

ESTUDIO PATOLÓGICO AL RECUBRIMIENTO EN LADRILLO DE 12
COLUMNAS INTERNAS Y 2 EXTERNAS DE LA ALCALDIA DE YOPAL-
CASANARE

NATHALIE DEL PILAR OBANDO RAMÍREZ

JUAN MANUEL FUENTES SOLER

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DECANATURA DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
YOPAL, 30 DE AGOSTO DE 2018

ESTUDIO PATOLÓGICO AL RECUBRIMIENTO EN LADRILLO DE 12
COLUMNAS INTERNAS Y 2 EXTERNAS DE LA ALCALDIA DE YOPAL-
CASANARE

NATHALIE DEL PILAR OBANDO RAMÍREZ

JUAN MANUEL FUENTES SOLER

Trabajo de grado para obtener el título de Especialista en Patología de la Construcción.

Director: Arq. Walter Mauricio Barreto Castillo

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DECANATURA DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
YOPAL, 30 DE AGOSTO DE 2018

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Jurado

Yopal, agosto de 2019

Tabla de Contenido

Lista de Anexos	1
Anexo A. Fichas lesiones en elementos Alcaldía de Yopal.	1
Anexo A1. Seguimiento grietas Alcaldía, en elementos 1 y 2.	1
Anexo B. Planos estructurales originales edificio Alcaldía de Yopal.....	1
Anexo C. Fotoplanos con lesiones identificadas.....	1
Anexo D. Plano topográfico fachada edificio Alcaldía de Yopal.	1
Anexo E. Plano topográfico en planta edificio Alcaldía de Yopal.....	1
RAE. Resumen analítico especializado.....	1
Resumen	2
Abstract	3
Palabras Clave	4
Eflorescencia, criptoflorescencia, ladrillo, patología, humedad, fisuras, hongos, diagnóstico. ..	4
Introducción	5
Justificación	7
Objetivos	9
Objetivo General	9
Objetivos Específicos	9
Marco Referencial	10
Localización	16
Descripción y análisis del paciente	18
Alcance y limitaciones	23
Metodología	25
Obtención de permisos para inspecciones y estudios:.....	25
Inspección visual a elementos escogidos:	25
Elaboración de formatos para levantamiento y recopilación de la información:	26
Recolección de información (planos, testimonial, documental, etc.):.....	26
Ensayos y pruebas.	26
Análisis de información obtenida.....	27
Posibles alternativas de intervención y presupuesto de estas.....	29
Historia Clínica	30
- Fecha de realización del estudio:.....	30
- Autorización del estudio:	30

- Datos generales del paciente:	30
- Aplicación patológica:	33
- Descripción de patologías encontradas:	33
- Cumplimiento Título K NSR10	36
- Datos Generales del entorno:	41
- Fichas de lesiones:.....	43
Diagnóstico de la Patología.....	45
Eflorescencia	46
Cripto eflorescencia	47
Tratamiento para la Patología de las Eflorescencias	49
Propuesta de procedimiento para Tratamiento de las Eflorescencias	55
Causas Identificadas que generan la Humedad en los Ladrillos de Recubrimiento de los Elementos Analizados	59
- Humedad de filtración por falta de voladizo y canales de drenaje.....	59
- Humedad por filtración generada por tuberías y poco mantenimiento.	62
- Vegetación cercana a columnas, limpieza de canales perimetrales.....	66
- Grietas en elementos uno y dos.....	69
Cuantificación de ladrillos afectados en cada elemento.....	73
Suelos y Cimentaciones	77
- Geología general del paciente.	77
Estudio de Vulnerabilidad Sísmica.....	79
- Análisis de vulnerabilidad sísmica del paciente.....	83
- Estratigrafía.	84
a. Unidades del Cretácico.....	84
b. Unidades del Cenozoico.....	85
- Geología Estructural.....	89
Zona Oriental	89
- Amenazas Geológicas	92
- Amenazas de Origen Hidrometereológico	92
- Amenazas de Origen Sísmico	94
- Evolución Geológica	99
Conclusiones y Recomendaciones	100
Bibliografía	105

Lista de Tablas

Tabla 1 Subgrupo Institucional de Acuerdo con NSR-10-----	36
Tabla 2 Clasificación Eflorescencias Según Intensidad -----	52
Tabla 3 Cuantificación Ladrillos Afectados para cambio Total o Parcial -----	74
Tabla 4 Presupuesto Propuesta I de Intervención Parcial -----	75
Tabla 5 Presupuesto Propuesta Intervención II de Cambio Total de Ladrillos -----	75
Tabla 6 Clasificación de Amenaza Sísmica -----	96

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de Casanare, ubicación de Yopal.	16
Figura 2 Ubicación de Yopal, Google.	16
Figura 3 Parque El Resurgimiento- Alcaldía Municipal (2018)– Casanare, Nathalie Obando & Juan Manuel Fuentes, Yopal.....	16
Figura 4. fotografía de Nathalie Obando & Juan Manuel Fuentes, mayo 8 2018, Diseño de planta primer piso, Alcaldía de Yopal, planos originales por Ing. Carlos Navas Camargo, planta primer piso y placa de segundo piso.	18
Figura 5 fotografía Nathalie Obando & Juan Manuel Fuentes, (2018), fachada en ladrillo a la vista, Alcaldía de Yopal, julio 13 2018.....	19
Figura 6 Tipo de ladrillo perforado usado en columnas. Figura 7 Tipo de ladrillo perforado usado en muros.	19
Figura 8. Fotografía Nathalie Obando R & Juan Manuel Fuentes S, (Julio 13 2018). En el recuadro construcción nueva para atención al público, Alcaldía de Yopal.	21
Figura 9 Matera al lado del ladrillo a la vista. Figura 10. Salpicadura en el ladrillo a la vista.....	22
Figura 11. Fotografía por Nathalie Obando R & Juan Manuel Fuentes S (agosto de 2018). Humedad en construcción de área nueva edificio Alcaldía de Yopal.	22
Figura 12 Columnas internas área Tesorería., Figura 13. Columnas internas área Salud.	23
Figura 14. Revestimiento de columnas internas. Figura 15. Columnas internas de forma circular.....	24
Figura 16. Fotografía por Nathalie Obando & Juan Manuel Fuentes, (enero 2018) Columnas externas, Alcaldía de Yopal.	24
Figura 17. Fotografía por Nathalie Obando & Juan Manuel Fuentes, (julio 13 de 2018). Las flechas indican la parte que sobresale del alineamiento de las columnas y que en sitio se evidencia que es en ladrillo, esta parte es la que presenta agrietamiento en los dos elementos, Alcaldía municipal de Yopal. .	28
Figura 18. Lugar que presenta desprendimiento de la columna.	28
Figura 19. Posición en el plano de la columna de la figura 18.	28
Figura 20. Fotografía tomada por Nathalie Obando R & Juan Manuel Fuentes S, (2018). Cimentación del edificio según plano estructural, planos originales alcaldía por Ing. Carlos Navas Camargo.	31
Figura 21. Fotografía tomada por Nathalie Obando R & Juan Manuel Fuentes S, (2018). Cimentación del edificio según plano estructural, planos originales alcaldía por Ing. Carlos Navas Camargo.	31
Figura 22. Fotografía por Nathalie Obando R & Juan Manuel Fuentes S, (2018). Detalle de placa de contra piso cimentación primer nivel, planos originales alcaldía por Ing. Carlos Navas Camargo.....	32
Figura 23. Fotografía tomada por Nathalie Obando R & Juan Manuel Fuentes S. Despiece de vigas alcaldía Yopal, planos originales alcaldía por Ing. Carlos Navas Camargo.	32
Figura 24. Fotografía tomada por Nathalie Obando R & Juan Manuel Fuentes S, (2018). Detalle de plano de placa planos originales alcaldía por Ing. Carlos Navas Camargo.	32
Figura 25. Fotografía tomada por Nathalie Obando R y Juan Manuel Fuentes, (mayo de 2018). Placa entrepiso primer nivel sótano, edificio Alcaldía de Yopal.	33
Figura 26. Musgo y plantas.	33
Figura 27. Hongos.	33
Figura 28. Comején en columna.	33
Figura 29. Escalera empotrada. Figura 30. Tubería instalada. Figura 31. Cables eléctricos y de datos.....	34
Figura 32. Humedad en columna. Figura 33. Pérdida capa protectora. Figura 34. Desintegración del elemento.	34
Figura 35. Criptoflorescencias. Figura 36. Criptoflorescencias. Figura 37. Criptoflorescencias.	35
Figura 38. Eflorescencias. Figura 39. Criptoflorescencias. Figura 40. Eflorescencias.....	35
Figura 41. Grieta columna 2. Figura 42. Grieta columna 2. Figura 43. Grieta que rompe ladrillo.	36
Figura 44. Fotografía tomada por Nathalie Obando R & Juan Manuel Fuentes, (Julio de 2018). Vista aérea frente de Alcaldía municipal de Yopal, rampas de acceso - Alcaldía Yopal.	38

Figura 45. Estado actual de la cubierta.	Figura 46. Diseño de cubierta según planos originales	39
Figura 47. Fotografía tomada por Nathalie Obando R & Juan Manuel Fuentes, (mayo de 2018). Plano de cimentación de primer piso, plano original elaborado por Ing. Carlos Navas Camargo, alcaldía municipal Yopal.		40
Figura 48. Fotografía tomada por Nathalie Obando R & Juan Manuel Fuentes, (julio de 2018). Ubicación de las columnas a las cuales se les analizó el ladrillo de revestimiento- vista aérea, alcaldía municipal Yopal.		40
Figura 49. Ideam, (6 de octubre de 1999), Temperatura de Yopal Casanare, Cartas climatológicas- medias mensuales, recuperado 8 de septiembre de 2018 de http://bart.ideam.gov.co/cliciu/yopal/temperatura.htm		41
Figura 50. Ideam, (6 de octubre de 1999), Humedad en Yopal Casanare, , Cartas climatológicas- medias mensuales, recuperado 20 de mayo de 2019 de http://bart.ideam.gov.co/cliciu/yopal/temperatura.htm		42
Figura 51. Ideam, (6 de octubre de 1999), Precipitaciones Yopal Casanare, Cartas climatológicas- medias mensuales, recuperado 20 de mayo de 2019, recuperado de http://bart.ideam.gov.co/cliciu/yopal/precipitacion.htm		42
Figura 52. Elaborada por Nathalie Obando R & Juan Manuel Fuentes, Modelo de Fichas de Lesiones		43
Figura 53. Eflorescencias en ladrillo.	Figura 54. Eflorescencias y humedades.	46
Figura 55. Ladrillo afectado por criptoflorescencias.	Figura 56. Ladrillo afectado por criptoflorescencias.	Figuras 55, 56. Fotografías por Nathalie Obando R & Juan Manuel Fuentes, (enero 2018). Ladrillo de revestimiento afectado por cripto eflorescencias, columnas internas Alcaldía Yopal.
Figura 57. Modelo de Hardware para Identificación de Eflorescencias, Fombella Guillém, Ricardo, Hispalyt, Madrid, Eflorescencias en las fachadas de ladrillo cara vista, pág 57.		53
Figura 58. Fombella Guillém, Ricardo, (Hispalyt, Madrid), Muestra de Ladrillo Ensayado y Patrón, Eflorescencias en las fachadas de ladrillo cara vista.		53
Figura 59. Fombella Guillém, Ricardo, Imagen de Manchas Analizadas por el Ordenador, Eflorescencias en las fachadas de ladrillo cara vista, Hispalyt, Madrid.		53
Figura 60. Eflorescencia tipo 1.	Figura 61. Eflorescencia tipo 1 y 2.	Figura 62. Cripto y eflorescencias.
Figura 63. Desintegración de material.	Figura 64. Elemento faltante en columna.	Figura 65. Eflorescencias tipo II.
Figura 66. Proceso de Formación de Eflorescencias al Interior de un Material, Asefa, (2011), Madrid, Patología de la edificación 43: eflorescencias en fachadas, recuperado el 05 de Octubre de 2018 https://www.asefa.es/comunicacion/patologias/43-eflorescencias-en-fachadas		56
Figura 67. Fotografía por Nathalie Obando Ramírez & Juan Manuel Fuentes, plano por Ing. Navas Carlos, (2018), Plano original de placa en primer nivel, es el orden de los elementos objeto de estudio del ladrillo de revestimiento Alcaldía Yopal.		59
Figura 68. Placa que almacena agua lluvia.	Figura 69. Aporte de agua al ladrillo elemento 4	
Figura 70. Estado actual ladrillo de revestimiento.	Figura 71. Infiltración en elemento cuatro.	
Figura 72. Fotografía por Nathalie Obando Ramírez & Juan Manuel Fuentes, (julio de 2018), Cubierta actual que dirige el agua hacia la mampostería ubicada en la parte interna de la Alcaldía Yopal.		61
Figura 73. Humedad elemento 8.	Figura 74. Cara lateral elemento 8.	Figura 75. Base elemento 8.
Figura 76. Elemento 8.	Figura 77. Elemento 8 primer piso.	Figura 78. Elemento 8 eflorescencias.
Figura 79. Eflorescencias elemento 8.	Figura 80. Humedad.	Figura 81. Plantas en elemento 8.
Figura 82. Agua acumulada en placa.	Figura 83. Esquina donde se ubica elemento 8.	
Figura 84. Fotografía por Nathalie Obando Ramírez & Juan Manuel Fuentes, (12 de Julio 2018), Área afectada por acumulación de agua Alcaldía Yopal.		65
Figura 85. Plantas cercanas.	Figura 86. Humedad por capilaridad.	Figura 87. Plantas.
Figura 88. Vegetación en base de col.	Figura 89. Vegetación y criptoflorescencias.	Figura 90. Vegetación.
Figura 91. Vegetación elemento 13.	Figura 92. Hueco entre columna y piso.	

