfuerzo S11 sin Lr. (B). Esfuerzo S22 sin Lr.

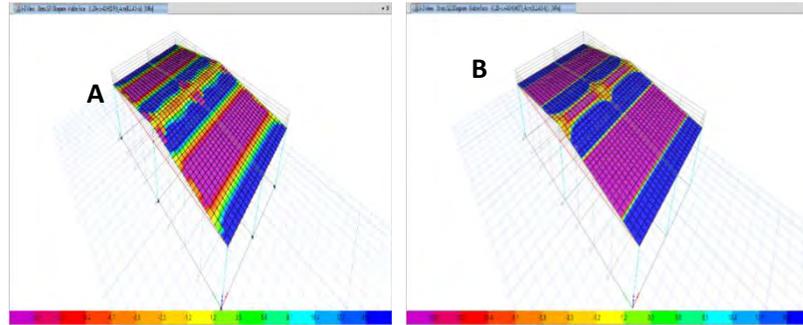


Figura 69. Aulas de informática(A). Esfuerzo S11 con Lr. (B). Esfuerzo S22 con Lr.

Columnas de concreto reforzado $f'c=3000$ psi: en las aulas de informática, no se alcanzó la falla de alguna columna con determinado espesor de ceniza seca o húmeda. En la tabla 26, se muestra los valores máximos de Interaction Ratio alcanzado por la columna en situación más “crítica”, que, según la escala de colores, son las de color verde, e indicadas en la figura 70.

Tabla 26. Chequeo P-M-M En columnas de concreto. Aulas de informática.

C4					
Sin Lr			Con Lr=0,35kN/m2		
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	Capacity Ratio	Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	Capacity Ratio
DRY	>20	-	DRY	>20	-
WET	>20	-	WET	>20	-

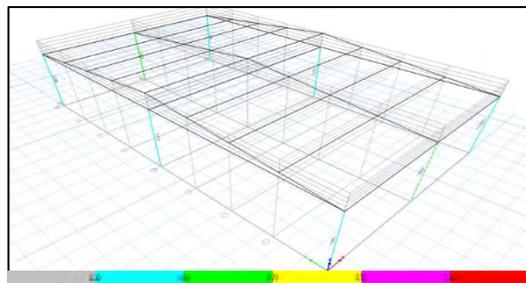


Figura 70. Aulas de informática. Los elementos de color verde son las columnas C4 y C7

Vigas de concreto reforzado, $f'c=3000$ psi: en este bloque, dos de sus vigas superaron la cuantía suministrada en las combinaciones que se indican en la tabla 27 y ubicadas en la figura 71 resaltadas de color rojo.

Tabla 27.6/5 Beam/column. Aulas de informática

B2, B3			
Sin Lr		Con Lr=0,35 kN/m2	
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm).	Condición	Espesor de ceniza de falla(cm).
DRY	>20	DRY	17,5
WET	19	WET	14

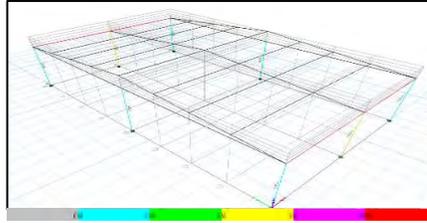


Figura 71. Aulas de informática. Los elementos rojos son vigas B2 y B3

Perfiles metálicos: estos elementos, ubicados como soporte de la cubierta de fibrocemento, son analizados bajo las mismas condiciones de carga, los cuales logran pasar el valor de 1 admisible, en la tabla 28, se indican los valores alcanzados por el perfil B8, ubicado en una posición crítica y con valores más altos y en la figura 72 la ubicación de éste, resaltado de color amarillo.

Tabla 28. Capacity Ratio B8. Aulas de informática.

PERFIL METÁLICO B8					
SIN Lr			CON Lr=0,35 kN/m2		
Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	Capacity Ratio	Condición	Espesor de ceniza de falla(cm)	Capacity Ratio
DRY	11	1,08	DRY	9	1,001
WET	8,5	1,007	WET	6,5	1,017

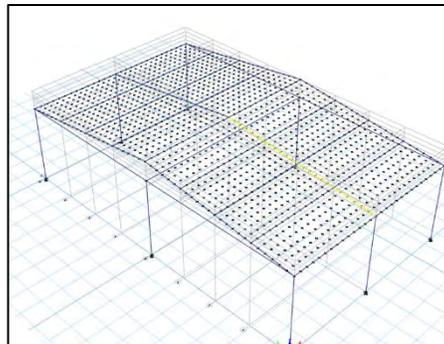


Figura 72. Aulas de informática. El elemento de color amarillo es el perfil B8.

6.5. IGLESIA SAN PEDRO APOSTOL

Cubierta en concreto reforzado: para la evaluación de la cubierta se utiliza el método de elementos finitos, de tal forma que se pueda conocer los límites del material y su comportamiento frente a un evento de caída de ceniza y sismo; para ello, es necesario que el modelo de la losa de cubierta sea dividido en pequeñas secciones, esto con el fin de que se mejore la interacción de elementos y la precisión del análisis, en la figura 73, se muestra la cubierta de la iglesia.

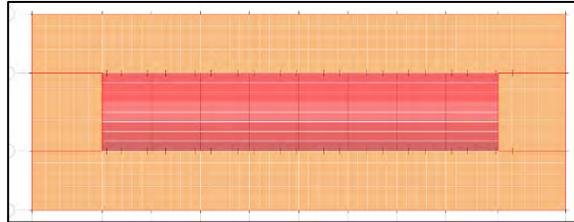


Figura 72. Cubierto Iglesia San Pedro.

Revisión de esfuerzos: para la cubierta se deben revisar los esfuerzos S11, es decir, en el plano X. La siguiente grafica son los resultados de los esfuerzos cuando la losa es sometida a la máxima carga esperada, en la figura 74, se muestra el diagrama de esfuerzos.



Figura 73. Esfuerzos sobre cubierta Iglesia San Pedro.

Cuando la cubierta está sometida a la máxima carga, el esfuerzo esperado es de 121.51 kg/cm² (12.15 MPa) el cual, comparado con la resistencia del concreto en periodos antes de 1984, que es 140 kg/cm² (14 MPa), se encuentra al 86,79% de eficiencia. La tabla 29, muestra el incremento del esfuerzo en función del espesor de ceniza.

Tabla 29. Esfuerzos en cubierta de Iglesia.

Story	Shell Object	Unique Name	Design Type	Shell Element	Joint	Load Case/Combo	S11 Top	S11 Bottom
LOSA	F474	482	Floor	482	20	Comb1-1 Max	106.91	-68.19
LOSA	F474	482	Floor	482	20	Comb2-1 Max	107.68	-68.98

LOSA	F474	482	Floor	482	20	Comb3-1 Max	108.44	-69.76
LOSA	F474	482	Floor	482	20	Comb4-1 Max	109.21	-70.55
LOSA	F474	482	Floor	482	20	Comb5-1 Max	109.98	-71.34
LOSA	F474	482	Floor	482	20	Comb6-1 Max	110.75	-72.12
LOSA	F474	482	Floor	482	20	Comb7-1 Max	111.52	-72.91
LOSA	F474	482	Floor	482	20	Comb8-1 Max	112.29	-73.7
LOSA	F474	482	Floor	482	20	Comb9-1 Max	113.05	-74.48
LOSA	F474	482	Floor	482	20	Comb10-1 Max	113.82	-75.27
LOSA	F474	482	Floor	482	20	Comb11-1 Max	114.59	-76.05
LOSA	F474	482	Floor	482	20	Comb12-1 Max	115.36	-76.84
LOSA	F474	482	Floor	482	20	Comb13-1 Max	116.13	-77.63
LOSA	F474	482	Floor	482	20	Comb14-1 Max	116.9	-78.41
LOSA	F474	482	Floor	482	20	Comb15-1 Max	117.66	-79.2

Columnas en concreto reforzado $f'c=21$ MPa: las columnas se evalúan a través de la interacción de carga axial y momentos en ambos sentidos (Menor a 1). El modelo cuenta con 17.6 metros de longitud en su fachada y 43.5 metros de fondo. La altura hasta la losa de cubierta es de 6.30 metros, la bóveda llega a medir 4.35m y, la cúpula, llega hasta una altura de 12.3m, en la figura 75, se observa el modelo en 3D levantado en ETabs.

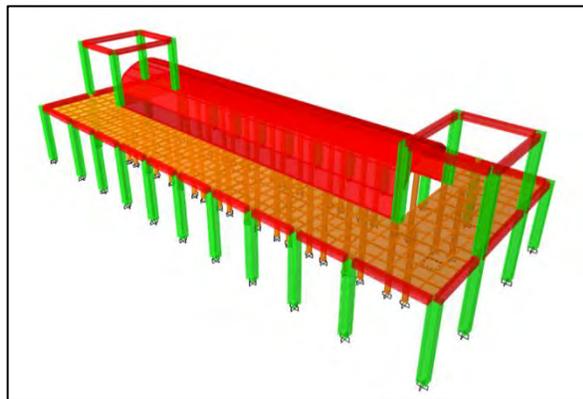


Figura 74. Iglesia de San Pedro, modelo en Etabs.