Figura 93. Canal perimetral.	Figura 94. Desagüe de tubería.	Figura 95. Desagüe tubería.....	68
Figura 96. Tubería aire acondicionado.	Figura 97. Tubería aire acondicionado.		68
Figura 98. Elaborada por Nathalie Obando Ramírez & Juan Manuel Fuentes, (2018), Ficha de seguimiento a grietas presentadas en los elementos 1 y 2 de la alcaldía de Yopal.....			70
Figura 99. Fotografía por Nathalie Obando Ramírez & Juan Manuel Fuentes, (2018), Ubicación elementos 1 y 2 en plano de cimentación Alcaldía Yopal.			71
Figura 100.	Figura 101.	Figura 102.	Figura 103.
			71
Figura 104. Servicio Geológico Colombiano, Ubicación de Casanare en Mapa de Amenaza Sísmica Nacional, mapa de amenaza sísmica en Yopal Casanare, junio de 2019.....			80
Figura 105. Servicio Geológico Colombiano, Clasificación de Zonas de Amenaza Sísmica, mapa de amenaza sísmica en Yopal Casanare, recuperado junio de 2019.....			80
Figura 106. Servicio Geológico Colombiano, Factores que Determinan la Zona de Amenaza Sísmica, mapa de amenaza sísmica en Yopal Casanare, recuperado junio de 2019.			81
Figura 107. Servicio Geológico Colombiano, Factores Ae y Ad que Determinan la Clasificación de la Sismicidad, mapa de amenaza sísmica en Yopal Casanare, recuperado junio de 2019.....			82
Figura 108. Servicio Geológico Colombiano, Ubicación Yopal Casanare en plancha 193, mapa de amenaza sísmica en Yopal Casanare, plancha 93.....			84
Figura 109. Servicio Geológico Colombiano, Plancha 193, (2013), Fallas Presentes en el Departamento de Casanare, Esquema estructural de fallas en el departamento de Casanare, junio de 2019.....			90
Figura 110. Servicio Geológico Colombiano, Trazo de la Falla de Yopal, Esquema estructural de fallas en el departamento de Casanare.			91
Figura 111. Servicio Geológico Colombiano, Trazado de la Falla Piedemonte, Esquema falla de Piedemonte en el departamento de Casanare, septiembre 2018.			92
Figura 112. Mapa de Amenaza Sísmica Plancha 193, Servicio Geológico Colombiano, clasificación de amenaza sísmica en el departamento de Casanare, septiembre de 2018.			95
Figura 113. Mapa de Amenaza Sísmica en Colombia, AIS – 300, Estudio general de amenaza sísmica de Colombia 2009, mapa de zonificación sísmica, pág102, recuperado 10 de Octubre de 2018 de http://www.r-crisis.com/Content/files/EstudioGeneraldeAmenazaSismicadeColombia2009_AIS_lowres.pdf			96
Figura 114. Garzón, Pablo, (2011), Valores del Factor Aa, AIS, Evaluación de la amenaza sísmica de Colombia mediante análisis de valores extremos históricos, Bogotá. Tomado de “Estudio general de amenaza sísmica de Colombia. Recuperado septiembre 15 de 2018 de http://bdigital.unal.edu.co/5110/1/299996.2011_pte._1.pdf			97
Figura 115. Servicio Geológico Colombiano: SIMMA, (2002), Sistema de Información de Movimiento en Masa, Sistema de información de movimiento en masa, recuperado el 10 de noviembre de 2018 de http://simma.sgc.gov.co/#/public/results/			98
Figura 116. Servicio Geológico Colombiano: SIMMA, (2002), Tipos de Movimientos en Masa Presentados en Yopal en los últimos 8 Años, Sistema de información de movimiento en masa, recuperado el 10 de noviembre de 2018 de http://simma.sgc.gov.co/#/public/results/			98
Figura 117. Evolución Geológica, Servicio Geológico Colombiano, (2003) sistema de movimiento en masa.....			99

Lista de Anexos

Anexo A. Fichas lesiones en elementos Alcaldía de Yopal.

Anexo A1. Seguimiento grietas Alcaldía, en elementos 1 y 2.

Anexo B. Planos estructurales originales edificio Alcaldía de Yopal.

Anexo C. Fotoplanos con lesiones identificadas.

Anexo D. Plano topográfico fachada edificio Alcaldía de Yopal.

Anexo E. Plano topográfico en planta edificio Alcaldía de Yopal.

RAE. Resumen analítico especializado.

Resumen

En el contenido del documento se realiza un diagnóstico de la problemática que presenta el recubrimiento (ladrillos), de las columnas del edificio de la alcaldía de Yopal, se describe la estructura mediante una historia clínica donde se determinan los diferentes factores que intervienen en la formación de las patologías que se presentan en los elementos, teniendo en cuenta aspectos como el entorno, el clima, el uso de la edificación y el factor humano; situaciones que de una u otra manera , con el transcurrir de los años han ocasionado el deterioro y afectación progresiva de los ladrillos; una vez establecido el daño y las causas, se determinan las soluciones de mitigación de la patología, estableciendo dos alternativas de solución con su respectivo presupuesto; adicionalmente se realiza un estudio de vulnerabilidad sísmica como complemento, teniendo como fundamento la norma sismo resistente y basados en la importancia que tiene la edificación como centro administrativo del municipio.

Abstract

In of the document a diagnosis is made of the problem presented by the coating (bricks), of the building's columns of the Yopal's mayoralty, the structure is described by a clinical history where the different determined factors involved in the formation are of the pathologies that occur in the elements, taking into account aspects such as the environment, the climate, the use of the building and the human factor; situations that in one way or another, over the years have caused the deterioration and progressive involvement of the bricks; once the damage and the causes have been established, the pathology mitigation solutions are determined, establishing two solution alternatives with their respective budget; Additionally, a seismic vulnerability study is carried out as a complement, taking into account the earthquake resistant technical standard and based on the importance of the building as the administrative center of the municipality.

Palabras Clave

Eflorescencia, criptoeflorescencia, ladrillo, patología, humedad, fisuras, hongos, diagnóstico.

Introducción

El presente estudio patológico, está basado en la identificación de las patologías que presentan los ladrillos que hacen parte de la fachada y recubren doce columnas internas y dos columnas externas, del edificio de la administración municipal de Yopal, en el contenido del documento se realiza un diagnóstico de la problemática que presentan los ladrillos; se describe la estructura mediante una historia clínica donde se determinan los diferentes factores que intervienen en la formación de las patologías que se presentan en los elementos, teniendo en cuenta aspectos como el entorno, el clima, el uso de la edificación y el factor humano; situaciones que de una u otra manera , con el transcurrir de los años han ocasionado el deterioro y afectación progresiva de los ladrillos; una vez establecido el daño y las causas, se determinan las soluciones de mitigación de la patología; adicionalmente se realiza un estudio de vulnerabilidad sísmica como complemento, teniendo como fundamento la norma sismo resistente y basados en la importancia que tiene la edificación como centro Administrativo del municipio, de igual manera los resultados de la investigación, se basan tomando como referencia lo escrito por varios autores y documentos, tales como: Trowel tips information, Portland cement association- 2004, Eflorescencias en fachadas – 43, Madrid, junio 24 de 2011, Normativa de ladrillos y bloques, Madrid octubre de 2014, Removing efflorescence by John A. Koski, Eflorescencias en las fachadas de ladrillo cara vista, Ricardo Fombella Guillén, Estudio general sobre eflorescencias en obra, Madrid, abril 1998 - D. Jorge J Osuna Marcos, Daños por cristalización de sales, D. Paula López Arce, Eflorescence – causes and prevention, the brick industry association, Enciclopedia broto de la construcción, Masonry Institute of América – MIA,m Tecnología de aditivos para prefabricados de concreto – Toxement.

El Palacio Municipal de Yopal, capital del departamento de Casanare, es una sede administrativa que fue inaugurada en el año 1994, como edificio de atención a la comunidad de la ciudad, en este se encuentran las diferentes dependencias que conforman la Administración Municipal, como el despacho del alcalde, las oficinas de los secretarios

de despacho, Consejo Municipal, Almacén Municipal y Archivo en alguna época, entre otros.

La forma geométrica del edificio vista durante el desarrollo del proyecto es semi circular, consta de dos niveles para el funcionamiento de las oficinas, un sótano, en el centro tiene una zona abierta con árboles y una pila; el diseño inicial del edificio contemplaba dos salidas y entradas en lados opuestos, sin embargo se han realizado modificaciones en la planta física por lo cual en la actualidad solo se cuenta con una salida, toda vez que en el acceso occidental se construyó un área más de oficinas; el total de la estructura construida es de 9000 metros cuadrados aproximadamente.

El edificio construido hace 24 años (placa conmemorativa de inauguración del edificio) ha cumplido su función de centro administrativo para la ciudad de Yopal, con la consecuente presencia de personas que a diario laboran en las oficinas y los usuarios que lo frecuentan, por otra parte, soporta factores climáticos adversos tales como elevadas temperaturas, periodos de fuerte invierno y elevados niveles de humedad, que se presentan durante lo largo de cada año, acompañado de elevados índices de humedad. Por ser un centro de atención a ciudadanos genera una concentración elevada de vehículos y por su ubicación geográfica dentro de la ciudad es un punto obligatorio para que más del 60% de las rutas de transporte público pasen por los costados de la alcaldía; todos estos factores generan afectaciones que directa o indirectamente se reflejan en cada parte de la estructura que hoy en día se manifiestan en el edificio, causadas por la exposición permanente a los agentes atmosféricos, la contaminación del tráfico automotor, la falta de mantenimiento preventivo de la estructura, las invasiones a que se somete cada vez que se realiza una modificación en la planta física, las afectaciones de servicio al estar permanentemente expuesta al uso indebido de las personas que trabajan y visitan la estructura.

Justificación

La realización de este estudio patológico es importante teniendo en cuenta que el edificio presta sus servicios a todos los Yopaleños, con presencia permanente de usuarios o ciudadanía en general, lo que determina una carga viva que circula en las instalaciones, generando esfuerzos a las estructuras objeto del presente estudio, por lo cual es indispensable conocer y dar el diagnóstico del estado actual de dichos elementos, con el fin de evitar que se conviertan en un factor de riesgo para la integridad de los usuarios internos y externos de la edificación.

Por otra parte, dada la antigüedad de la construcción es fundamental conocer si los elementos no estructurales objeto de estudio, cumplen con las normas de construcción sismo resistentes vigentes, debido a que los requisitos y condiciones para este tipo de edificaciones exige parámetros diferentes o ajustados a los que se aplicaron en la época de la construcción del edificio. Adicionalmente en la estructura a través del tiempo se han realizado modificaciones al diseño original que en algunos casos ha comprometido la integridad de los elementos de recubrimiento de las columnas y de acuerdo con lo observado inicialmente se están presentando afectaciones al ladrillo de revestimiento de la edificación.

Al realizar el estudio patológico, se plantea una posible solución al problema que se está presentando, que servirá de herramienta a la administración municipal para que tomen las acciones correctivas necesarias para reparar las lesiones encontradas con el fin de evitar que las mismas avancen y deterioren el revestimiento, de tal forma que representen riesgo a la integridad física de los usuarios de la edificación ya que pierden sus propiedades mecánicas y físicas que provocarían desprendimientos y a su vez continuarían transmitiendo al concreto y acero otras patologías que degenerarían el elemento; este estudio dará bases para que se mejoren las condiciones laborales de los funcionarios de la alcaldía y la seguridad de quienes frecuentan a diario las instalaciones de la Entidad.

Las patologías que se observan se generalizan en todo el revestimiento de la edificación, sin embargo, el alcance del presente estudio se limita a los ladrillos de revestimiento de las columnas internas expuestas (12 elementos) y a dos de la parte externa, éstas últimas por solicitud de la Alcaldía debido a que presenta grietas que generan preocupación a los funcionarios que laboran y visitantes.

Adicionalmente por ser los ladrillos la parte visible de la edificación y ser los del recubrimiento de las columnas los más afectados, es necesario el estudio con el fin de conocer y determinar el grado de afectación de la fachada de la alcaldía, dando una herramienta a la administración para establecer una intervención a corto, mediano o largo plazo. Se aclara que si bien el estudio se limita solo a los elementos nombrados no quiere decir que las piezas que hacen parte del resto de la fachada no estén afectadas.

Objetivos

Objetivo General

- Realizar el estudio patológico al revestimiento en ladrillo de las columnas internas (12 elementos) y externas (2 elementos) que hacen parte de la fachada del edificio de la alcaldía en Yopal, Casanare.

Objetivos Específicos

- Identificar y clasificar las lesiones que están afectando los ladrillos que recubren los elementos estructurales objeto del presente estudio, en físicas, químicas, antropogénicas o mecánicas.
- Determinar la causa de las lesiones presentadas en los elementos estudiados para proponer alternativas de intervención, con el fin de que la administración municipal conozca el estado actual del daño y tome las medidas respectivas.
- Establecer los costos necesarios para la intervención requerida, de acuerdo con la alternativa de solución que se seleccione.

Marco Referencial

TEÓRICO: La fachada de la alcaldía de Yopal es en ladrillo a la vista, el cual con el transcurrir del tiempo se ve afectado por los factores externos e internos que de alguna manera contribuyen al deterioro de la estructura, el estudio en particular se refiere a los ladrillos que recubren las columnas del edificio, teniendo en cuenta que son los ladrillos que presentan mayor afectación.

En el estudio patológico se estudian los orígenes y causas de los daños encontrados en los ladrillos, de acuerdo con diversos factores como físicos, químicos, antropogénicas, biológicos, entre otros, siendo los de origen químico la de mayor presencia y que generan el deterioro actual de los ladrillos.

Una de las patologías encontradas en los ladrillos, es de origen químico, que consisten en reacciones químicas de sales, ácidos o álcalis que generan la descomposición del material afectado. Las principales lesiones químicas son las eflorescencias, cripto eflorescencias, oxidaciones y corrosiones.

Las eflorescencias son la cristalización en la superficie de un material de sales solubles contenidas en el mismo; esto se produce cuando el agua que se encuentra en el interior de un material, y que contiene una solución de esas sales, se evapora de manera relativamente rápida, cuando la cristalización salina se genera en el interior del material, la patología se llama criptoeflorescencias. *Broto, C, (2006), pg. 131.*

Esta patología se presenta en forma de manchas blancuzcas que afectan el aspecto exterior de los ladrillos, deteriorándolo incluso hasta llegar a ocasionar desprendimientos; las manchas tienen formas geométricas que varían de acuerdo con el cristal, asemejando en cierta forma a flores, de ahí el nombre de la lesión.

Los materiales porosos o con texturas más abiertas que tiene alguna capacidad de absorción de agua como el ladrillo, la piedra, el hormigón o el yeso, son los más propicios en donde se presenta este tipo de lesión.

Según Broto, (2006), el agua es la causa directa que genera esta lesión, ya que disuelve las sales y luego las arrastra hacia el exterior el origen puede ser variado y las fuentes más usuales son:

- Agua de construcción, o agua de obra, que va saliendo a medida que se seca la obra y genera las primeras eflorescencias.
- Agua de Lluvia, que se infiltra desde el exterior por absorción o a través de fisuras o grietas, que, en época de temperatura alta, se evapora y regresa al exterior.
- Vapor de agua, que procede del interior de la obra, que, al condensarse, disuelve las sales del material y las arrastra al exterior.
- Agua procedente de rotura de tuberías o de otras fugas, con efecto sobre los materiales igual a los casos anteriores.

Se han mencionado las afectaciones que pueden presentar los ladrillos, pero es necesario hacer un recuento de su orígenes y características principales. La aparición del ladrillo como elemento constructivo data de hace más de 4.000 años, desde las fundaciones de las poblaciones, se emplearon materiales como el adobe o el ladrillo con su pasta mezclada con más elementos, como el caso de paja o astillas de caña, con el fin de mejorar su consistencia, utilizando de dos formas este material, ya sea crudo secado al sol o ladrillo cocido fraguado al fuego; actualmente son los elementos más utilizados en la construcción y su proceso de fabricación se ha mejorado y evolucionado.

Sin embargo, los principios básicos son los mismos donde la combinación de fuego, tierra y agua no cambia, la fabricación consiste en la selección y preparación de la arcilla, el moldeo de la pasta y secado y por último la cocción de la pieza.