Las cargas por considerar en la cubierta son de tres tipos:

- Carga muerta sobreimpuesta: proviene de los elementos no estructurales, hechos en concreto, que se encuentran sobre la cubierta.
- Carga viva de cubierta: cuando hay personal de limpieza o de remodelación sobre la cubierta.
- Ceniza: carga que se produciría en caso de un evento sísmico, varía desde un espesor de 0.05m hasta llegar al máximo esperado que, en este caso, son 0.20 m.

La tabla 30, muestra las cargas utilizadas:

Tabla 30. Cargas impuestas para Iglesia.

Tipo	Carga [Ton/m ²]
Carga muerta sobreimpuesta	0.35
Carga viva de montaje	0.15
Carga de ceniza	0.005 por cada centímetro de ceniza

Para elementos alámbricos, como columnas, se utiliza la interacción de carga axial y momentos en sentidos “x” e “y”, también llamado índice de capacidad de demanda, el cual siempre debe ser menor que 1, de lo contrario, el elemento falla y es necesario aumentar sección o cuantía de refuerzo. Para los ejes estructurales, se usa una nomenclatura desde A hasta D en su lado más corto; los pórticos y sus respectivos índices se presentan en las figuras 76 a 79.

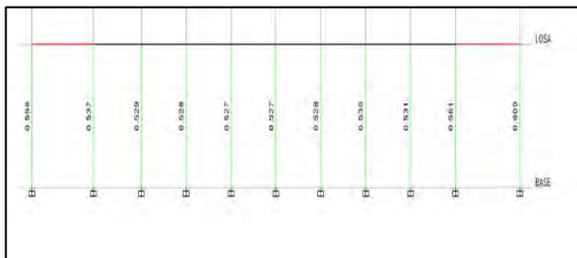


Figura 76. PMM INTERACTION RATIO Pórtico A, IGLESIA SAN PEDRO.

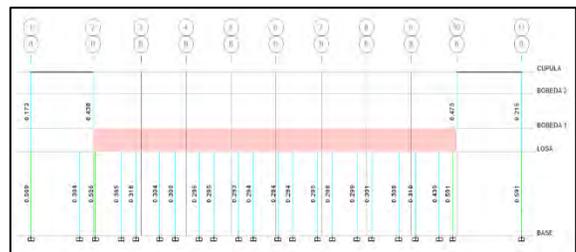


Figura 77. PMM INTERACTION. Pórtico B, IGLESIA SAN PEDRO.

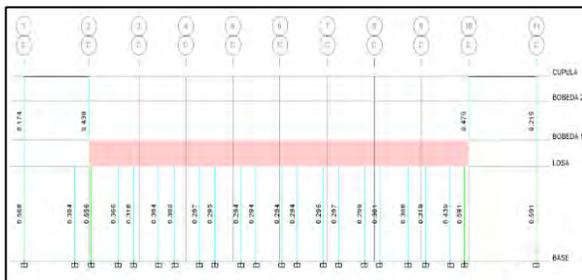


Figura 78. .PMM INTERACTION. Pórtico C, IGLESIA SAN PEDRO.

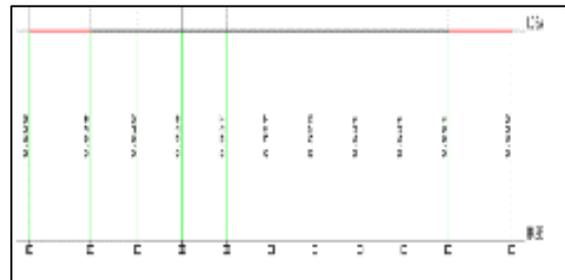


Figura 79. PMM INTERACTION. Pórtico D, IGLESIA SAN PEDRO.

Del software Etabs se extraen los valores para la máxima carga esperada, en la tabla 31 se muestran los resultados:

Tabla 31. PMM INTERACTION COLUMNS IGLESIA SAN PEDRO.

Label	Section	Location	P	M Major	PMM %	Label	Section	Location	P	M Major	PMM %
			kgf	kgf-m					kgf	kgf-m	
C27	COL-60X60	Top	1603.53	6310.09	0.168	C34	COL-DIAM40	Top	7249.04	2188.67	0.265
C27	COL-60X60	Bottom	7364.41	-5819.53	0.215	C34	COL-DIAM40	Bottom	9531.71	-3165.32	0.318
C28	COL-60X60	Top	1603.54	-6309.45	0.168	C35	COL-DIAM40	Top	3897.78	2060.25	0.248
C28	COL-60X60	Bottom	7364.42	5819.38	0.215	C35	COL-DIAM40	Bottom	6180.46	-3034.02	0.304
C29	COL-60X60	Top	1532.06	6314.25	0.169	C36	COL-DIAM40	Top	3379.62	2009.68	0.241
C29	COL-60X60	Bottom	7292.94	-5506.93	0.173	C36	COL-DIAM40	Bottom	5662.3	-2997.57	0.3
C30	COL-60X60	Top	1533.36	-6327.99	0.169	C37	COL-DIAM40	Top	2932.62	1964.35	0.235
C30	COL-60X60	Bottom	7294.24	5484.03	0.174	C37	COL-DIAM40	Bottom	5215.29	-2966.21	0.297
C71	COL-60X60	Top	1638.38	-7045.86	0.184	C38	COL-DIAM40	Top	2444.9	1954.95	0.232
C71	COL-60X60	Bottom	7399.26	-15269.61	0.47	C38	COL-DIAM40	Bottom	4727.58	-2953.61	0.295
C72	COL-60X60	Top	1639.19	7048.09	0.184	C39	COL-DIAM40	Top	2497.61	1921.4	0.23
C72	COL-60X60	Bottom	7400.07	15269.21	0.47	C39	COL-DIAM40	Bottom	4780.28	-2937.41	0.294
C73	COL-60X60	Top	1538.15	6967.69	0.181	C40	COL-DIAM40	Top	2591.7	1913.81	0.228
C73	COL-60X60	Bottom	7299.03	15581.2	0.438	C40	COL-DIAM40	Bottom	4874.37	-2935.28	0.294
C74	COL-60X60	Top	1541.93	-6971.65	0.181	C41	COL-DIAM40	Top	2344.69	1905	0.226
C74	COL-60X60	Bottom	7302.81	-15581.25	0.439	C41	COL-DIAM40	Bottom	4627.37	-2928.05	0.294
C1	COL-60X60	Top	3552.55	-10961.83	0.308	C42	COL-DIAM40	Top	2283.55	1905.65	0.227
C1	COL-60X60	Bottom	9624.83	22953.97	0.598	C42	COL-DIAM40	Bottom	4566.22	-2928.26	0.294
C2	COL-60X60	Top	21717.54	-11073.65	0.269	C43	COL-DIAM40	Top	2452.65	1919.88	0.229
C2	COL-60X60	Bottom	27789.82	23341.36	0.568	C43	COL-DIAM40	Bottom	4735.32	-2939.86	0.296
C3	COL-60X60	Top	21525.06	11195.55	0.27	C44	COL-DIAM40	Top	2215.59	1928.71	0.232
C3	COL-60X60	Bottom	27597.34	-23419.6	0.569	C44	COL-DIAM40	Bottom	4498.27	-2941.91	0.297
C4	COL-60X60	Top	3372.23	10785.95	0.304	C45	COL-DIAM40	Top	2096.83	1966.45	0.236
C4	COL-60X60	Bottom	9444.51	-22868.92	0.596	C45	COL-DIAM40	Bottom	4379.51	-2961.97	0.299
C5	COL-60X60	Top	10885.45	-5976.98	0.222	C46	COL-DIAM40	Top	2511.42	1982.17	0.24
C5	COL-60X60	Bottom	16957.73	20474.13	0.538	C46	COL-DIAM40	Bottom	4794.09	-2978.09	0.301
C6	COL-60X60	Top	8974.44	-5509.2	0.201	C47	COL-DIAM40	Top	3512.26	2055.7	0.253
C6	COL-60X60	Bottom	15046.72	20072.04	0.529	C47	COL-DIAM40	Bottom	5794.93	-3036.83	0.308
C7	COL-60X60	Top	8908.56	-5409.38	0.202	C48	COL-DIAM40	Top	5824.1	2146.8	0.269
C7	COL-60X60	Bottom	14980.84	19873.25	0.528	C48	COL-DIAM40	Bottom	8106.77	-3131.54	0.319
C8	COL-60X60	Top	8922.58	-5407.62	0.202	C49	COL-DIAM40	Top	24538.6	2699.85	0.381
C8	COL-60X60	Bottom	14994.86	19810.29	0.527	C49	COL-DIAM40	Bottom	26821.27	-3869.26	0.439
C9	COL-60X60	Top	8919.62	-5405.63	0.203	C50	COL-DIAM40	Top	45151.53	3550.62	0.507
C9	COL-60X60	Bottom	14991.9	19803.01	0.527	C50	COL-DIAM40	Bottom	47434.21	-5045.19	0.591
C10	COL-60X60	Top	8915.76	-5403.81	0.203	C51	COL-DIAM40	Top	12094.72	1556.23	0.201

C10	COL-60X60	Bottom	14988.04	19853.29	0.529	C51	COL-DIAM40	Bottom	14377.4	-2959.28	0.304
C11	COL-60X60	Top	8948.94	-5396.07	0.203	C52	COL-DIAM40	Top	42421.58	-3480.69	0.463
C11	COL-60X60	Bottom	15021.22	19955.07	0.531	C52	COL-DIAM40	Bottom	44704.25	4885.66	0.556
C12	COL-60X60	Top	8498.7	-5386.8	0.202	C53	COL-DIAM40	Top	14601.73	-2402.75	0.31
C12	COL-60X60	Bottom	14570.98	20097.12	0.531	C53	COL-DIAM40	Bottom	16884.4	3437.25	0.365
C13	COL-60X60	Top	11009.11	-6477.12	0.248	C54	COL-DIAM40	Top	7247.83	-2184.22	0.265
C13	COL-60X60	Bottom	17081.39	20924.48	0.561	C54	COL-DIAM40	Bottom	9530.5	3161.04	0.318
C14	COL-60X60	Top	3886.35	-11517.54	0.328	C55	COL-DIAM40	Top	3896.75	-2056.3	0.247
C14	COL-60X60	Bottom	9958.63	23471.61	0.609	C55	COL-DIAM40	Bottom	6179.42	3030.05	0.304
C15	COL-60X60	Top	25030.67	-11801.67	0.314	C56	COL-DIAM40	Top	3378.94	-2006.01	0.241
C15	COL-60X60	Bottom	31102.95	24001.68	0.591	C56	COL-DIAM40	Bottom	5661.61	2993.77	0.3
C16	COL-60X60	Top	25031.26	11803.93	0.314	C57	COL-DIAM40	Top	2932.4	-1961.06	0.235
C16	COL-60X60	Bottom	31103.54	-24006.38	0.591	C57	COL-DIAM40	Bottom	5215.08	2962.63	0.296
C17	COL-60X60	Top	3886.46	11519.12	0.328	C58	COL-DIAM40	Top	2444.95	-1951.86	0.232
C17	COL-60X60	Bottom	9958.74	-23476.25	0.609	C58	COL-DIAM40	Bottom	4727.62	2950.18	0.295
C18	COL-60X60	Top	11009.57	6477.27	0.248	C59	COL-DIAM40	Top	2497.89	-1918.69	0.23
C18	COL-60X60	Bottom	17081.85	-20926.39	0.561	C59	COL-DIAM40	Bottom	4780.56	2934.23	0.293
C19	COL-60X60	Top	8499.03	5386.8	0.202	C60	COL-DIAM40	Top	2592.14	-1911.3	0.228
C19	COL-60X60	Bottom	14571.31	-20097.01	0.531	C60	COL-DIAM40	Bottom	4874.82	2932.25	0.294
C20	COL-60X60	Top	8949.26	5395.99	0.203	C61	COL-DIAM40	Top	2345.21	-1902.85	0.226
C20	COL-60X60	Bottom	15021.54	-19953.73	0.53	C61	COL-DIAM40	Bottom	4627.88	2925.29	0.294
C21	COL-60X60	Top	8916.08	5403.62	0.203	C62	COL-DIAM40	Top	2284.13	-1903.71	0.227
C21	COL-60X60	Bottom	14988.36	-19851.76	0.528	C62	COL-DIAM40	Bottom	4566.8	2925.67	0.294
C22	COL-60X60	Top	8919.92	5405.36	0.202	C63	COL-DIAM40	Top	2453.19	-1918.31	0.229
C22	COL-60X60	Bottom	14992.2	-19802.25	0.527	C63	COL-DIAM40	Bottom	4735.86	2937.56	0.295
C23	COL-60X60	Top	8922.93	5407.27	0.202	C64	COL-DIAM40	Top	2216.13	-1927.38	0.232
C23	COL-60X60	Bottom	14995.21	-19811.24	0.527	C64	COL-DIAM40	Bottom	4498.8	2939.81	0.296
C24	COL-60X60	Top	8908	5408.9	0.202	C65	COL-DIAM40	Top	2097.32	-1965.52	0.236
C24	COL-60X60	Bottom	14980.28	-19876.78	0.528	C65	COL-DIAM40	Bottom	4380	2960.22	0.299
C25	COL-60X60	Top	8984.09	5505.82	0.201	C66	COL-DIAM40	Top	2512	-1981.51	0.24
C25	COL-60X60	Bottom	15056.37	-20077.75	0.529	C66	COL-DIAM40	Bottom	4794.67	2976.56	0.301
C26	COL-60X60	Top	10811.38	5907.31	0.22	C67	COL-DIAM40	Top	3512.86	-2055.58	0.253
C26	COL-60X60	Bottom	16883.66	-20446.31	0.537	C67	COL-DIAM40	Bottom	5795.53	3035.75	0.308
C31	COL-DIAM40	Top	12181.3	-1532.07	0.201	C68	COL-DIAM40	Top	5824.52	-2147.07	0.269
C31	COL-DIAM40	Bottom	14463.97	2947.39	0.304	C68	COL-DIAM40	Bottom	8107.19	3130.76	0.319
C32	COL-DIAM40	Top	42396.85	3487.47	0.464	C69	COL-DIAM40	Top	24543.07	-2701.03	0.381
C32	COL-DIAM40	Bottom	44679.53	-4891.06	0.556	C69	COL-DIAM40	Bottom	26825.74	3869.07	0.439
C33	COL-DIAM40	Top	14601.69	2407.82	0.31	C70	COL-DIAM40	Top	45161.71	-3553.03	0.507
C33	COL-DIAM40	Bottom	16884.37	-3441.95	0.366	C70	COL-DIAM40	Bottom	47444.38	5045.81	0.591

La capacidad de demanda máxima en las columnas es de 0.609, ésta es menor que 1 y quiere decir que todas las columnas del conjunto estructural están funcionando adecuadamente y son capaces de soportar hasta 20 cm de capa de ceniza húmeda y por supuesto, seca. Con base en los resultados anteriores, el edificio correspondiente a Iglesia San Pedro Apóstol resiste un evento de caída de ceniza y está en capacidad de resguardar a las personas que en éste se protejan. Es necesario aclarar que se realiza un análisis lineal, ya que resultados que aseguren mayor precisión requieren de un análisis no lineal, el cual no está dentro de los alcances del actual proyecto.

7. CONCLUSIONES

En este trabajo se analizó la forma en que fallan los bloques que componen la Institución Educativa José Antonio Llorente y la Iglesia San Pedro Apostol, para determinar el peligro al que se verían expuestas sus estructuras ante la caída de ceniza proveniente de una erupción del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro. Dentro de la escuela se encontraron 5 edificaciones, 3 con concreto reforzado. Cada una de ellas se modeló tridimensionalmente.

Para analizar la resistencia se modeló con diferentes estados de carga que tiene en cuenta carga muerta de la edificación, carga viva y carga de ceniza que se incrementó desde 0,5 cm de espesor hasta que la estructura demostró falla. Realizado lo anterior se puede concluir que;

- ✚ Una vez realizadas las visitas de campo, se determina que la gran mayoría de las estructuras analizadas son tipo pórtico, diseñadas y construidas con base en el código colombiano para construcciones sismoresistentes NSR-10. Sin embargo, también existe la presencia de muros cargueros, que por su antigüedad, requieren mayor atención.
- ✚ En las edificaciones estudiadas, con excepción de la iglesia, el techo falla antes que las demás partes de la estructura, lo que implica que habría un colapso de todo el techo antes de que fallen los otros elementos, lo cual podría asumirse como catastrófico en caso de que exista personal refugiado en ese lugar.
- ✚ Con base en los resultados obtenidos, la iglesia de San Pedro Apóstol, a pesar de su edad y técnicas de construcción probablemente carente de normatividad sismo resistente, tiene la capacidad de soportar un evento de caída de ceniza con espesores incluso mayores de 20 cm.
- ✚ La escuela José Antonio Llorente, tiene diferente capacidad para resistir eventos de caída de ceniza en función del bloque o estructura de la que se trate. El Bloque de Aulas 2 tiene una capacidad de resistencia mayor a la de los demás bloques, probablemente porque se trata de una estructura aporticada, con elementos estructurales (vigas) con una resistencia a la compresión de 28 MPa, además de contar con una losa de entrepiso que aporta rigidez a la estructura. Para el caso de presencia de carga viva sobre cubierta (probablemente personal de limpieza) esta cubierta fallaría a 12,5 cm con ceniza seca y a 7 cm si fuera húmeda.
- ✚ En estructuras como el Bloque de Aulas 1 y el Bloque F, con presencia de madera entre sus elementos estructurales (columnas y vigas) se observa como estos, a pesar de no tener las mismas propiedades mecánicas del

concreto reforzado resisten en todos los casos espesores mayores a los soportados por las tejas de fibrocemento, lo cual implica que el techo colapsaría antes que sus elementos de soporte.