“La arcilla como componente principal del ladrillo, es un tipo de roca sedimentaria disgregada, terrosa, criptocristalina, que está formada básicamente por silicatos de aluminio hidratados” *Broto, C, (2006), pg. 131.*

LEGAL: El Decreto 2746 de 1984, es la norma técnica de construcción en Colombia vigente al momento de la construcción del edificio, teniendo en cuenta que corresponde a las vigencias comprendidas entre 1991 y 1994, no obstante, dicha normatividad ha venido evolucionando y cambiando de acuerdo a las nuevas técnicas de construcción que se han dado en razón a los acontecimientos que afectan el diario transcurrir de las edificaciones; por lo cual a la fecha las construcciones se rigen por la Norma Sismo resistente NSR 10; en lo que respecta a los ensayos de laboratorios y demás estudios, la construcción en Colombia se rige por las Normas Técnicas NTC, las normas ISO y las normas AASHTO.

Marco Conceptual

Temperatura:

Magnitud que indica la intensidad de calor o frío en el medio ambiente, un cuerpo, un objeto. Ideam, (6 de octubre de 1999).

Humedad:

La humedad es el contenido de agua en un porcentaje mayor al considerado normal en un material o elemento constructivo que puede generar cambios en las propiedades físicas del material. Ideam, (6 de octubre de 1999).

Brillo Solar:

Es el tiempo total durante el cual la luz del sol incide directamente sobre un lugar, entre el alba y el atardecer. Ideam, (6 de octubre de 1999).

Evaporación:

Es un proceso físico el cual ocurre como consecuencia de un aumento natural o artificial de la temperatura, es decir, la agitación de las moléculas por acción de calor provoca que estas logren ganar la energía suficiente para desprenderse del líquido y convertirse en vapor.

Caída

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento. “*Servicio geológico colombiano, 2012*”

Deslizamiento

Es un movimiento ladero abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. “*Servicio geológico colombiano, 2012*”

Flujo

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída “*Servicio geológico colombiano, 2012*”.

Criptoflorescencias

Se presenta en un material cuando la capilaridad es lenta y la evaporación es rápida los depósitos de sal quedan al interior de los poros del material, estos se cristalizan una vez el agua se evapora sometiendo al material a una presión interna que causa expansión y genera rotura de la superficie. Broto, (2006).

Eflorescencias

Es un depósito cristalino que se forma una vez aparece la humedad, presenta tinte blanco o blanco brillante una vez se evapora el agua. Broto, (2006).

Grietas

Es una apertura de forma alargada que no se puede controlar, se presenta en un elemento afectando todo su espesor. Victorvcb, (2012).

Fisura

Es una abertura incontrolada que afecta la superficie del elemento o a su acabado superficial. Victorvcb, (2012).

Los datos de temperatura, humedad, brillo solar y evaporación representan en el presente análisis una de las posibles causas teniendo en cuenta que son un factor muy importante en la formación de las patologías, según el documento Estudio general sobre las eflorescencias en obra de Jorge J Osuna Marcos, (1998) “...que entre los factores externos a la naturaleza de los materiales se pueden citar unos de carácter ambiental o climático, variaciones de humedad atmosférica, régimen de vientos, etc.” que pueden llegar a incidir en las patologías que observamos en los elementos descritos en este documento.

Localización

La estructura que se describe en el presente trabajo está ubicada en Yopal la capital del departamento de Casanare (ver figura 1); este Municipio está situado en la parte oriental del territorio colombiano localizado a 335 kilómetros de la ciudad de Bogotá (ver figura 2). Los elementos en estudio para el presente trabajo pertenecen al edificio institucional de la Alcaldía de Yopal, localizada entre las carreras 14 con transversal 17 y entre la calle 15 con diagonal 16, del Municipio.

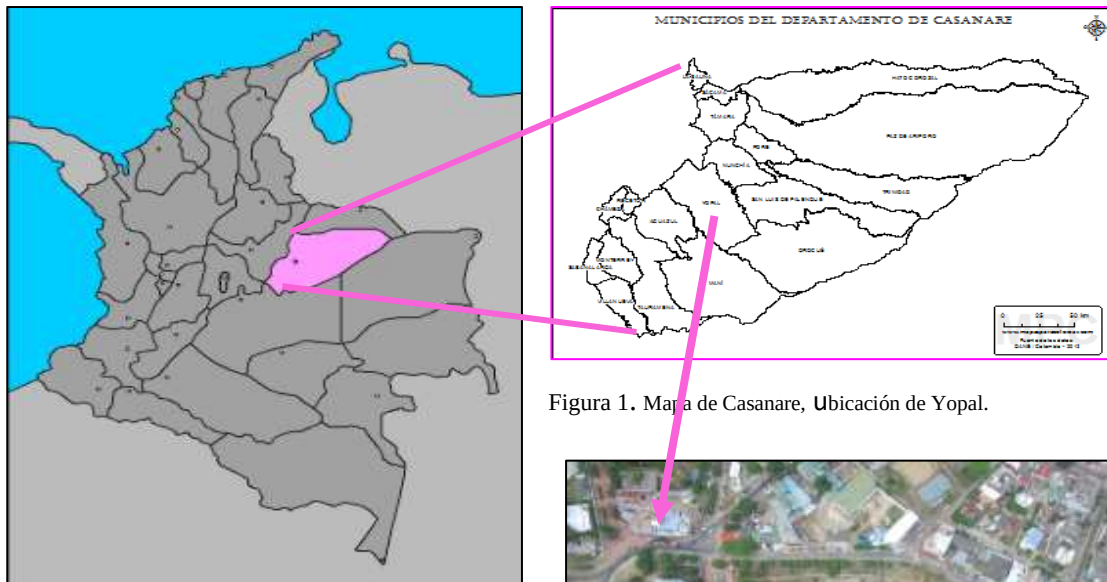


Figura 1. Mapa de Casanare, Ubicación de Yopal.

Figura 2 Ubicación de Yopal, Google.



Figura 3 Parque El Resurgimiento- Alcaldía Municipal (2018)- Casanare, fuente: autores, Yopal.

En la figura 3 se observa la forma geométrica del edificio y el entorno que rodea la Alcaldía del municipio de Yopal, que es una zona con edificios de oficinas, se encuentra el comando de policía de Casanare, una cuadra hacia el norte están los

juzgados, oficinas de Enerca (Empresa de energía de Casanare) y el Ancianato Municipal, es una zona con bastante circulación por ende presenta alto tráfico vehicular; frente a la edificación se encuentra el parque más grande de la ciudad llamado El Resurgimiento, sede de varios encuentros, eventos y festividades que se realizan en la ciudad.

Descripción y análisis del paciente

El paciente en estudio consta de dos plantas y un sótano, este último abarca solo la mitad de la estructura; de acuerdo con lo investigado su sistema constructivo consta de zapatas, vigas y columnas en concreto de 310 Kg/cm² y muros mampuestos en ladrillo; fue utilizado acero de refuerzo de $F_y = 4200$ Kg/cm² y de $F_y = 2600$ Kg/cm² (para columnas, vigas y en zapatas).

Planta del primer piso

Casi la mitad de la edificación cuenta con placa en concreto reforzado aligerada con casetón (parte que corresponde al sótano), el resto de la estructura en el primer piso se soporta en terreno natural con cimentación en zapatas y vigas (figura 4).

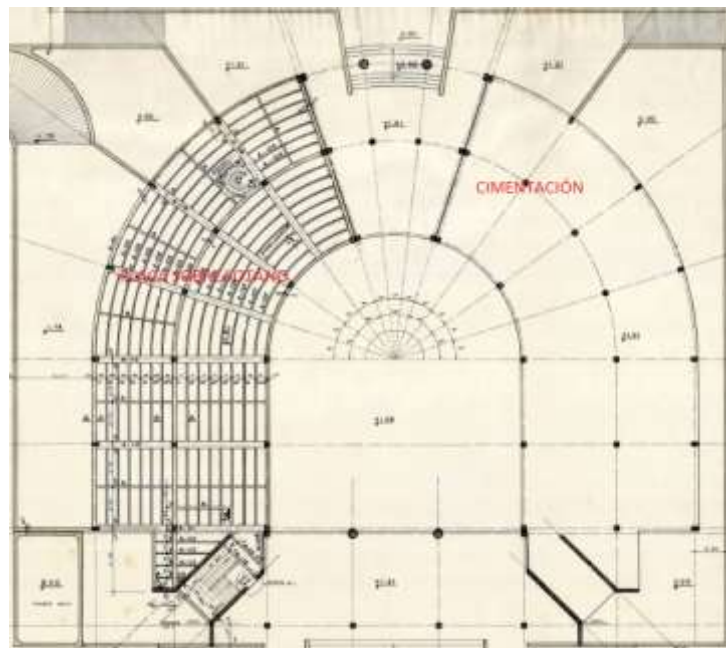


Figura 4. Fuente: autores, mayo 8 2018, Diseño de planta primer piso, Alcaldía de Yopal, planos originales por Ing. Carlos Navas Camargo, planta primer piso y placa de segundo piso.

Geometría de la estructura

La estructura presenta una forma geométrica de semicírculo (fotografía 5), tiene dos accesos con portones metálicos cada uno, que funcionan para ingreso y salida de los usuarios de las diferentes áreas que componen la administración municipal; durante el tiempo del estudio solo se utiliza uno de los accesos para ingreso y salida de las personas, lo cual por el alto flujo de visitantes en algunas ocasiones es insuficiente en el caso de una evacuación ante un evento de emergencia. Entre tanto la salida por el otro acceso permaneció cerrada, la altura de las columnas entre el primer y segundo nivel es de 3.8 metros; por otra parte, y como se ha mencionado el estudio se dirige a los ladrillos del recubrimiento de las columnas en el cual el daño es grave.



Figura 5. fuente: autores, (2018), fachada en ladrillo a la vista, Alcaldía de Yopal, julio 13 2018.



Figura 6 Tipo de ladrillo perforado usado en columnas.



Figura 7 Tipo de ladrillo perforado usado en muros.

Figura 6 y 7. Fuente: autores, (enero 5 de 2018), Tipo de ladrillo perforado, empleado en la construcción de muros y columnas, Alcaldía de Yopal.

Parte interna

Internamente la estructura tiene amplios espacios en corredores, oficinas y escaleras, aunque no cumple con algunos requisitos solicitados en la norma NSR-10 título K y debe ajustarse a ello.

Durante las visitas realizadas se observó, que en la mayoría de las oficinas hay muebles para el uso de los trabajadores y bastante muebles para el archivo de documentos, estos elementos ocupan espacio y adicionan cargas extras a la estructura, de igual forma el personal que permanece en las instalaciones tanto trabajadores como visitantes generan una elevada carga viva que también soporta la estructura, condiciones importantes que ameritan la realización de un estudio estructural y de vulnerabilidad que permita conocer el estado actual del edificio.

Recorriendo la fachada se observa la instalación de diversas conexiones de tipo eléctrico, aires acondicionados, cámaras de seguridad y chazos para sostener carteleras que están ancladas en el recubrimiento lo que afecta también la integridad no sólo del ladrillo sino la resistencia mecánica del mortero de pega.

En la parte central el edificio se cuenta con una abertura que internamente es un patio, en el centro de esta hay una pileta y alrededor árboles de la especie “Pumarroso”; estos árboles tienen una altura aproximadamente de 9 metros de alto y muy frondosos, lo que aporta sombra en el área de la pileta.

Planos originales

Los planos estructurales originales encontrados para el presente estudio aportaron información sobre el diseño inicial, es notable que han realizado cambios en la estructura de la edificación como: apertura de puertas en muros que eran continuos (retirando ladrillos) para crear accesos a oficinas, modificaciones en las áreas de servicio de la

edificación existente; actualmente hay una construcción nueva que amplía el área construida del edificio. Desafortunadamente en la nueva construcción hay detalles constructivos que se repiten en cuanto a la no protección del ladrillo a la vista del agua y la humedad que cae de la cubierta, adicionalmente se presenta la siembra de plantas cerca de los mampuestos, estas condiciones son factores detonantes que desencadenan las patologías que se presentan actualmente en los ladrillos de las columnas objeto de estudio.

La información de planos y de historia de la construcción con la que cuenta la edificación es mínima, sólo fue posible encontrar algunos planos estructurales, no se encontraron planos eléctricos, hidráulicos, arquitectónicos, por lo cual fue necesario hacer el levantamiento topográfico de la edificación en la parte externa.

A continuación, se ilustran los detalles constructivos que se repiten en la nueva edificación con relación a la edificación antigua.

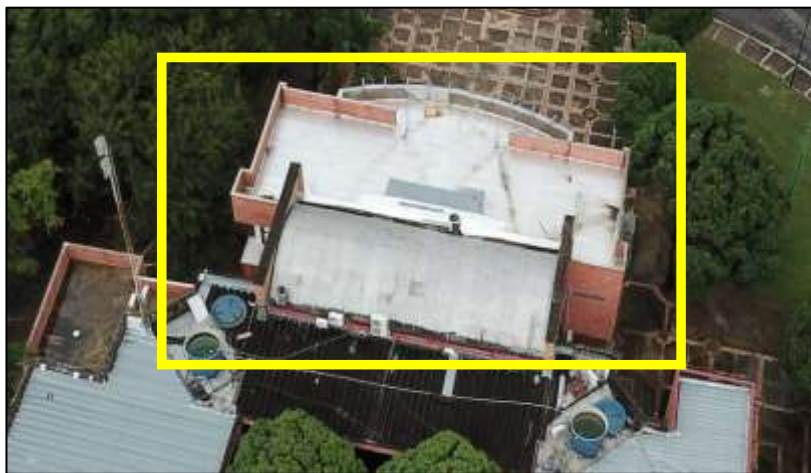


Figura 8. Fuente: autores, (Julio 13 2018). En el recuadro construcción nueva para atención al público, Alcaldía de Yopal.

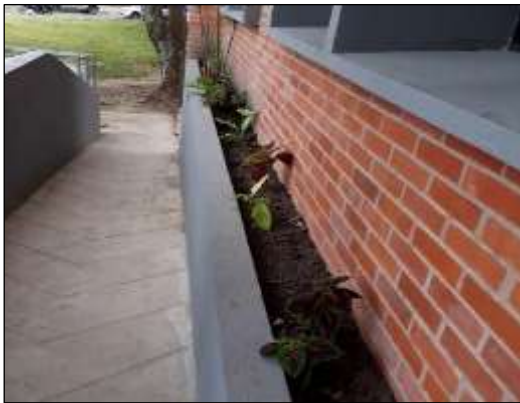


Figura 9 Matera al lado del ladrillo a la vista.



Figura 10. Salpicadura en el ladrillo a la vista.

Figuras 9 y 10. Fuente: autores, (agosto de 2018), Matera al lado del ladrillo a la vista (Izquierda) y salpicadura por gotera que cae desde la cubierta (derecha) construcción nueva.



Figura 11. Fuente: autores, (agosto de 2018). Humedad en construcción de área nueva edificio Alcaldía de Yopal.

Como se observa en las fotografías 9, 10 y 11, los ladrillos de recubrimiento de la construcción nueva presentan exposición a humedades por filtración y capilaridad, no se contemplan desde los diseños, la protección para evitar y prevenir estas afectaciones que son la causa directa de las patologías de la mampostería que a la larga representan reducción de la vida útil de los ladrillos.

Alcance y limitaciones

El estudio patológico se realizará a los ladrillos que recubren las 12 columnas internas y dos columnas externas que componen la estructura del Palacio Municipal de Yopal. A través de una inspección visual a los elementos y la recopilación de información que se encuentre del proceso constructivo del edificio, así como los estudios que se le han hecho durante la historia de la edificación, se tendrá las bases para dar un diagnóstico que permita establecer las lesiones o daños que con el tiempo han afectado las estructuras de la fachada o ladrillos. Es importante mencionar que la información básica del edificio se encuentra en la administración municipal, situación que es de alguna manera una limitante, puesto que por el tiempo que ha transcurrido, se ha perdido información de la memoria histórica del edificio, teniendo en cuenta que ha habido una gestión documental deficiente por parte de las diferentes administraciones.

En las figuras 12 y 13 se aprecian las columnas internas y externas que forman la estructura de del palacio municipal, que serán analizadas en el presente estudio patológico:



Figura 12 Columnas internas área Tesorería.,



Figura 13. Columnas internas área Salud.

Figuras 12 y 13. Fuente: autores, (enero 2018), Revestimiento de columnas internas en la Alcaldía de Yopal.



Figura 14. Revestimiento de columnas internas.



Figura 15. Columnas internas de forma circular.

Figuras 14 y 15. Fuente: autores, (enero 2018), Columnas internas en la Alcaldía de Yopal.



Figura 16. Fuente: autores, (enero 2018) Columnas externas, Alcaldía de Yopal.

Metodología

Para la realización del presente estudio, se desarrollan una serie de actividades que permitieron establecer las patologías presentes en los ladrillos que hacen parte de la fachada del edificio de la administración municipal de Yopal. Para el estudio de las patologías de los ladrillos que recubren las columnas internas y externas del edificio, se plantea la metodología que se va a seguir como un diseño mixto predominando el enfoque cualitativo; aclarando que este enfoque recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos del paciente, en este método se usa la lógica inductiva y deductiva, citando a *Tashakkori y Teddlie (2003)*, siendo aplicado el método en las distintas fases del estudio, como en el planteamiento del problema, la recolección y análisis de los datos y el informe, así las cosas las fases desarrolladas se describen a continuación:

Obtención de permisos para inspecciones y estudios:

Para iniciar cualquier estudio, es necesario contar con los debidos permisos o autorizaciones por parte de las autoridades pertinentes, en nuestro caso la administración municipal a través de la secretaria General y de Despacho, que otorgaron el permiso para iniciar el estudio y para el ingreso a las instalaciones.

Una vez obtenida la autorización para realizar el proyecto, se inicia el proceso solicitando a la Secretaría General la autorización correspondiente para las diferentes actividades que complementarían el estudio.

Inspección visual a elementos escogidos:

Se procede a realizar la inspección visual de los elementos de estudio, con el fin de identificar las lesiones que los afectan y su estado actual, de igual manera se identifica las fisuras en las columnas externas del edificio.

Elaboración de formatos para levantamiento y recopilación de la información:

Se elaboran los formatos de: fichas de lesiones y clasificación de estas, al igual que un formato básico para consignar los datos del seguimiento a las grietas que presentan las columnas externas de la edificación.

Recolección de información (planos, testimonial, documental, etc.):

La información recolectada para este estudio fue poca, el archivo municipal además de la inadecuada gestión documental no cuenta con memoria histórica suficiente que describa en detalle el proceso constructivo de la estructura.

Durante la etapa de recolección de la información se logra encontrar algunos planos originales estructurales del diseño de la edificación, no se encontraban debidamente organizados por lo que ni los planos eléctricos ni los de la planta se ubicaron.

Adicionalmente se acude a información testimonial, obtenida de algunos funcionarios que manifestaron trabajar durante el tiempo de la construcción del edificio; con estos testimonios se pudo complementar y confirmar que el ladrillo es revestimiento de las columnas, así como el método constructivo y forma inicial de la cubierta.

Ensayos y pruebas.

No se realizaron ensayos en los ladrillos debido a que la causa que se encontró es lo suficientemente sólida para argumentar el diagnóstico identificado; si bien los ensayos ayudarán a mostrar que tipo de sales se encuentran en el ladrillo y el cemento de pega, esto no altera el diagnóstico de la patología determinada; por otra parte se realizó un estudio de suelos en el 2014, para la construcción de un área nueva, dichos documentos los facilitó la administración municipal a través de la secretaria de obras públicas.

Las pruebas que se llevaron a cabo en las grietas identificadas en las columnas fue el seguimiento mediante un testigo que se colocó en estas para determinar si continúan activas. Este seguimiento se realizó durante un período de siete meses.

Análisis de información obtenida.

- Planos estructurales

Analizando los planos estructurales encontramos lo siguiente:

- Las columnas dobles que se encuentran a la entrada del edificio donde se presentan las grietas, deben estar separadas cinco centímetros una de otra; la posición, ancho hacia el frente y largo hacia el interior de la edificación; de igual forma observando el plano estructural, todas las columnas están alineadas (incluyendo las columnas circulares).

En la inspección se observa que las columnas que presentan grietas sobresalen del alineamiento de estos elementos, alineamiento que muestra los planos, es decir, a la vista se ven de mayor dimensión que las otras. Según lo que se infiere de acuerdo con lo que se observa, es que esta parte que sobresale de las columnas no son propias del elemento estructural sino que es una hilera de ladrillos que tienen la altura del edificio; debido a que en la parte superior presenta desprendimiento y en la parte inferior grietas se considerar que la falta de juntas de construcción entre las columnas mencionadas y el revestimiento que sobresale (figura 17) es lo que hace que el movimiento de dilatación y contracción de los materiales y el conjunto constructivo sea restringido y por lo tanto, se presenten estas lesiones.



Figura 17. Fuente: autores, (julio 13 de 2018). Las flechas indican la parte que sobresale del alineamiento de las columnas y que en sitio se evidencia que es en ladrillo, esta parte es la que presenta agrietamiento en los dos elementos, Alcaldía municipal de Yopal.



Figura 18. Lugar que presenta desprendimiento de la columna.

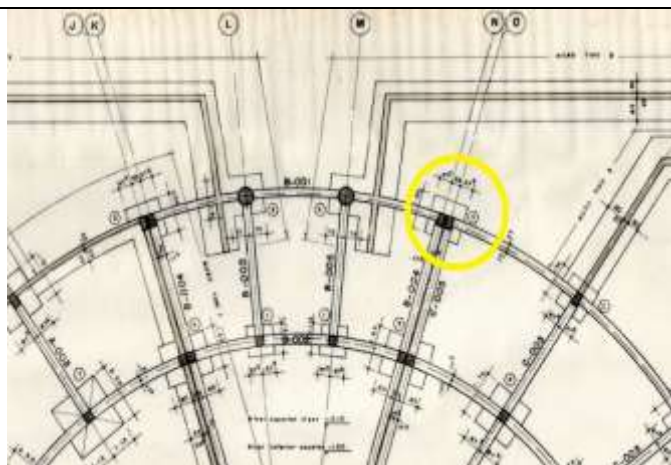


Figura 19. Posición en el plano de la columna de la figura 18.

Figuras 18 y 19. Fuente: autores, (2018). Columna externa (derecha) donde se presenta agrietamiento y plano de cimentación donde se ubica el elemento, Alcaldía de Yopal.

Para el momento de la construcción del paciente la normatividad vigente carecía de requerimientos para los elementos usados como recubrimientos o elementos no estructurales.

Teniendo en cuenta la fecha de los diseños vemos que la primera norma que habla sobre este aspecto es la ley 400 y 388 de 1997, por lo tanto, para nuestro paciente este requerimiento no aplicaba.

Aunque los planos de la edificación datan del año 1992, estos cumplen con algunos requisitos mínimos como es: la especificación de la resistencia del concreto, del acero,

anchos de escalera, accesos externos para personas con movilidad reducida en la primera planta.

Posibles alternativas de intervención y presupuesto de estas.

Una vez recopilada la información, se clasifica y se analiza, estableciendo las patologías que afectan las estructuras y se procede a determinar cuáles son las posibles intervenciones que se recomienda realizar por parte de la administración municipal, junto con un posible presupuesto de dichas intervenciones.

Historia Clínica

- Fecha de realización del estudio:

Las gestiones para lograr la autorización de realizar el estudio se inician al finalizar el año 2017, una vez obtenido los permisos correspondientes, se inicia con la inspección visual que se llevó a cabo el cinco de enero de 2018, a partir de esta fecha se inician las labores de recolección de información y seguimiento.

- Autorización del estudio:

La autorización para realizar el estudio, el ingreso a las instalaciones y la inspección visual se obtuvo con la Alcaldía Municipal directamente con la Secretaria General, luego del percance del cambio de gabinete municipal.

Una vez el nuevo gabinete de la administración municipal, se entera de los alcances del estudio se solicita la autorización escrita para iniciar con el levantamiento topográfico y demás estudios que se requieran de acuerdo con las lesiones observadas y la dinámica del estudio.

- Datos generales del paciente:

- Nombre: Recubrimiento en ladrillo a columnas internas (doce) y externas (dos) de la Alcaldía Municipal de Yopal.
- Localización: Departamento de Casanare, ciudad Yopal.
- Uso: Institucional.
- Fecha de Construcción: Entre los años 1991 y 1993.
- Sistema Constructivo: Columnas y vigas.
- Técnica Constructiva: Vaciado en sitio.

- Uso actual y previsto del sector: Zona administrativa, comercial y residencial.
- Importancia del paciente: Edificio administrativo donde funciona la Alcaldía Municipal de Yopal.
- Sistema estructural y Constructivo: Viga continúa con zapata.

Teniendo en cuenta la poca información que se tiene del proceso constructivo y planos de la edificación, se acude al testimonio de personas que recuerdan el proceso de construcción del edificio y se establece que el sistema estructural y constructivo usado es aporticado conformado por vigas y columnas conectadas por nudos, con cimentación tipo zapata aislada interconectada en ambos sentidos por una viga, se utilizaron materiales como concreto de 210 Kg/cm², acero de fy: 4200 kg/cm² y fy: 2600 kg/cm² y ladrillo hueco para muros y fachada.

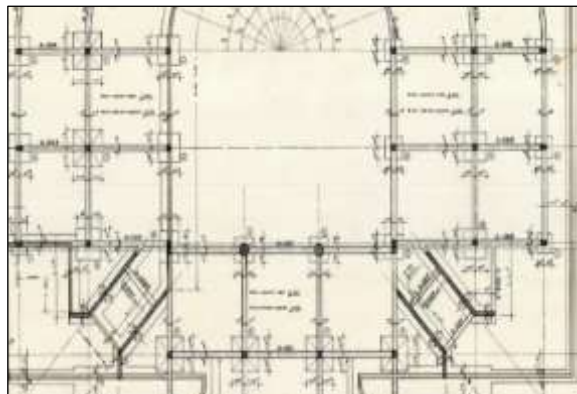


Figura 20. Fuente: autores, (2018). Cimentación del edificio según plano estructural, planos originales alcaldía por Ing. Carlos Navas Camargo.

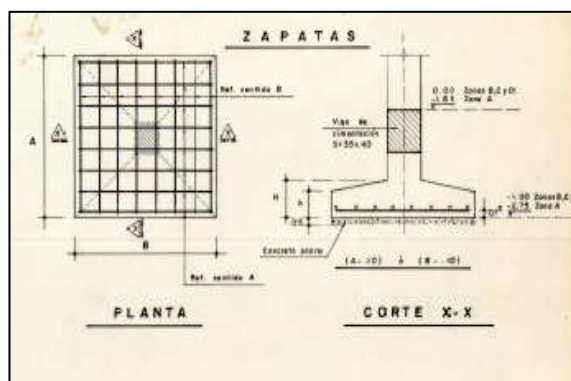


Figura 21. Fuente: autores, (2018). Cimentación del edificio según plano estructural, planos originales alcaldía por Ing. Carlos Navas Camargo.

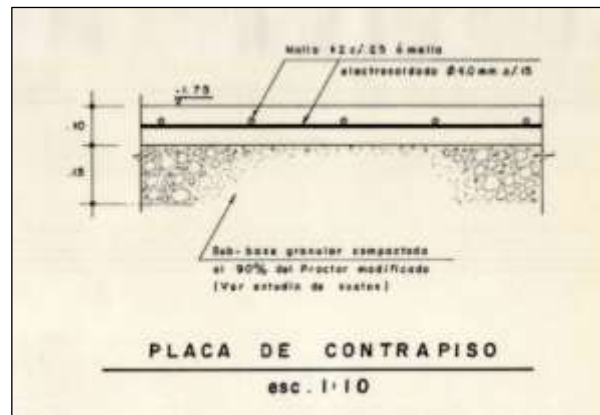


Figura 22. Fuente: autores, (2018). Detalle de placa de contra piso cimentación primer nivel, planos originales alcaldía por Ing. Carlos Navas Camargo.

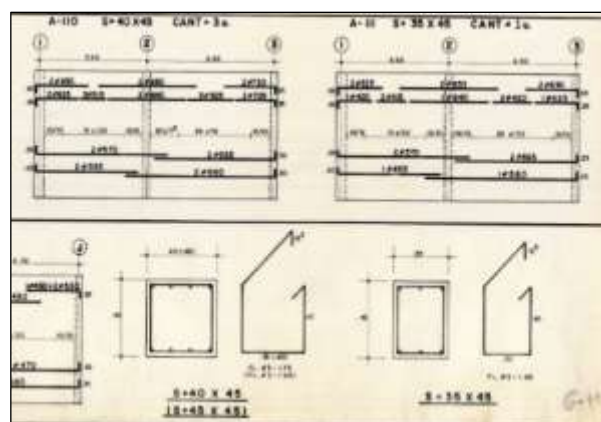


Figura 23. Fuente: autores, Despiece de vigas alcaldía Yopal, planos originales alcaldía por Ing. Carlos Navas Camargo.

El primer piso presenta placa aligerada en la mitad del área de la planta, como se observa en la fotografía 24.

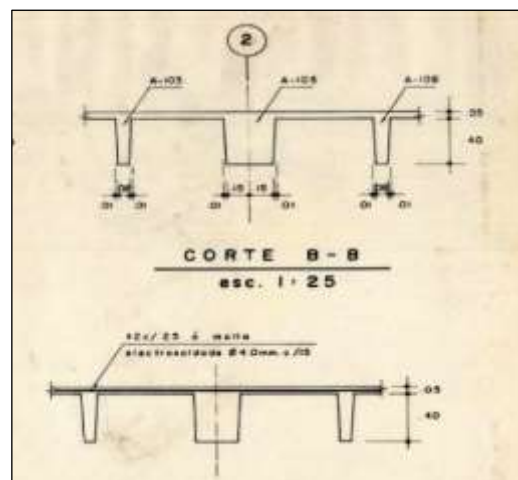


Figura 24. Fuente: autores,, (2018). Detalle de plano de placa aligerada, planos originales alcaldía por Ing. Carlos Navas Camargo.



Figura 25. Fuente: autores, (mayo de 2018). Placa entrepiso primer nivel sótano, edificio Alcaldía de Yopal.

El tipo de placa que muestra la fotografía 25, es la misma que se observa en la placa del segundo nivel de la edificación.

- Normativa actual que lo rige: Normativa actual NSR- 10 pero fue construido bajo la norma de 1984.
- Aplicación patológica:
 - Geriátrica: Tiene aproximadamente 25 años de construido.
- Descripción de patologías encontradas:
 - Lesiones biológicas: Musgos, plantas, comején y hongos.