- ✚ En el modelo, las columnas de la Institución Educativa José Antonio Llorente soportan más sobrecarga de ceniza en cualquiera de sus estados que las tejas de fibrocemento. Sin embargo su resistencia es en promedio apenas 30 % mayor que la de este elemento no estructural, esto deja ver que si bien están capacitadas para soportar dichas cargas su resistencia no proporciona márgenes altos de seguridad, como se esperaría en construcciones de esta naturaleza.
- ✚ Para este caso en particular y si se diseñara de acuerdo con los lineamientos de la NSR-10, la estructura debería estar capacitada para cubrir este evento haciendo uso de la combinación de diseño 1,2D+1,6L, sin embargo habría que hacer investigaciones más detalladas en zonas con volcanes que potencialmente pudiera emitir espesores más altos de ceniza, como es el Volcán AzufraI en Nariño o el Volcán Cerro-Machín en el Centro del país.

8. RECOMENDACIONES

- + Incentivar el desarrollo de Investigaciones Estudiantiles por parte del Departamento de Ingeniería Civil.
- + Realizar un amplio estudio de esta tipología en el cuál se cubra la totalidad de los volcanes del país, de este modo se garantizaría un plan de contingencia o rehabilitación de estructuras si se llegase a requerir.

BIBLIOGRAFÍA

Alarcón, A., Rodríguez E.E. y Escallón, J. 2000. Atlas de Amenaza Volcánica en Colombia, Ingeominas. 119 p.

Beer, Ferdinand. Johnston, Russell E, Jr. DeWolf, John T, Mazurek David F. Engineering Mechanics: Statics, 1962; p:153

Beer, Ferdinand. Johnston, Russell E, Jr. DeWolf, John T, Mazurek David F. Engineering Mechanics: Statics, 1962; p:258

Beer, Ferdinand. Johnston, Russell E, Jr. DeWolf, John T, Mazurek David F. Engineering Mechanics: Statics, 1962; p:362

BOSCH, ROBERT. OBJ_BUCH-844-007.book, Alemania, 2016. P;21.

Blong, R.H. Volcanic Hazard. Macquarie University Academic Press. Sydney, Australia.1984. 120 p.

CHAPRA .S, REYMOND. C, Métodos numéricos para Ingenieros, New York,2000, p;201.

Computers and Structures, INC. Software de diseño integral para Edificaciones. Berkeley, California, 1995. P;121

Computers and Structures, INC. Software de diseño integral para Edificaciones. Berkeley, California, 1995. P;128

Computers and Structures, INC. Software de diseño integral para Edificaciones. Berkeley, California, 1995. P;191

Computers and Structures, INC. Software de diseño integral para Edificaciones. Berkeley, California, 1995. P;218

Computers and Structures, INC. Software de diseño integral para Edificaciones. Berkeley, California, 1995. P;230

Eternit. Tejas onduladas P+10, 2014. Ficha técnica.

GABALDON CASTILLO, FELIPE. Método de los Elementos Finitos, PREPROCESO Y POSTPROCESO, Madrid 2007, P;3-7

Guerrero Lozano, B. DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), Boletín CENSO GENERAL 2005, Perfil Cumbal Nariño [En línea]
http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/52227T7T000.PDF

Guerrero Martínez, C., Martínez Bringas, A., Gómez Vázquez, A., y De la Cruz-Reyn, S., Hernández Alcántara T. Atlas Nacional de Riesgos, Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos: Elaboración de Mapas de Peligros Volcánicos. 1era Edición. 2006. México DF. 115 p.

ICONTEC, Bogotá, 1990.P;3.

Informe de Servicio Geológico Colombiano [En línea]

<http://www2.sgc.gov.co/getattachment/30b8345f-5bb3-4bde-8157-7b51ef631d6b/Informe-de-socializacion-junio-de-2015.aspx>

IVHHN, Cities and Volcanoes Commission, USGS, IAVCEI, gns. LOS PELIGROS DE LAS CENIZAS VOLCÁNICAS PARA LA SALUD. Guía para el público. Cambridge, Reino Unido. 2001. 4 a 8 p.

Martínez Bringas, A., Gómez Vázquez, A., y De la Cruz-Reyn, S. Riesgos geológicos, capítulo 4 Elaboración de Mapas de peligros volcánicos. México DF. 2006. 109 p.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. NSR-10. Bogotá, Colombia. Marzo de 2010. Título A.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. NSR-10. Bogotá, Colombia. Marzo de 2010. Título B-4.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. NSR-10. Bogotá, Colombia. Marzo de 2010. Título C.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. NSR-10. Bogotá, Colombia. Marzo de 2010. Título G. P;G-42

Moriano Tello, D.E., Paredes Ruiz, P.A. Evaluación de la vulnerabilidad estructural por riesgo de lahares: Caso de estudio en la población de Santiago Xalitzintla, en el flanco NE del volcán Popocatepetl, Paper, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana (Ingenieras Civiles). Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Civil. 2016.

Orellana, R. Instituto Geofísico-EPN, Quito, 2016. [En línea]
<http://www.igepn.edu.ec/chiles-cerro-negro>

PATIÑO ÁGREDA, I.D. Apoyo en la evaluación de la vulnerabilidad física y funcional de las edificaciones de ocupación normal a la caída de ceniza del Volcán Galeras, ubicadas en los municipios de Nariño, La Florida, Sandoná, Consacá y Yacuanquer, Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Civil. 2010.

PATOLOGÍA+REHABILITACIÓN+CONSTRUCCIÓN [En línea]
<https://www.patologiasconstruccion.net/2013/11/resistencia-del-hormigon-mediante-esclerometro-o-indice-de-rebote-1/>

Puenayan, L.A, Et Al. PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL CUMBAL, 2011; Cumbal, Nariño. 27 p. Reporte Interno.

Servicio Geológico Colombiano [En línea]
<http://www2.sgc.gov.co/Pasto/Volcanes/Volcanes-Chiles---Cerro-Negro/Mapa-de-Amenaza-Chiles.aspx>

Servicio Geológico Colombiano [En línea]
<http://www2.sgc.gov.co/Pasto/Volcanes/Cumbal/Mapa-de-Amenaza.aspx>

United Nations Disaster Relief Organization (UNDRO). (1991). Mitigating Natural Disasters: Phenomena, Effects and Options: A Manual for Policy Makers and Planners.

Volcanic Ashfall Impact, Working Group. [En línea]
https://volcanoes.usgs.gov/volcanic_ash/buildings.html