Figura 26. Musgo y plantas.



Figura 28. Comején en columna.



Figura 27. Hongos.

Figuras 26, 27 y 28. Fuente: autores, (enero de 2018). Lesiones biológicas encontradas en columnas, ladrillo de revestimiento Alcaldía Yopal.

- Lesiones antropogénicas: Redes parásitas, modificaciones.



Figura 29. Escalera empotrada.



Figura 30. Tubería instalada.



Figura 31. Cables eléctricos y de datos.

Figuras 29, 30, 31. Fuente: autores, (enero 2018). Lesiones antropogénicas encontradas en columnas, ladrillo de revestimiento Alcaldía Yopal.

- Lesiones Físicas: Humedad, erosiones.



Figura 32. Humedad en columna.



Figura 33. Pérdida capa protectora.



Figura 34. Desintegración del elemento.

Figuras 32, 33 y 34. Fuente: autores, (enero y agosto 2018). Lesiones físicas encontradas en columnas, ladrillo de revestimiento Alcaldía Yopal.

- Lesiones Químicas: eflorescencias y criptoflorescencias.



Figura 35. Criptoflorescencias.



Figura 36. Criptoflorescencias.



Figura 37. Criptoflorescencias.

Figuras 35, 36 y 37. Fuente: autores, (enero y agosto 2018). Lesiones químicas encontradas en columnas, ladrillo de revestimiento Alcaldía Yopal.



Figura 38. Eflorescencias.



Figura 39. Criptoflorescencias.



Figura 40. Eflorescencias.

Figuras 38, 39 y 40. Fuente: autores, (enero y Julio de 2018). Lesiones químicas de gran impacto encontradas en el ladrillo de revestimiento de las columnas, internas y expuestas, Alcaldía municipal Yopal.

Clasificamos estas lesiones con base en el análisis visual y de acuerdo con el concepto de criptoflorescencias “son sales que se cristalizan al interior del elemento ocasionando la rotura del material cuando la humedad no se elimina por acción del viento” (Broto, C, 2012); esto nos permite inferir que seguramente es la patología que presenta los elementos.

○ Lesiones Mecánicas: Grietas.



Figura 41. Grieta columna 2.



Figura 42. Grieta columna 2.



Figura 43. Grieta que rompe ladrillo.

Figuras 41, 42 y 43. Fuente: autores, (enero de 2018). Lesiones mecánicas encontradas en columnas, ladrillo de revestimiento Alcaldía Yopal.

- Cumplimiento Título K NSR10

De acuerdo con el *título K de la NSR-10* la clasificación obtenida para nuestra edificación es tipo I- Institucional subgrupo *Servicio Público – I5* (tabla K.2.1-1 y tabla K.2.6-5).

Tabla 1. Subgrupo Institucional de Acuerdo con NSR-10

Tabla K.2.6-5	
Subgrupo de ocupación institucional de servicio público (I-5)	
Centros de comunicación	
Centros administrativos municipales, distritales y gubernamentales	
Centros administrativos de servicios públicos	
Juzgados	
Otros similares	

Fuente NSR 10

La NSR-10 establece la clasificación de las edificaciones teniendo presente el uso y ocupación, para que estas estructuras ofrezcan los requisitos mínimos de comodidad y seguridad no sólo en la movilización dentro de la misma sino también a nivel de sismo resistencia. Por lo tanto, clasifica de acuerdo con algunos criterios en subgrupos a las

edificaciones y para esto la tabla 1 en la cual se clasifica la edificación del presente estudio como “centro administrativos municipales, distritales y gubernamentales” clasificándola en el subgrupo I-5.

“En cuanto a localización y mantenimiento de las salidas de evacuación deben localizarse y mantenerse en forma tal que provean fácil y rápidamente la evacuación desde cualquier sitio y en cualquier momento” (*NSR, 2010, título K.3.2.3.1*).

El paciente analizado cumple con lo estipulado en el párrafo anterior en la parte interna y la salida principal, pero está incumpliendo el ítem *K.3.2.3.3* el cual indica que no se debe obstruir o reducir en cualquier forma la capacidad de un medio de evacuación, al observar la salida principal vemos que la puerta de acceso es un portón metálico del cual solo abre una puerta pequeña, por tanto, ante una emergencia que requiera rápida evacuación sería insuficiente para la salida de las personas.

K.3.2.7 Sistemas de evacuación para discapacitados: “Toda obra se deberá proyectar y construir de tal forma que facilite el ingreso, egreso y la evacuación de emergencia de las personas con movilidad reducida sea esta temporal o permanente.” (*NSR, 2010, pág. 23*).

En cuanto a este parámetro la edificación cumple en la parte externa más no en el interior, toda vez que en el exterior cuenta con rampas de ingreso amplias y con pendiente leve para el tránsito de personas con movilidad reducida, pero al interior de esta no se cuenta con accesos para personas discapacitadas.



Figura 44. Fuente: autores, (Julio de 2018). Vista aérea frente de Alcaldía municipal de Yopal, rampas de acceso - Alcaldía Yopal.

En la parte interior hay cuatro escaleras de acceso al segundo piso, una en cada extremo (cuatro esquinas) pero no existe una rampa de acceso al segundo piso; se observa un ascensor que no está en funcionamiento, por lo tanto, para personas con discapacidad (movilidad reducida) no es posible el acceso a la planta del segundo piso, la edificación no cuenta con un mecanismo actualmente en funcionamiento, por lo tanto, no cumple con este parámetro.

K.3.2.7.3. “Las edificaciones clasificadas en grupo II que impliquen el servicio al público, que tengan varios niveles y no cuenten con ascensor deberán estar provistas de rampas de acceso a todos los espacios a los que el público deba ingresar...” (NSR, 2010, pág. 23).

Nuestro paciente no cumple con lo exigido en el párrafo anterior del título K de la NSR10.

- Acero

Según los planos estructurales el acero usado es de dos tipos:

- I. f_y : 4200 Kg/cm²
- II. f_y : 2600 Kg/ cm².

De acuerdo con la norma vigente el acero corrugado es fabricado bajo la norma NTC2289 es el único aceptado para el territorio nacional, esta norma fue emitida en 2007 lo que nos hace inferir que el acero usado si bien cumple con la resistencia a la fluencia

no podemos conocer (salvo ensayos destructivos) si cumple con los demás parámetros como el proceso de elaboración y contenido de carbono.

Varillas n° 6 y 4 son las más usadas en las columnas.

- Cubierta:

En los planos de diseño se observa que para los canales de drenaje de agua lluvia se maneja un área libre entre 20 y 25 centímetros, actualmente este espacio no se observa en estos canales debido a que la cubierta se superpone.



Figura 45. Estado actual de la cubierta.

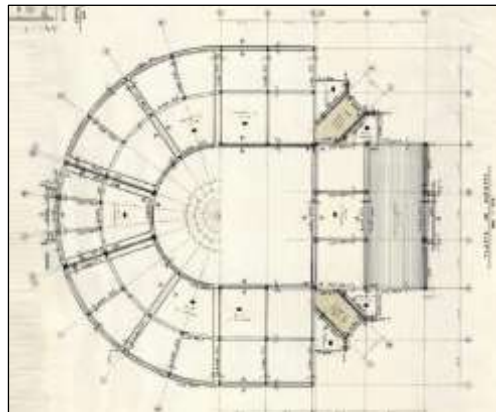


Figura 46. Diseño de cubierta según planos originales

Figuras 45 y 46. Fuente: autores, (julio y mayo 2018), alcaldía municipal de Yopal.

En las figuras 45 y 46 se observa que existen canaletas de drenaje de agua e indican la dirección en la cual se encauzan. Actualmente como la cubierta fue tapada por otra teja, no se observa el estado de los drenajes originales.

Es necesaria una longitud de teja mayor a la actual con el fin de retirar la caída de agua directa a los ladrillos o despejar los canales y habilitar el área de estos.

Esquemas de la posición de las columnas en plano y en fotografía aérea.

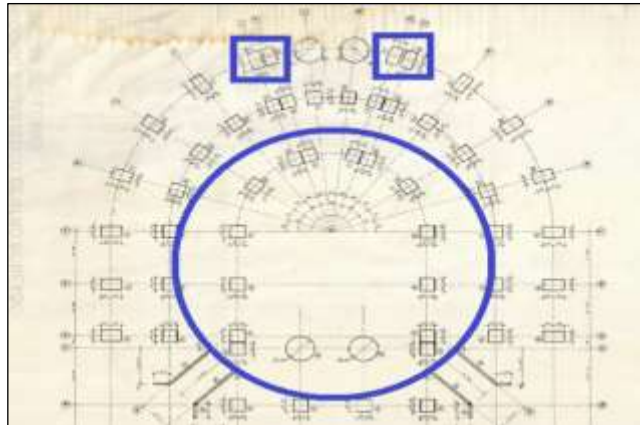


Figura 47. Fuente: autores, (mayo de 2018). Plano de cimentación de primer piso, plano original elaborado por Ing. Carlos Navas Camargo, alcaldía municipal Yopal.



Figura 48. Fuente: autores, (julio de 2018). Ubicación de las columnas a las cuales se les analizó el ladrillo de revestimiento- vista aérea, alcaldía municipal Yopal.

Las figuras 46 y 47 permiten ver la posición de las columnas tanto en plano (fotografía 47) con el cual se confirmó la geometría de estas y la forma y disposición de las columnas “dobles” y como en la vista en planta del edificio actual con la posición de las columnas (fotografía 48).

- Datos Generales del entorno:

- Edificaciones u obras vecinas: el edificio de la administración municipal del cual vamos a realizar el estudio al revestimiento de las columnas es una estructura que no tiene edificaciones vecinas cercanas, a su alrededor cuenta con un espacio de zona verde amplia y está circundada por vías que tienen flujos vehiculares elevados.
- Medio ambiente: Las columnas de la parte externa (dos) están expuestas al ambiente natural y a las variaciones de este; en el caso de las columnas internas están expuestas a mayor humedad durante gran parte del año.
- Temperatura:

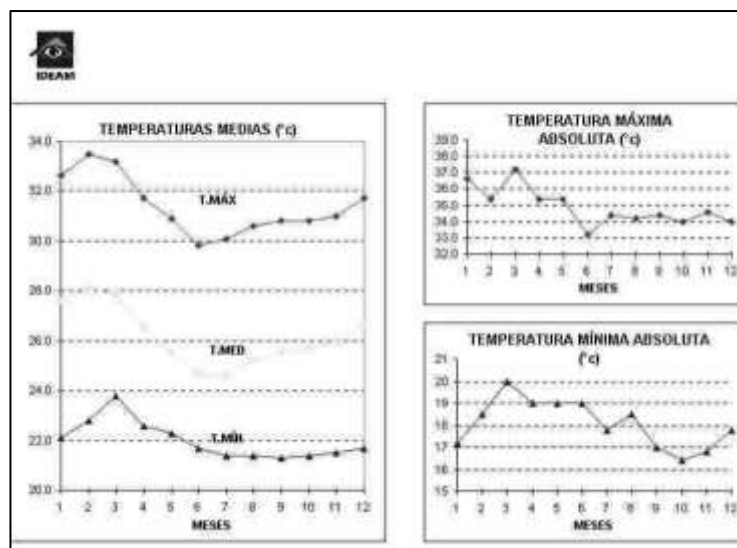


Figura 49. Ideam, (6 de octubre de 1999), Temperatura de Yopal Casanare, Cartas climatológicas- medias mensuales, recuperado 8 de septiembre de 2018 de <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/yopal/temperatura.htm>

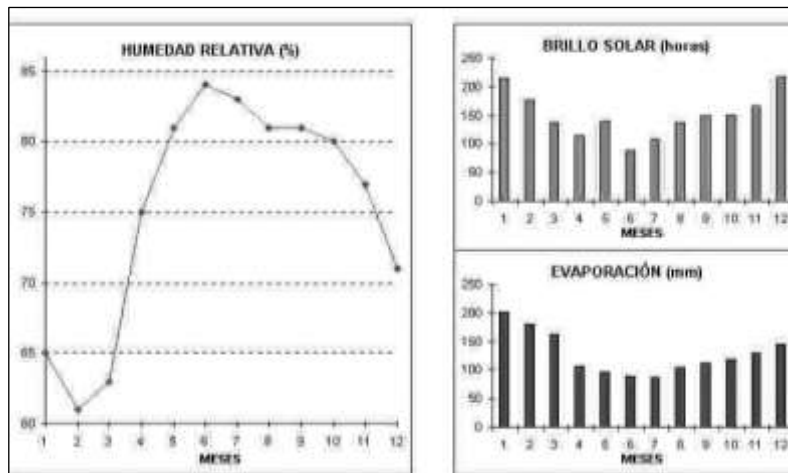


Figura 50. Ideam, (6 de octubre de 1999), Humedad en Yopal Casanare, , Cartas climatológicas- medias mensuales, recuperado 20 de mayo de 2019 de <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/yopal/temperatura.htm>

En las figuras 49 y 50 se observa la temperatura y la humedad presente en el área donde está ubicado el paciente, hay picos de temperatura altos que coinciden con los valores más altos de humedad; al igual que la evaporación es muy baja durante la mayor parte del año, factores que inciden directamente con la preservación de algunos materiales de construcción.

✓ Precipitaciones:

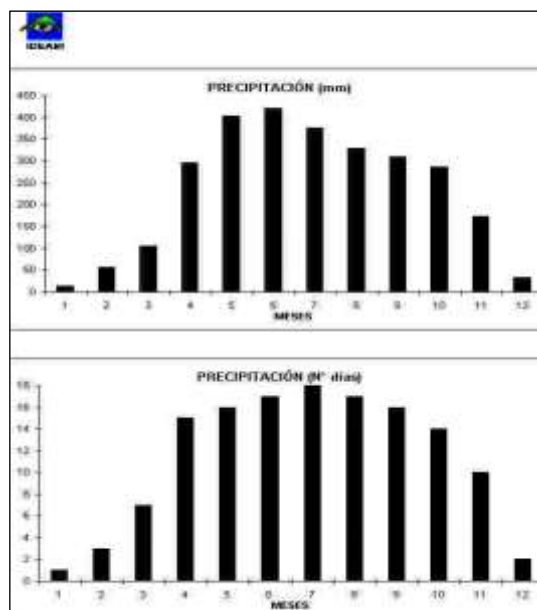


Figura 51. Ideam, (6 de octubre de 1999), Precipitaciones Yopal Casanare, Cartas climatológicas- medias mensuales, recuperado 20 de mayo de 2019, recuperado de <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/yopal/precipitacion.htm>.

La figura 51 muestra la precipitación en milímetros que presenta la región durante el año. Los extremos que describen las más bajas precipitaciones corresponden a los meses de verano. Durante el invierno la humedad aumenta, prevaleciendo la mayor parte del año.

- Fichas de lesiones:

De acuerdo con las características de nuestro paciente, un recurso importante en la realización de un estudio patológico es la elaboración de las fichas de lesiones que consolidan la información de los daños y patologías encontradas en un documento el cual permite clasificar el tipo de lesión, el grado de afectación de los materiales y la ubicación dentro de la estructura de estas; teniendo en cuenta que cada paciente es único las fichas también lo son, es por esto, que las fichas que presentamos como anexos de este trabajo fueron elaborados de acuerdo al paciente objeto de estudio y a lo que se desea presentar.