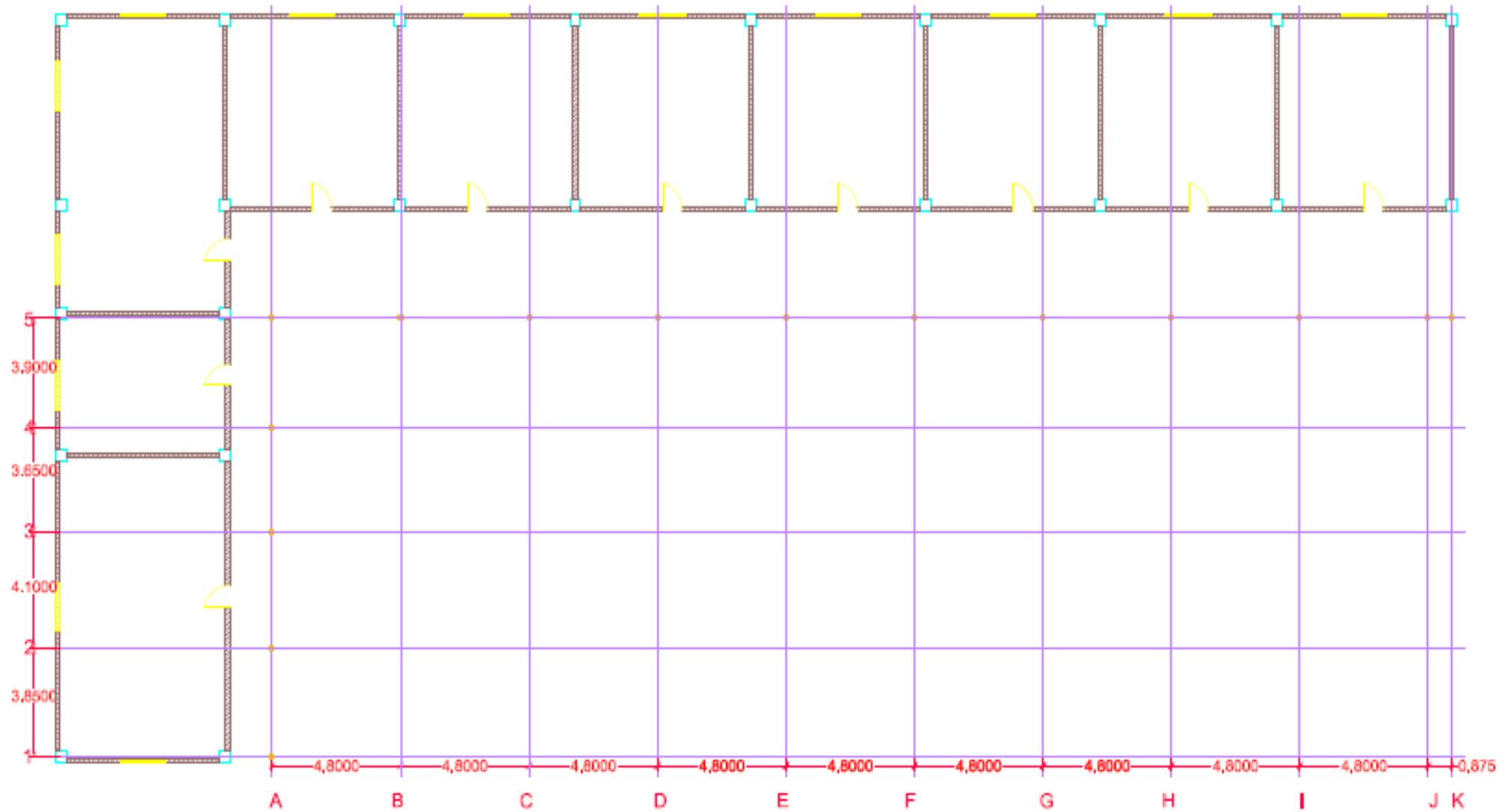
Volcano Discovery [En línea]
http://www.volcanodiscovery.com/cerro_negro_de_mayasquer.html

VOSKUIL, R. Thematic-Map Generalization, Geographical Review Vol. 54, No. 1. 1996. Berrima, NSW, Australia. 138 p.

Windows to the Universe [En línea]
<http://www.windows2universe.org/earth/interior/lava.html&lang=sp>

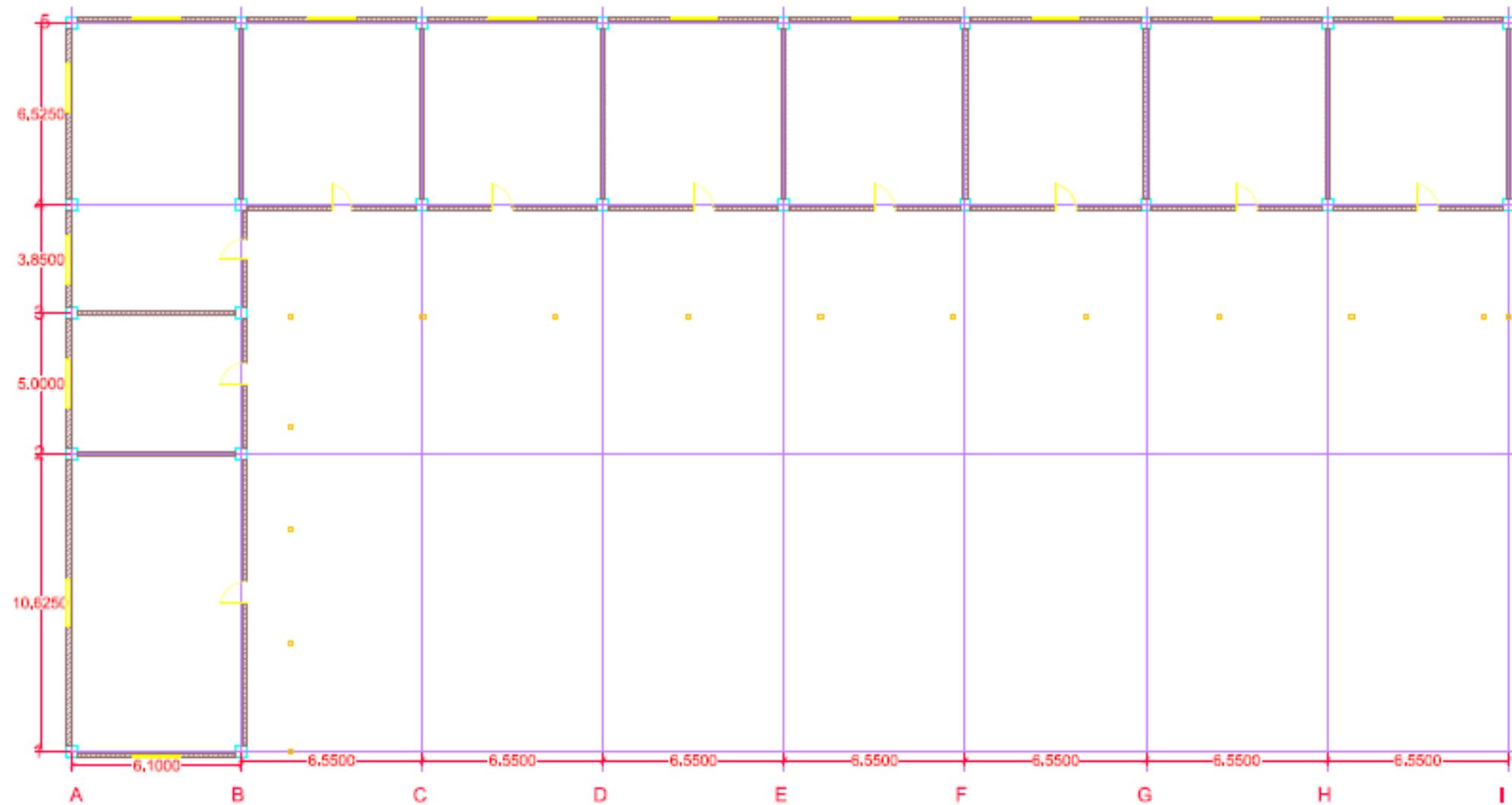
WWF-COLOMBIA-PROGARMA SUBREGIONAL, AMAZONAS NORTE & CHOCÓ DARIÉN. Maderas de Colombia. P;13, 14.

ANEXO 1: PLANIMETRÍA



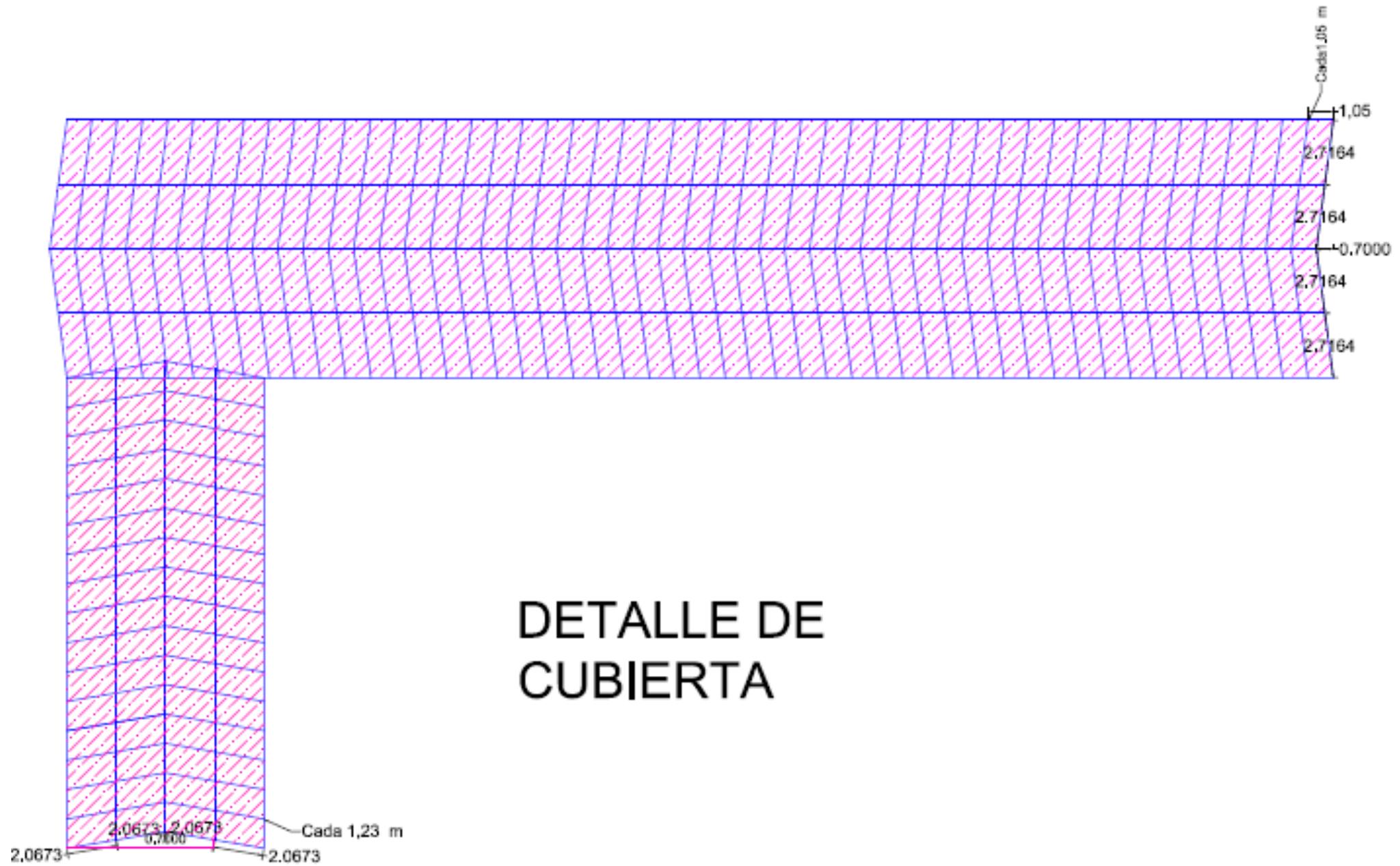
BLOQUE DE AULAS-GRILLA COL-MADERA

A. BLOQUE DE AULAS 1. GRILLA COL MAD. 1

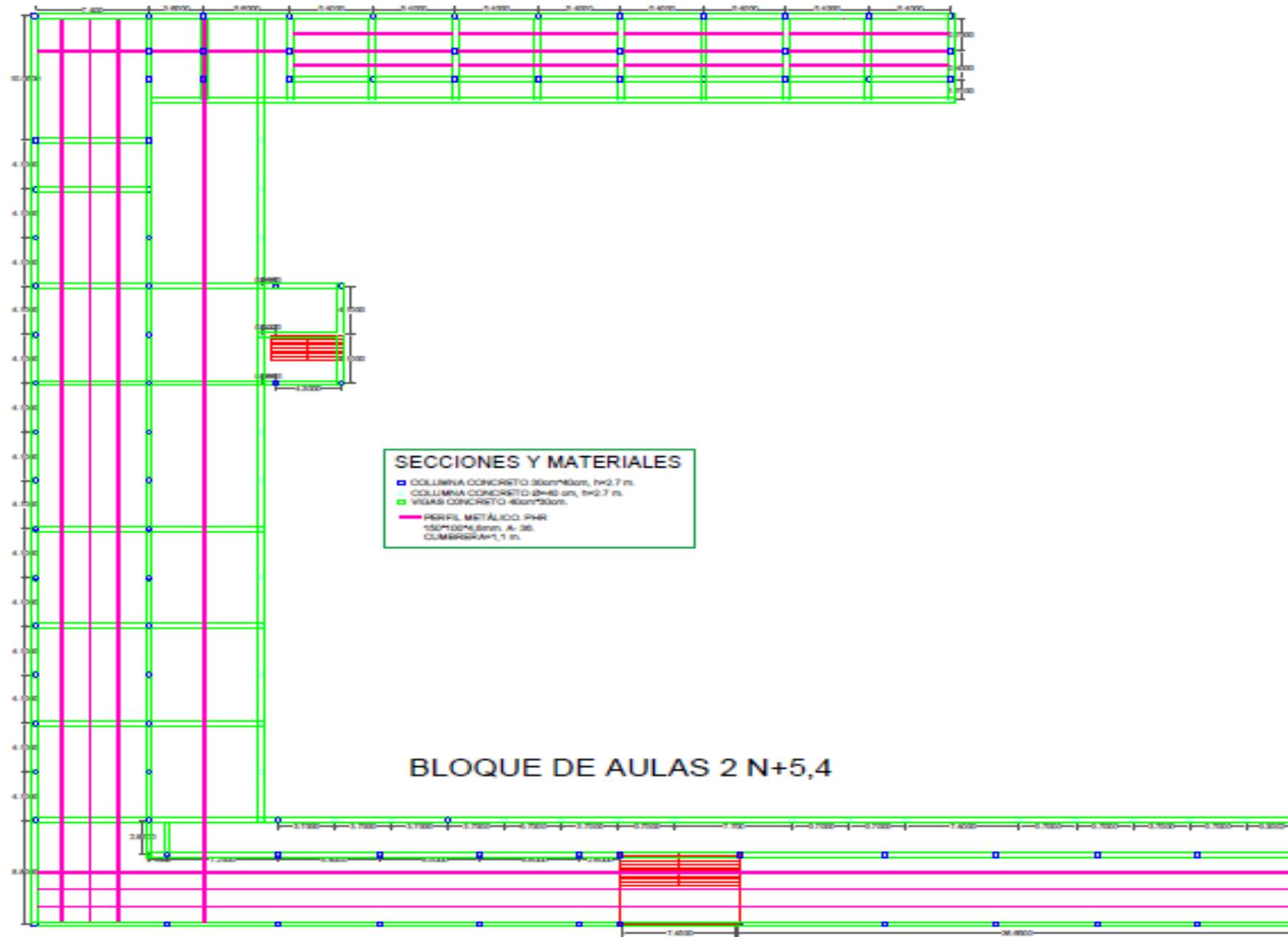


BLOQUE DE AULAS-GRILLA COL-CONCRETO

B. BLOQUE DE AULAS 1. GRILLA COL CONC



C. DETALLE DE CUBIERTA BLOQUE DE AULAS 1



E. BLOQUE DE AULAS 2 N+5,4

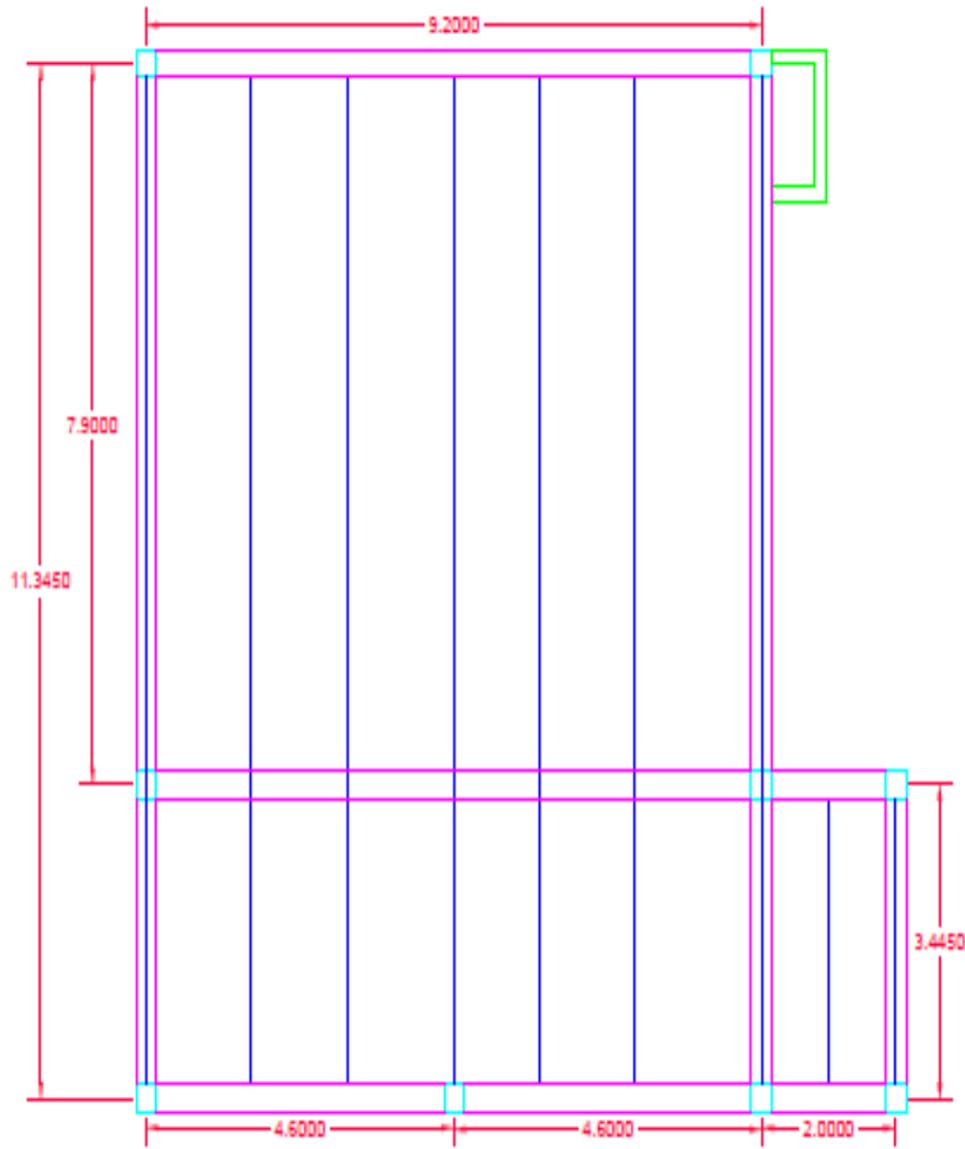


SECCIONES Y MATERIALES

- Columna (Concreto armado) 40 x 40
- ▭ Vigas (Concreto armado)
- Columna (Madera) 10,5cm x 10,5cm (40 x 40)
- □ □ Muro macizo (Madera) 10,5cm (40 x 40)