En la figura 52, se presenta el modelo de ficha elaborado por los autores del presente estudio:

CLASIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LAS LESIONES			
1 INFORMACIÓN DEL PACIENTE		ELEMENTO EVALUADO: SY 6 2	
NOMBRE	LADRILLOS DE REVESTIMIENTO EN COLUMNAS	INFORMACIÓN DE LA LESIÓN: 3	
LOCALIZACIÓN	ALCALDIA DE YOPAL	CLASIFICACIÓN LESIÓN:	
USO:	INSTITUCIONAL	MECANICA	BIOLOGICA
EDAD RELATIVA:	25 AÑOS	FISICA	ANTROPOGENICA
FECHA CONSTRUCCIÓN	AÑO 1994	QUIMICA	☒ INDIRECTAS
INTERVENCIONES PREVIAS:	NINGUNA	TIPO DE LESIÓN:	
		FECHA: 4	
REGISTRO FOTOGRÁFICO 5			
			
NIVEL DE LA LESIÓN 6		DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN 7	
SIN LESIÓN		EN ESTE NIVEL LA LESIÓN PRESENTA DESINTEGRACIÓN DE LA MASA DE LADRILLO AL CONTACTO. SE OBSERVA UNA DISMINUCIÓN ENTRE 1 CM Y 1,5 CMS. ESTE NIVEL COMPROMETE SERIAMENTE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL LADRILLO ASÍ COMO DEL MORTERO DE PEGA.	
LEVE			
MODERADA			
ALTA	☒		
SEVERA			
OBSERVACIONES 8			
EL AVANCE DE ESTA LESIÓN PROVOCA QUE EL LADRILLO DE LA FILA SUPERIOR QUEDE SIN SOPORTE Y PUEDA GENERAR DESPRENDIMIENTOS DEL MISMO.			

Figura 52. Fuente: autores, Modelo de Fichas de Lesiones

El diligenciamiento de la ficha consiste en relacionar la información en los siguientes campos:

1. Solicita información del paciente (nombre, edad, uso, localización y fecha de construcción), indispensable para la identificación del paciente.
2. Número del elemento o elementos en el que se ha manifestado la lesión.
3. Información de la lesión, en esta parte se clasifica el tipo de lesión que se encuentra en el elemento en estudio.
4. Fecha, este dato es relevante como punto de referencia para el seguimiento de las lesiones durante el estudio.
5. Registro fotográfico, las imágenes permiten mostrar la afectación de la lesión identificada en los elementos en estudio.
6. Nivel de la lesión, teniendo en cuenta que las lesiones que padece nuestro paciente presentan diferentes grados de avance, consideramos colocar en la ficha una forma de clasificar en cuanto afectación dichas lesiones con el fin de conocer la severidad de estas.
7. Descripción de la lesión, mediante una breve descripción se da a conocer los síntomas de la lesión, las características físicas, localización, aquello que se perciba visualmente durante la inspección.
8. Observaciones, comentarios adicionales y para tener en cuenta durante el proceso.

Estas fichas (ver anexos) permiten desarrollar una metodología y deben elaborarse de tal manera que reflejen la realidad del paciente, debido a que puede ser una herramienta de consulta, un registro para el seguimiento al estado de las lesiones incluso mostrará al cliente de forma sencilla las lesiones que muestra la edificación.

Diagnóstico de la Patología

Realizadas las inspecciones, las consultas, analizadas las lesiones encontradas se concluye que la patología que afecta a los ladrillos es una lesión de tipo química (producidas a partir de un proceso de cristalización de sales), identificándose como **eflorescencia y criptoeflorescencias** en estado severo. Esta patología es producida generalmente por la humedad aportada por el entorno, elementos constructivos de la misma estructura generados por defectos de ejecución o diseño y los componentes de la materia prima de los ladrillos y el mortero de pega (alto contenido de sales).

En la edificación dicha condición (humedad) ha permanecido durante años por la constante filtración de agua desde la cubierta, sumado a lo anterior un ambiente húmedo, daños en tuberías de agua empotradas en el recubrimiento e inadecuada ubicación de desagües, hacen que esta patología presente en algunos sitios de los elementos estudiados daños severos a tal punto que es necesario y urgente la realización de regatas en las columnas para revisar el estado del concreto y del acero de cada uno de los elementos estudiados.

De acuerdo con lo anterior, la humedad es el principal detonante de la patología identificada, en el sitio se pueden identificar diferentes clases de esta condición.

Se identifican dos tipos de humedad: humedad por filtración y por capilaridad.

- Humedad por filtración: se presenta cuando el agua procede del exterior de un elemento constructivo y penetra dentro del edificio o cae sobre muros, columnas, fachadas ya sea por entre grietas, fisuras, errores constructivos o la cubierta, generando desgaste lento de los materiales de construcción incluso comprometiendo la armadura de vigas y columnas provocando la oxidación en los mismos.

Las principales causas de la aparición de esta humedad son: falta de acabado de las esquinas y rincones, fisuración debida a dilatación térmica y la falta de sellado de los encuentros de materiales por medio de masillas elastoméricas impermeables.

- Humedad por capilaridad: se presenta en las plantas bajas, sótanos de viviendas y elementos constructivos, esto ocurre debido a que los materiales de construcción absorben agua del suelo a través de la cimentación cuando no se ha tenido el cuidado durante el proceso constructivo en colocar barreras antihumedad o no se ha hecho un adecuado drenaje o impermeabilización de la cimentación y muros.

Eflorescencia

Es un depósito cristalino de sales que se forman cuando el agua está presente, de hecho, es la causa directa luego de la aparición de la humedad, presenta tinte blanco o blanco brillante, estos depósitos quedan cuando se evapora el agua. Presenta dos variaciones:

- Sales cristalizadas que no proceden del material, sobre el que se encuentra la eflorescencia sino de otros materiales situados detrás o adyacentes a él; este tipo de eflorescencia es común encontrarla sobre morteros protegidos o unidos por ladrillos de los que proceden las sales.



Figura 53. Eflorescencias en ladrillo.



Figura 54. Eflorescencias y humedades.

Fotografías 53 y 54. Fuente: autores, (mayo de 2018). Elementos con eflorescencias en ladrillo de revestimiento Alcaldía Yopal.

- Sales cristalizadas bajo la superficie del material, que a la larga acaban desprendiéndose (criptoeflorescencias).

Para que aparezca en una construcción las eflorescencias deben existir tres condiciones:

- Presencia de sales solubles en agua.
- Humedad disponible para transformar sales en solución soluble y llevarlos a la superficie.
- Evaporación o presión hidrostática que provoca que la solución se mueva.

La eflorescencia es generada por: la temperatura, la humedad y el viento. En el verano, después de largos períodos lluviosos, la humedad se evapora tan rápidamente que cantidades comparativamente pequeñas de sal se llevan a la superficie.

Cripto eflorescencia

Cuando la capilaridad es lenta y la evaporación es rápida los depósitos de sal quedan al interior de los poros del material, los cuales al cristalizarse luego que el agua se evapora someten al material a una presión interna que causa expansión y comprometen la superficie del material, generando la ruptura de este desde el interior.



Figura 55. Ladrillo afectado por criptoeflorescencias. Figura 56. Ladrillo afectado por criptoeflorescencias.
Figuras 55, 56. Fuente: autores, (enero 2018). Ladrillo de revestimiento afectado por cripto eflorescencias, columnas internas Alcaldía Yopal.

La humedad recurrente aumenta la severidad de la cripto eflorescencia y esto es justamente la causa principal de las patologías que presenta el ladrillo. Las figuras 55 y 56 muestran la afectación en un nivel grave encontrada en el ladrillo de revestimiento analizado.

Las sales pueden provenir de diferentes fuentes como:

- Concreto: áridos, morteros o aditivos.
- Ladrillo: cuando la materia prima presenta alto contenido de sales solubles, las cuales durante el secado y la cocción (anhídrido sulfuroso - sulfatos alcalinos - eflorescencias), suelen manifestarse y mantenerse en el elemento.
- El suelo: cuando los elementos se encuentran en contacto con el sótano o las paredes de contención, para estos casos si no hay barreras de protección contra humedad las sales migran hacia el material.

La principal causa es la humedad permanente en ladrillos, juntas, el suelo y el concreto de pega, debido también a las filtraciones internas de fachadas, el agua lluvia, la sombra permanente que junto a la humedad genera las condiciones para acelerar las criptoeflorescencias.

Además de las lesiones químicas encontradas derivadas de la humedad también se observa: micro vegetación, manchas negras, hongos, lesiones físicas que agravan la patología y con el tiempo ayudan a la destrucción del material.

Tratamiento para la Patología de las Eflorescencias

Es importante antes de aplicar un tratamiento conocer cuál es el tipo de eflorescencia que presenta la mampostería o cuáles son las sales contenidas en los elementos; esto se puede hacer mediante un análisis de laboratorio que se realiza con una muestra de ladrillo afectado.

Por medio de la inspección visual podemos identificar si la mampostería presenta eflorescencias o criptoeflorescencias y a cuál tipo pertenece, a continuación, la clasificación, las características que definen esta patología y sus causas, según la investigación de *Masonry Institute of America, (2011)*:

***Tipo I:** Son depósitos superficiales de sales blanquecinas muy solubles en agua, que aparecen en forma de velo y situadas en el centro o los bordes del ladrillo, aunque también cubre la junta de mortero. Suelen aparecer en la cuarta parte superior de los edificios, en la base del muro y en los antepechos de las ventanas. Son muy abundantes. Se manifiestan en verano cuando el viento y el sol secan la fábrica tras el período húmedo del invierno.

Origen:

Se dan por la reacción química producida entre el ladrillo y el mortero.

*** Tipo II** (criptoeflorescencias o subflorescencias): Las piezas presentan desconchados importantes o se desprenden con facilidad capas del ladrillo de unos milímetros. Suelen darse en zonas húmedas o marítimas. Son poco frecuentes.

Origen:

Se dan por que el agua circula muy lentamente por la red capilar mientras que la evaporación es muy brusca, las sales cristalizan en el interior del ladrillo y debido al

aumento de volumen al pasar de estado anhidro (sin agua) a hidratado se desconcha la parte exterior.

***Tipo III** (exudaciones): Son depósitos blancos en superficie en forma de regueros, son poco solubles en agua y en presencia de ácido clorhídrico son efervescentes. Son difíciles de eliminar.

Origen:

Cuando el cemento sufre el proceso de hidratación libera cal que es arrastrada por el agua de lluvia, discurriendo por la fachada cuando se evapora ésta; la cal posteriormente se transforma en carbonato cálcico, en presencia del anhídrido carbónico del aire.

***Tipo IV:** Son regueros de color pardo sobre los ladrillos y las juntas de mortero. Son poco frecuentes y suelen aparecer en ladrillos fuertemente cocidos.

Origen:

Aparecen cuando ciertos tipos de ladrillos de fabricación reciente se exponen a la lluvia, exudan sulfatos de hierro que reaccionan a hidróxidos férricos en contacto con el aire y a óxidos de un color pardo rojizo, no solubles en el agua.

***Tipo V:** Las manchas son de color amarillo verdoso. Son muy raras.

Origen:

Se forman por las sales de vanadio que proceden de ciertas arcillas.

***Tipo VI:** En este caso las manchas, marrones oscuras o negras, aparecen sobre los ladrillos (normalmente los marrones pigmentados) y las juntas. Se distinguen de las del tipo IV por el color del ladrillo, al estar pigmentados con bióxido de manganeso.

Origen:

Se dan cuando el bióxido de manganeso que da el color a los ladrillos pardos reacciona con los sulfatos presentes en el mismo y forma sulfato de manganeso soluble que tras diversas reacciones forma óxido de manganeso.

Colombia no cuenta con una norma específica para identificar eflorescencias en ladrillos, pero en Europa cuyo avance en investigación de este tipo de patología es mayor, tienen la norma UNE 67029:1995 EX, la cual expone un método para conocer la eflorescencia antes del uso en las unidades de ladrillo de arcilla considerando dos parámetros para clasificar las eflorescencias:

- Intensidad de la eflorescencia: que puede ser velo fino, velo grueso o mancha.
- Superficie afectada: de acuerdo con el área afectada define el nivel de eflorescencia.

”

El método que describe la norma europea es el siguiente:

El ensayo consiste en provocar un arrastre de las sales solubles contenidas en el ladrillo hacia su cara vista mediante la evaporación de agua destilada contenida en una bandeja en la que se sitúa la pieza apoyada por el canto y en la que se ajusta el cierre de tal forma que solo la cara vista queda al descubierto con objeto de forzar la evaporación a través de dicha superficie; transcurridos 7 días en estas condiciones, se secan los ladrillos en una estufa y se comparan con el patrón (no ensayado). (*Fombella Guillém, Ricardo, s. f.*)

La calificación de cada ladrillo de la muestra la obtienen en función de la intensidad y superficie afectada por la eflorescencia de acuerdo con la tabla 2. *Fombella Guillém, Ricardo, Hispalyt, (Madrid), Eflorescencias en las fachadas de ladrillo cara vista.*

Tabla 2 Clasificación Eflorescencias Según Intensidad

Intensidad	Superficie afectada		
	> 25 %	> 5% hasta 25%	< 5%
Velo fino	Ligeramente eflorescido	No eflorescido	No eflorescido
Velo grueso	Eflorescido	Ligeramente eflorescido	Ligeramente eflorescido
Mancha	Muy eflorescido	Eflorescido*	Ligeramente eflorescido

*Cuando la mancha afecte sólo a vértices y aristas se calificará como ligeramente eflorescido. UNE 67029:1995 EX

Fuente: Documento Toxement "Tecnología de aditivos para prefabricados de concreto."

Algunos miran esta evaluación muy subjetiva en cuanto a la apreciación de las intensidades de las eflorescencias y entonces proponen para solucionar el problema un sistema de visión artificial que permite evaluar de una forma objetiva todas las muestras y el proceso es el siguiente:

"El sistema capta la imagen de la superficie del ladrillo a través de una cámara de video, transmitiendo la información a un procesador que analiza la intensidad de las manchas por comparación con el ladrillo patrón mediante un programa específicamente desarrollado "

(*Fombella Guillém, Ricardo, Hispalyt, s. f.*).

Según el documento *Fombella Guillém, Ricardo, (s. f., p57)*, dicho procedimiento será incorporado a la norma europea de ensayo como método de evaluación alternativo para los casos dudosos en los que la calificación visual sea difícil.

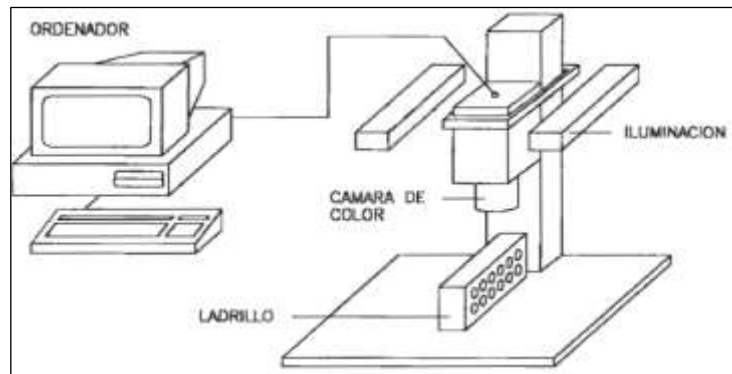


Figura 57. Fombella Guillém, Ricardo, (Hispalyt, Madrid), Modelo de Hardware para Identificación de Eflorescencias, Eflorescencias en las fachadas de ladrillo cara vista, pág 57.