- ▬ Vigas (Madera) 10,5cm x 10,5cm
- ▬ Correas (Madera) 10,5cm x 10,5cm (Distancia 25 cm)

BLOQUE F

F. BLOQUE F

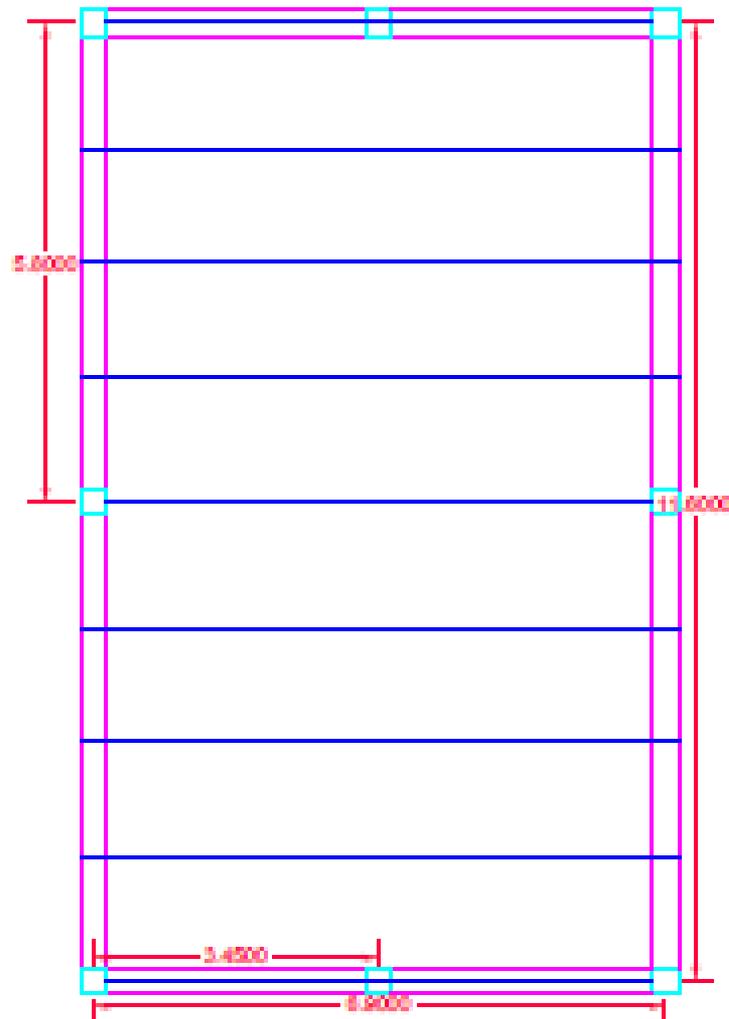


SECCIONES Y MATERIALES	
	COLUMNA CONCRETO 30cm*30cm, h=2.7 m.
	VIGAS CONCRETO 30cm*30cm.
	PERFIL METÁLICO. PHR 150*100*4,8mm. A- 36. CABALLETE A 3.6m

SALÓN DE LABORATORIOS

G. SALON DE LABORATORIOS.

SALA DE INFORMÁTICA

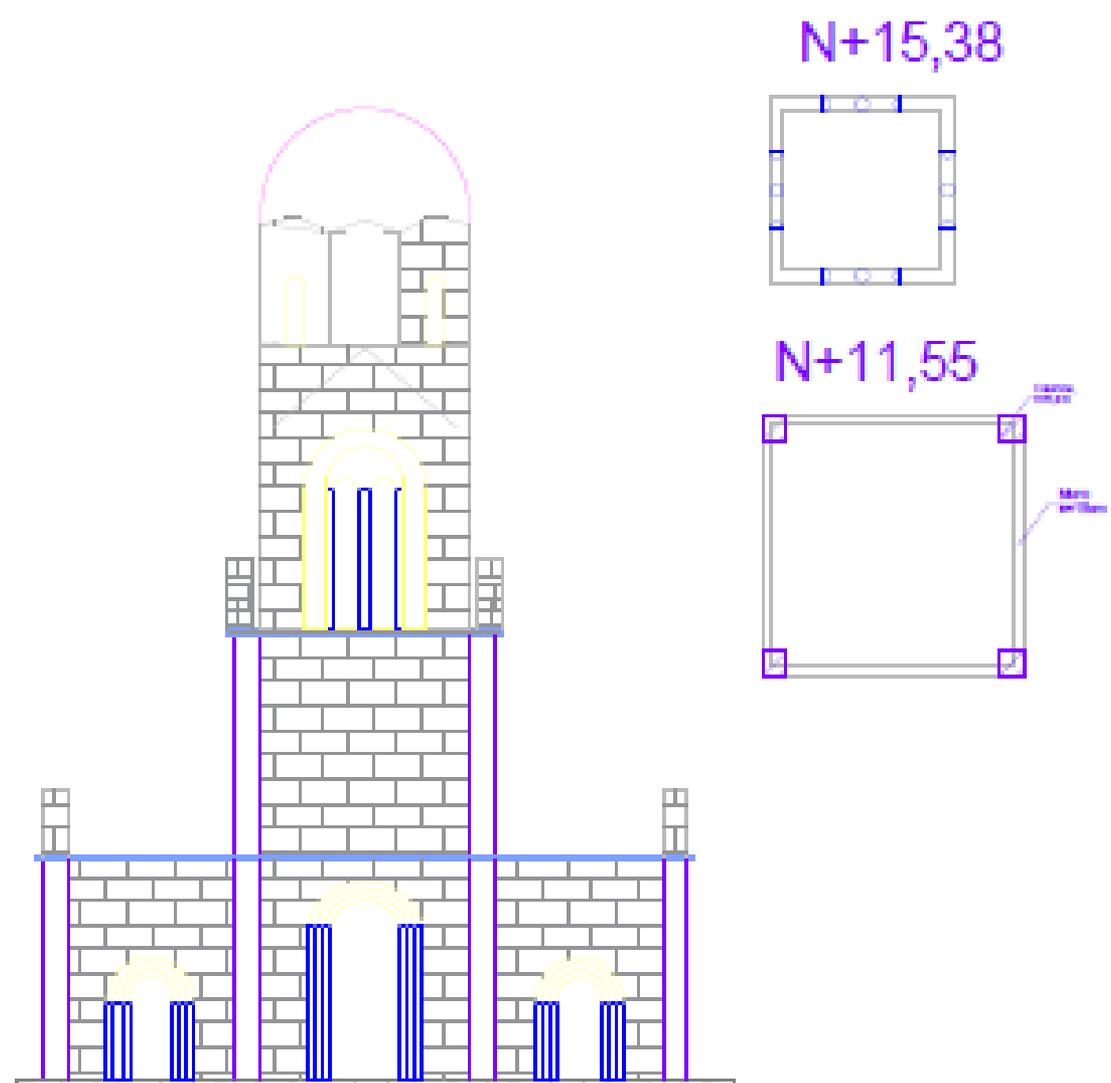


SECCIONES Y MATERIALES

- COLUMNA CONCRETO 30cm*30cm, h=2.7 m.
- ▭ VIGAS CONCRETO 30cm*30cm.
- PERFIL METÁLICO. PHR 150*100*4,8mm. A-36. CABALLETE A 3.6m

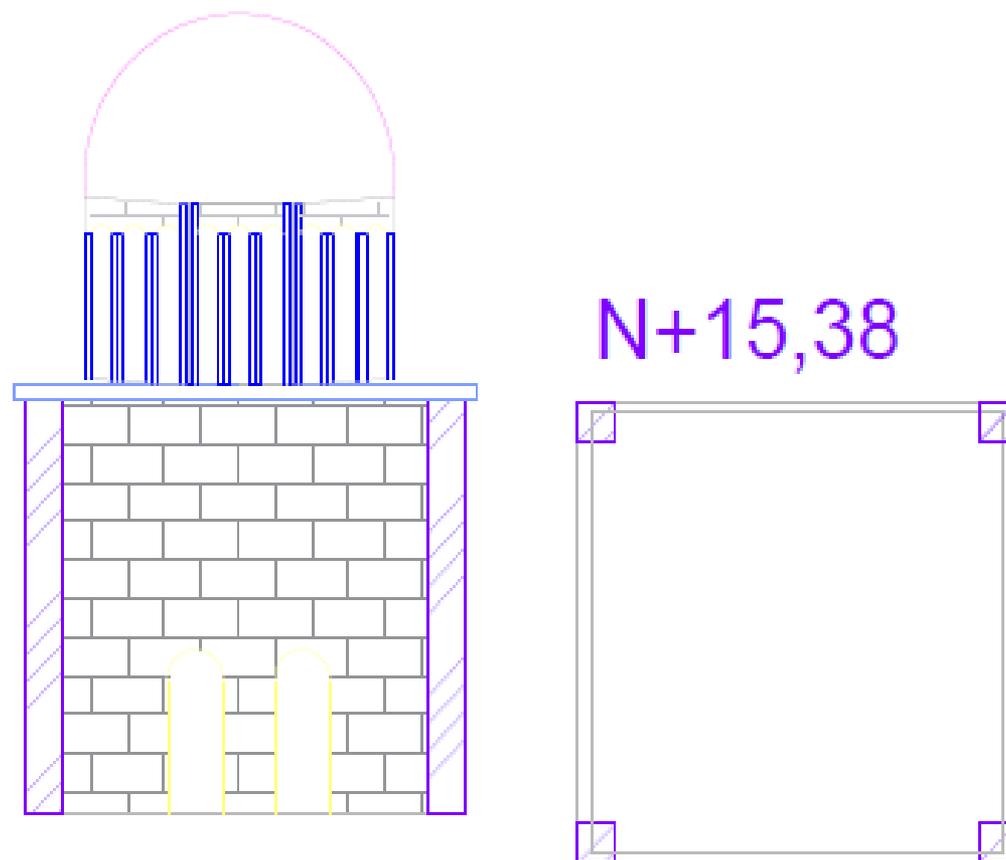
H. SALÓN DE INFORMÁTICA

VISTA FRONTAL



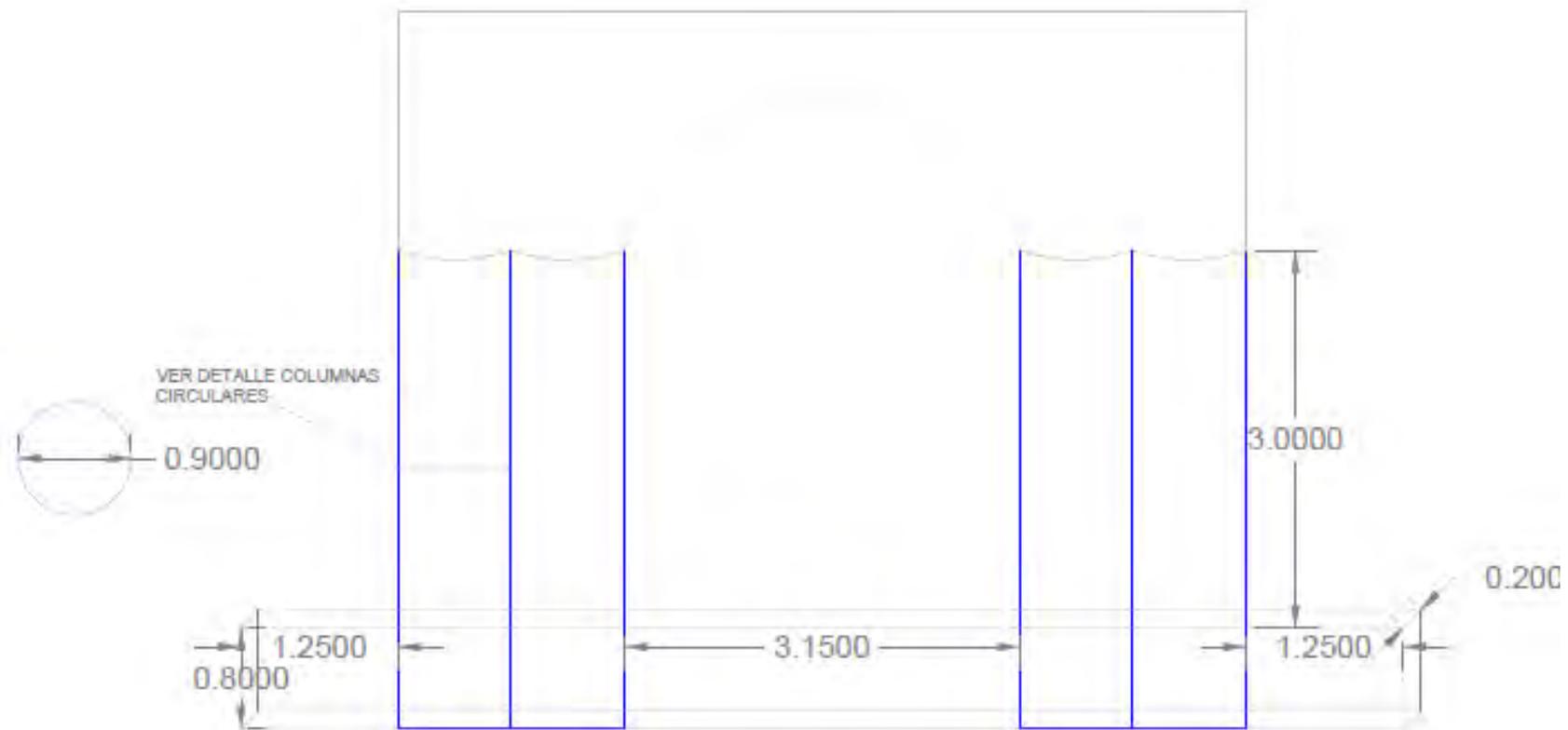
I. FACHADA IGLESIA SAN PEDRO.

VISTA POSTERIOR



J. VISTA POSTERIOR IGLESIA SAN PEDRO.

VISTA FRONTAL COLUMNAS INTERIORES



K. DETALLE COLUMNAS INTERIORES IGLESIA SAN PEDRO.

CÚPULA 1

VISTA LATERAL

CÚPULA 2

BÓVEDA



L. VISTA LATERAL IGLESIA SAN PEDRO.

ANEXO 2: REGISTRO FOTOGRAFICO

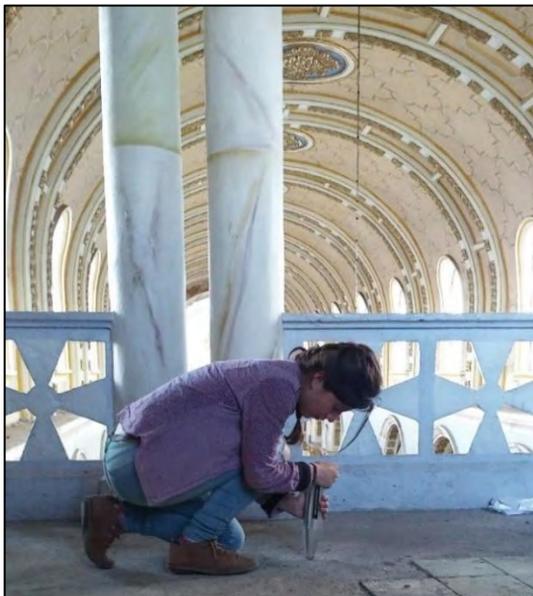
VISITA DE CAMPO 2: DETERMINACIÓN $f'c$ en estructuras.



A. Toma de esclerometría columna exterior Iglesia San Pedro.



B. Toma de esclerometría columna interior Iglesia San Pedro.



C. Toma de esclerometría losa interior Iglesia San Pedro.

VISITA DE CAMPO 3: INSPECCIÓN DE ACERO DE REFUERZO.



E. Ensayo SCANNER En columna interior I.E. JOSÉ ANTONIO LLORENTE



F.. Ensayo SCANNER En viga interior I.E. JOSÉ ANTONIO LLORENTE



G. Ensayo SCANNER En columna interior Iglesia San Pedro



H. Ensayo SCANNER En columna exterior Iglesia San Pedro