La figura 57 muestra los componentes que conforman el sistema que será incorporado a la norma europea.



Figura 58. Fombella Guillém, Ricardo, (Hispalyt, Madrid), Muestra de Ladrillo Ensayado y Patrón, Eflorescencias en las fachadas de ladrillo cara vista.

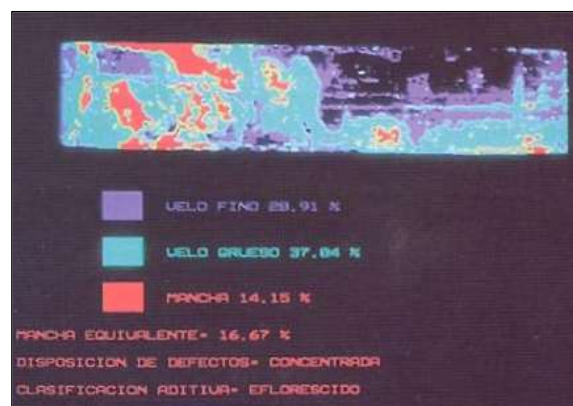


Figura 59. Fombella Guillém, Ricardo, Imagen de Manchas Analizadas por el Ordenador, Eflorescencias en las fachadas de ladrillo cara vista, Hispalyt, Madrid.

La figura 58 muestra el ladrillo sometido al ensayo el cual presenta eflorescencias y uno patrón, que no ha pasado por el ensayo y con el cual se comparan visualmente.

La figura 59 muestra la imagen analizada del ladrillo ensayado, el monitor clasifica el tipo de eflorescencia por colores y se puede observar la afectación del ladrillo.

De igual manera España cuenta con una “Normativa de ladrillos y bloques” en la cual especifican las dimensiones estándar que deben cumplir estos elementos y teniendo en cuenta el tipo de ladrillo recomienda la forma y disposición de estos en las estructuras, relleno adecuado de juntas y almacenamiento.

Falta consciencia a la hora de construir con este tipo de material, erróneamente se piensa que por ser un material “fuerte para exteriores” no necesita mantenimiento periódico, es imprescindible la inspección periódica para identificar el inicio de lesiones, generalmente derivadas a causas externas que se debe combatir una vez se identifican.

Propuesta de procedimiento para Tratamiento de las Eflorescencias

Teniendo en cuenta la clasificación conocida en el documento *Fombella Guillém, Ricardo, (s. f.)*, las eflorescencias que se identifican en el ladrillo de recubrimiento de las columnas analizadas son las siguientes:

- Tipo I (depósitos superficiales de sales blanquecinas): presente en elementos n° 1, 2, 3, 4, 5, 8, 14
- Tipo II (Criptoeflorescencias): presente en columnas n° 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 14.
- Tipo III (exudaciones): presente en columnas n° 4, 5, 8.



Figura 60. Eflorescencia tipo 1.



Figura 61. Eflorescencia tipo 1 y 2.



Figura 62. Cripto y eflorescencias.

Figuras 60, 61, 62. Fuente: autores, (2018), Criptoeflorescencias encontradas en ladrillo de revestimiento y clasificadas de acuerdo con el documento *Fombella Guillém, Ricardo, Hispalyt, Madrid, Eflorescencias en las fachadas de ladrillo cara vista*, Alcaldía Yopal.



Figura 63. Desintegración de material.



Figura 64. Elemento faltante en columna.



Figura 65. Eflorescencias tipo II.

Figuras 63, 64, 65. Fuente: autores, (2018), Lesiones químicas encontradas en el revestimiento del elemento 8 Alcaldía Yopal.

Los elementos afectados por las criptoflorescencias, es porque presentan una capilaridad lenta y alta evaporación, lo que significa que el agua se evapore antes que salga a la superficie y las sales se cristalicen en el interior generando la desintegración del ladrillo por las fuerzas que ejercen desde el interior los cristales debido al aumento del volumen de estos.

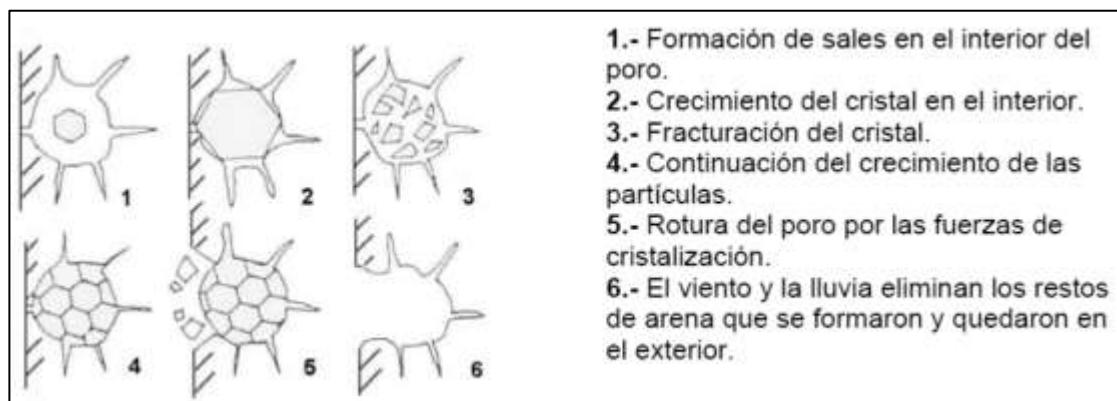


Figura 66. Proceso de Formación de Eflorescencias al Interior de un Material, Asefa, (2011), Madrid, Patología de la edificación 43: eflorescencias en fachadas, recuperado el 05 de Octubre de 2018
<https://www.asefa.es/comunicacion/patologias/43-eflorescencias-en-fachadas>

La figura 66 muestra el proceso de cristalización de las sales en los poros internos del material hasta llegar a la ruptura de este.

Detener completamente las eflorescencias es difícil, pero es posible minimizar su aparición controlando las variables relacionadas en la parte del diagnóstico del presente trabajo; una vez el ladrillo está afectado por esta patología, las sales deben ser identificadas y lo más importante, se haya subsanado las causas principales de dicha patología, se puede iniciar el proceso de limpieza o eliminación de estas.

A continuación, se describe la metodología más usada con algunas observaciones y recomendaciones aplicadas al caso en estudio, es de aclarar que la metodología a usar debe estar aprobada por un profesional competente.

Con el fin de minimizar los efectos de la limpieza en una pared es recomendable iniciar el tratamiento con el método más suave, adicional se debe conocer el tipo de

eflorescencia ya que esto ayuda a seleccionar un agente de limpieza que efectivamente las disuelva.

a. Si las sales son solubles en agua y el mortero de la junta no tiene discontinuidades:

El área afectada puede ser tratada con un cepillo de cerdas duras o metálico y raspar hasta que las eflorescencias hayan desaparecido de la superficie preferiblemente en seco; en caso de continuar la eflorescencia se puede humedecer el cepillo en agua y raspar nuevamente; luego de esto se lava la pared con suficiente agua y presión adecuada para limpiar lo removido, en paralelo debe asegurarse que logre una humedad total en toda el área tratada; luego se aplica un producto para limpieza final, es importante que el área esté completamente húmeda para que el producto químico no penetre demasiado en el material, ya que al estar el poro saturado no permite que penetre más de lo necesario el producto de limpieza y pueda generar daños a futuro en caso que este quede dentro.

Luego se debe retirar (producto de limpieza) con el método de limpieza de chorro de agua a presión adecuada que no genere daños en la mampostería pero que asegure el lavado integral de la estructura. Es importante que la mampostería se seque completamente debido a esto esta actividad debe realizarse en tiempo de verano y luego aplicar el producto impermeabilizante de acuerdo con las instrucciones del fabricante, este producto debe garantizar que el agua no penetre al interior del material, pero debe permitir que el material transpire desde el interior al exterior.

Antes de iniciar el proceso de limpieza y aplicación de impermeabilizante puede realizar pruebas en un área discreta de la mampostería que represente la eflorescencia, lo anterior para definir dosificaciones y metodología para la aplicación de los mismos, ya que una limpieza inadecuada puede cambiar el color del ladrillo, eliminar el material cementoso, dejar agregado expuesto en caso de bloques o causar una eflorescencia adicional.

- b. Si las sales son solubles en agua y el mortero de la junta presenta discontinuidades:

Lo primero que se debe hacer es raspar con cepillo en seco o húmedo según el resultado observado en sitio, una vez retirada la eflorescencia se aplica agua para limpiar la superficie y dejar secar, luego debe repararse el mortero de la junta con un cemento que sea bajo en álcalis para reducir de este modo la transferencia de sales del concreto al ladrillo, la superficie del mortero debe quedar lisa, sin perforaciones y a nivel del ladrillo.

- c. Para el caso de ladrillos con criptoflorescencias:

Estas piezas deben cambiarse por otro de similares características, en este proceso el mortero también debe ser retirado, es importante que antes de colocar el recubrimiento se debe inspeccionar y realizar ensayos al concreto del elemento estructural para verificar la integridad de este.

La superficie debe ser inspeccionada y evaluarse el estado del elemento estructural para conocer el estado del concreto y del acero, en cuanto al desempeño en su función estructural; una vez evaluados los aspectos necesarios (ensayos destructivos) al concreto y acero y dependiendo de los resultados, se procede a evaluar el mejor método para limpieza de la superficie, se puede utilizar las normas UNE sobre métodos de limpieza de superficie o las ASTM que también brindan una guía para realizar una adecuada limpieza.

Una vez la superficie esté limpia y seca del elemento estructural se procede a reemplazar el recubrimiento afectado, durante este proceso es importante que las juntas mortero – ladrillo queden bien definidas, garantizando que no se presenten espacios entre la superficie del ladrillo y este, el mortero debe tener cemento de baja alcalinidad para evitar aporte de sales a futuro en la mampostería.

Causas Identificadas que generan la Humedad en los Ladrillos de Recubrimiento de los Elementos Analizados

Antes de continuar es importante dar a conocer el orden en el que se tomó los elementos durante el estudio.

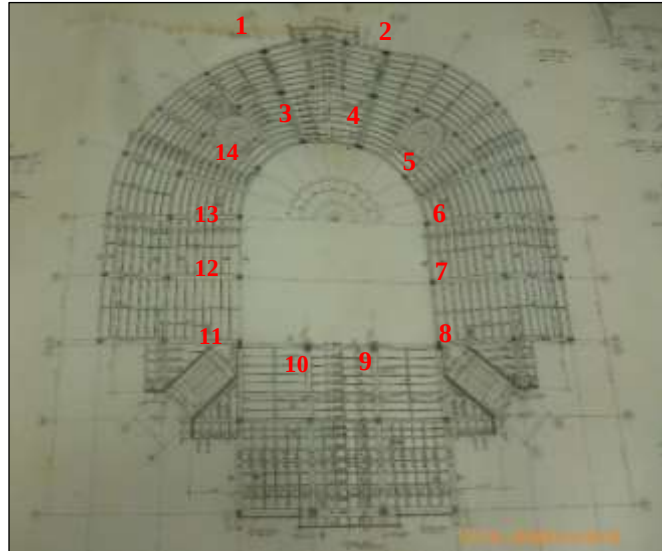


Figura 67. Fuente: autores, plano por Ing. Navas Carlos, (2018), Plano original de placa en primer nivel, es el orden de los elementos objeto de estudio del ladrillo de revestimiento Alcaldía Yopal.

En la figura 67 se observa el plano estructural original de la construcción que corresponde al primer nivel, en él se plasma el orden con el cual se definió analizar cada elemento en su revestimiento, iniciando con las columnas de la parte externa (uno y dos).

Como se definió en el diagnóstico, el factor causante de la patología encontrada es la humedad, en un nivel severo, las principales fuentes de estas son:

- Humedad de filtración por falta de voladizo y canales de drenaje.

El elemento cuatro es uno de los elementos más afectados y de inmediato tratamiento, lo primero antes de tratar la patología es implementar una acción correctiva en la cubierta, ya sea con un alero más largo o habilitando los canales de la cubierta para

que evacúen el agua, adicional tener en cuenta las pendientes para evitar acumulación de esta y se reactive la afectación.

Para el caso de la columna cuatro el agua que cae sobre ella proviene de una placa ubicada en la parte superior (cubierta) que soporta una antena y como se observa en la fotografía 68 y 69 (recuadro) esta tiene una pendiente sobre la columna. La causa debe ser corregida dirigiendo el agua hacia los canales construidos para el drenaje, de no hacerse continuará presentándose la patología descrita en capítulos anteriores.



Figura 68. Placa que almacena agua lluvia.

Sitio por donde sale el agua de forma directa a la mampostería.



Figura 69. Aporte de agua al ladrillo elemento 4

Figuras 68 y 69. Fuente: autores, (2018), muestra uno de los sitios de empozamiento de agua lluvia, Alcaldía Yopal.



Figura 70. Estado actual ladrillo de revestimiento.



Figura 71. Infiltración en elemento cuatro.

Figuras 70 y 71. Fuente: autores, (2018), Estado actual de ladrillo de revestimiento en elemento 4 (humedad por filtración) Alcaldía Yopal.

En las figuras 70 y 71, se observa el estado actual del ladrillo de revestimiento del elemento 4 debido a la causa descrita en párrafo anterior, la humedad es constante en invierno, por lo que se considera que el acero y concreto estructural están afectados, pero esta condición sólo es posible confirmar mediante ensayos destructivos.



Figura 72. Fuentes: autores, (julio de 2018), Cubierta actual que dirige el agua hacia la mampostería ubicada en la parte interna de la Alcaldía Yopal.

La figura 72 permite observar que la cubierta actual en algunos tramos tapa completamente el canal perimetral que según los diseños (fotografía 43) tiene canales para que el agua de la lluvia sea evacuada; en otros tramos se observa que hay espacio entre la teja y la viga perimetral, pero este es insuficiente ante las precipitaciones altas en época de invierno.

Este aspecto debe ser revisado y corregido de forma inmediata ya que es una de las causas directas de la presencia de humedad la cual acelera el daño en los ladrillos del edificio, es urgente habilitar los canales u otro tipo de solución como un alero que sobresalga cuidando que el agua que caiga al primer piso no salpique en la base de los elementos del primer nivel.

Adicional a lo anterior y como se observa en la fotografía, los árboles están frondosos y aunque ofrecen un ambiente fresco al interior del edificio también ayudan a que la humedad permanezca en el área; dicha condición obstaculiza la entrada de aire y

luz solar factores que trabajan a favor de la evaporación del agua contenido en el material.

Teniendo en cuenta lo descrito es necesario que el entorno ofrezca a los materiales de la edificación un ambiente seco para que el equilibrio interno en el material (evaporación – sales) se dé generando el mínimo de afectación. Es imposible que en los materiales no se dé la eflorescencia, pero es posible minimizar la aparición de esta patología con acciones preventivas y mantenimientos rutinarios. Se recomienda una poda técnica de las ramas que garanticen entrada de aire y luz natural.

- Humedad por filtración generada por tuberías y poco mantenimiento.

El elemento ocho es el más afectado en el ladrillo en toda su integridad, es importante que al intervenirla se realicen estudios que permitan conocer el estado estructural del concreto y acero de la columna.

Para este estudio no se realizó ensayos destructivos, por lo tanto, no se pudo observar el estado estructural, y dado a que ha estado expuesta por varios años a la humedad probablemente ha generado lesiones internas importantes en el elemento.



Figura 73. Humedad elemento 8.



Figura 74. Cara lateral elemento 8.



Figura 75. Base elemento 8.

Figuras 73, 74 y 75. Fuente: autores, (enero 2018), *Eflorescencias y humedades por filtración de agua en elemento 8 Alcaldía Yopal.*

Las figuras 73 y 74 pertenecen a la inspección realizada en enero del presente año, donde se observó el estado del revestimiento en época de verano; la humedad presente permite inferir que existe una tubería dentro del elemento, la cual presenta fugas y es el aportante de la cantidad de agua, que está acelerando el daño en los materiales.



Figura 76. Elemento 8.



Figura 77. Elemento 8 primer piso.



Figura 78. Elemento 8 eflorescencias.

Figuras 76, 77 y 78. Fuente: autores, (17 de agosto de 2018). Estado de elemento 8 Alcaldía Yopal.



Figura 79. Eflorescencias elemento 8.



Figura 80. Humedad.



Figura 81. Plantas en elemento 8.

Figura 79, 80, 81. Fuente: autores, (17 de agosto de 2018), Estado actual del elemento 8 Alcaldía Yopal.

Las figuras 79, 80 y 81 son fotografías tomadas en una de las últimas inspecciones de agosto, en ellas se evidencia el avance en la patología identificada en el ladrillo de revestimiento del elemento ocho.

Es importante intervenirla rápidamente, primero debe ser eliminada la fuente que aporta el agua y debe implementarse medidas correctivas en la cubierta y placa en la que

reposa uno de los tanques de agua, ya que se cree que esta es la fuente de donde proviene el agua, adicionalmente hay que revisar las conexiones que salen de allí y si es el caso reubicarlas.

Comparando las fotografías de enero y agosto es notable el avance en las eflorescencias y cripto eflorescencias que aumentaron el deterioro de los ladrillos, es por esto por lo que es de gran relevancia la intervención para eliminar la causa directa como primer paso para detener el avance del daño.



Figura 82. Agua acumulada en placa.



Figura 83. Esquina donde se ubica elemento 8.

Figura 82, 83. Fuente: autores, (12 de Julio 2018), Estado de la cubierta sobre el elemento 8 Alcaldía Yopal.

Las figuras 82 y 83, muestran la parte superior sobre la placa en la fotografía se observa empozamiento de agua, al parecer la placa presenta desnivel hacia el lado opuesto o la salida de esta está obstruida por alguno de los aires que se encuentran ubicados en este lugar. No se observan los canales de desagüe.

La única forma para evacuar el agua es que se evapore y mientras ocurre la evaporación total, el encerramiento en ladrillo adyacente permanece constantemente con humedad por capilaridad (lo mismo que ocurre en la base de las columnas) así como humedad por filtración en los elementos inferiores a la placa, que como ya se conoce es lo que ha originado la patología existente en los ladrillos estudiados.

Es necesario reubicar los equipos de aire acondicionado para adecuar el paso de agua; otro punto importante a solucionar es la inspección del tanque de almacenamiento y

de la tubería que distribuye el agua desde este, corregir y cambiar la tubería en caso de ser necesario y acorde a las nuevas normas para este tipo de instalaciones, en conclusión, adecuar el área de tal forma que el agua no continúe causando daño a la mampostería y que permita el mantenimiento práctico y fácil.



Figura 84. Fuente: autores, (12 de Julio 2018), Área afectada por acumulación de agua Alcaldía Yopal.

Al observar la parte derecha de la figura 84 donde se ubica el otro tanque, este sí tiene cubierta instalada, a diferencia de la parte izquierda que no la tiene. El elemento 8 se ubica en la esquina del recuadro amarillo en el punto (estrella amarilla), es relevante la intervención inmediata y sugerida en párrafo anterior y luego la respectiva intervención al otro costado.

Garantizar el mantenimiento frecuente de la cubierta es primordial para proteger la integridad de la mampostería y demás elementos estructurales, el mantenimiento preventivo ayuda a alargar la vida útil de los materiales.

- Vegetación cercana a columnas, limpieza de canales perimetrales.

Un aspecto que para algunos es importante por la comodidad y frescura que ofrece al interior de la edificación es una de las condiciones que acelera el proceso para el deterioro del ladrillo y es la humedad generada por los árboles.

Las plantas sembradas al lado de las columnas acumulan humedad, el agua es absorbida por los ladrillos desde la base debido a su estructura porosa, es por esto por lo que gran parte de los ladrillos comprometidos están en las $\frac{3}{4}$ partes iniciando el elemento y hasta el primer piso con cripto eflorescencia y eflorescencias severas, la humedad por capilaridad asciende en cuanto más perdure la condición y más poroso sea el material.



Figura 85. Plantas cercanas.



Figura 86. Humedad por capilaridad. Figura 87. Plantas.



Figuras 85, 86, 87. Fuente: autores, (2018), Vegetación cerca de las columnas internas Alcaldía Yopal.



Figura 88. Vegetación en base de col. Figura 89. Vegetación y criptoeflorescencias. Figura 90. Vegetación.

Figuras 88, 89, 90. Fuente: autores, (2018), Vegetación cercana a base de columnas y criptoeflorescencias Alcaldía Yopal.

Como se observa en las figuras 88, 89 y 90, en la mayoría de los elementos estudiados en su revestimiento tienen plantas cercanas a ellos; en las figuras 85 y 86 se muestra claramente la humedad por capilaridad. En el elemento 13 (figura 92) se observa un hueco que expone el elemento por debajo del primer nivel y por el que ingresa agua a la base de la columna aumentando la humedad en la misma, es importante rellenar con material, compactar el área y reubicar la planta o colocarla en una maceta.



Figura 91. Vegetación elemento 13.

Figura 92. Hueco entre columna y piso.

Figuras 91, 92. Fuente: autores, (2018), Presencia de hueco frente a elemento 13 Alcaldía Yopal.

Otro factor para tener en cuenta es evaluar la posibilidad de aumentar la sección del canal perimetral en el primer piso, según la inspección hecha es posible ver que la sección puede ser insuficiente para cuando adecuen los canales en la cubierta al igual que el diámetro de los sifones de desagüe.

Es de vital importancia realizar un plan de mantenimiento que se ejecute puntualmente en todos los canales, vigas, tubería y desagües de agua existentes en el edificio y que sean retiradas y reubicadas aquellas canaletas o tuberías que están empotrados en los elementos estructurales, esto ayudará a visualizar cualquier daño en estas sin afectación permanente en los elementos estructurales y no estructurales de la edificación.



Figura 93. Canal perimetral.



Figura 94. Desagüe de tubería.



Figura 95. Desagüe tubería.

Figuras 93, 94 y 95. Fuente: autores, (2018), Tubería de aire acondicionado y sección de canal y desagües, Alcaldía municipal de Yopal.



Figura 96. Tubería aire acondicionado.



Figura 97. Tubería aire acondicionado.

Figuras 96, 97. Fuente: autores, (2018), Presencia de tuberías de desagüe de aire acondicionado Alcaldía Yopal.

Las figuras 93 y 95, muestran la sección del canal perimetral y uno de los desagües de este.

En las figuras 94, 96, 97 se observa la inadecuada disposición del agua que conduce las tuberías de los aires acondicionados, se recomienda que este tipo de instalaciones entreguen el agua directamente al canal y alejado del revestimiento en ladrillo y elementos estructurales, ya que como se ha dicho a lo largo del estudio, el agua es el principal agente que afecta el revestimiento.

- Grietas en elementos uno y dos.

Desde el inicio de las inspecciones al sitio se observó grietas con aberturas considerables en los elementos uno y dos (columnas externas), debido al estado se decide entonces hacer seguimiento a estas con el fin de medir cada determinado tiempo la abertura de estas, lo que nos daría a conocer si las grietas continúan activas o no.

En el cuadro está relacionado la columna, el mes y la distancia en milímetros obtenidos el día de la toma de datos. Lo que se puede deducir con el seguimiento efectuado es que, aunque varía la distancia, dicha variación no es significativa; la variación que muestran los datos consideramos que se debe al movimiento normal de dilatación y contracción propios de los materiales, con un rango en el primer elemento entre 2,3 y 2,6 milímetros y en el segundo elemento entre 7 y 7,3 para los dos el rango de movimiento oscila en tres milímetros.

Lo que hace inferir que el movimiento se estabilizó, pero es importante que esta condición se mantenga en seguimiento, ya que por estar ubicadas en la parte externa por donde hay tránsito de personas se corre el riesgo que la parte que está desprendida de la estructura pueda caer, pues tampoco es ajena a la patología de eflorescencias y criptoflorescencias las cuales al deteriorar el ladrillo hace que la resistencia del material disminuya.

	ELEMENTO 1		ELEMENTO 2	
	ABERTURA (mm)	FOTOGRAFIA	ABERTURA (mm)	FOTOGRAFIA
ENERO	2,3		7,1	
MARZO	2,5		7,3	
JULIO	2,6		7	
AGOSTO	2,3		7,1	

Figura 98. Fuente: autores, (2018), Ficha de seguimiento a grietas presentadas en los elementos 1 y 2 de la alcaldía de Yopal.

Durante el seguimiento a los elementos uno y dos se inspecciona alrededor de estos: pisos, ventanas y no se observa daños estructurales que evidencie asentamientos diferenciales, es necesario mantener la inspección en las instalaciones de las oficinas en la parte interna.

Revisando los planos originales encontrados se observa que cada uno de estos elementos realmente están compuestos por dos columnas separados entre sí cinco centímetros y constructivamente no se ve dicha separación y no hay juntas de construcción que las delimiten; por lo que una de las causas de las grietas es que al limitar el movimiento de estas conllevó a que las fuerzas internas fracturaran el material para permitir el comportamiento propio generado por dilatación térmica de este tipo de elementos constructivos; pero es necesario realizar regatas en estas para verificar el estado del concreto y la integridad mecánica de los elementos.

Otra opción por la cual se generarían las grietas puede ser una carga externa directa aplicada cercana a los elementos la cual supera la carga de diseño de la estructura, y puede ser factible debido a la cantidad de archivo físico y muebles que hay en las oficinas.

Una vez realizadas las regatas en los dos elementos debe implementar las acciones según las recomendaciones del estructural y luego reponer el ladrillo teniendo en cuenta lo recomendado en capítulos anteriores.

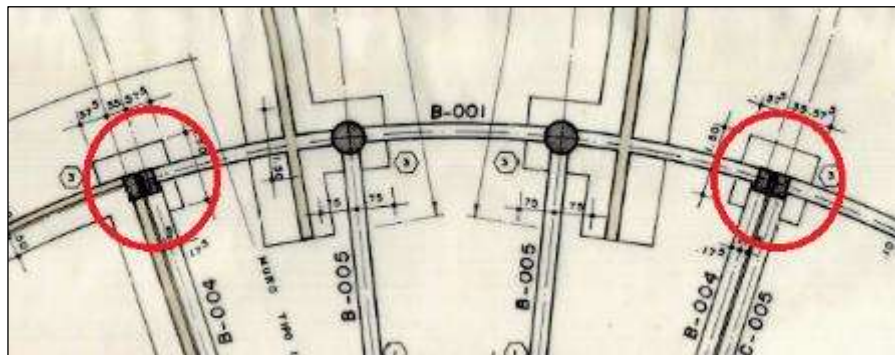


Figura 99. Fuente: autores, (2018), Ubicación elementos 1 y 2 en plano de cimentación Alcaldía Yopal.



Figura 100.



Figura 101.



Figura 102.



Figura 103.

Figuras 100, 101 y 102-103. Fuente: autores, (2018), Grieta en elemento 1 y grieta en elemento 2 respectivamente, alcaldía Yopal.

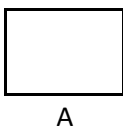
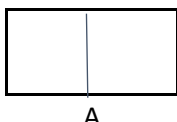
Según lo observado en las figuras 100, 101, 102 y 103 la grieta se puede clasificar en:

- Grieta entre elemento unitario y mortero: se produce por un movimiento que es generado al verse afectada la adherencia de la junta ya sea por: falta de rugosidad de los mampuestos que dificulta la adherencia mecánica; la aparición de un esfuerzo de tracción que el elemento es incapaz de absorber; la existencia de un defecto de ejecución previo.
- Grieta que rompe el elemento unitario: se debe a un movimiento producido por: la debilidad relativa del elemento frente al mortero o la adherencia entre ambos suele romper unas veces por la junta y otras por el elemento. (*Patología de la edificación / Fachadas*, 2014).

Cuantificación de ladrillos afectados en cada elemento.

Se plantean dos posibles alternativas básicas de intervención, teniendo en cuenta lo observado y las patologías que afectan los ladrillos que recubren las columnas del edificio, basándonos en la siguiente información:

De las doce (12) columnas internas, cuatro (04) son columnas dobles de dimensiones en promedio de 104 X 65 cm y ocho (08) son columnas sencillas de dimensiones en promedio de 64,5X65 cm.

COLUMNA SENCILLA				
B		D	LADRILLOS X FILA	8
			Nº FILAS	86
			LADRILLOS BASE	30
COLUMNA DOBLE				
B		D	LADRILLOS X FILA	12
			Nº FILAS	86
			LADRILLOS BASE	54

Para la primera propuesta de intervención realiza una cuantificación por cada columna de cuantos ladrillos deben cambiarse teniendo en cuenta su grado de afectación, los datos se relacionan en la tabla 3.

Es de anotar que estas propuestas son luego de eliminar las causas directas que provocan las patologías en el recubrimiento.

Tabla 3 Datos de ladrillos afectados por cambiar en forma parcial y datos del total de ladrillos si la solución es el cambio Total.

COLUMNA	LADRILLOS CAMBIO	LADRILLOS TOTAL	% AFECTACION
1	248	856	29
2	371	793	47
3	259	1086	24
4	392	1086	36
5	294	718	41
6	183	718	25
7	229	718	32
8	484	1086	45
11	209	1086	19
12	92	718	13
13	105	718	15
14	109	718	15
TOTAL	2975	10301	29

En las columnas: COLUMNA se menciona cada elemento; en LADRILLOS CAMBIO se registraron los ladrillos que están afectados y que necesitan cambio teniendo en cuenta el siguiente criterio: patología, grado de afectación en cada pieza y el elemento y la exposición a la humedad; LADRILLOS TOTAL se registra el número total de piezas de ladrillo que contiene cada elemento estudiado, este dato se considera para la segunda propuesta de intervención y % AFECTACIÓN que indica el porcentaje de cada elemento que se encuentra afectado por las patologías.

Con esta información se proyectan las dos propuestas de intervención:

- Primera propuesta:

Se recomienda el lavado de los ladrillos que conforman la fachada del edificio de la Alcaldía de Yopal en los elementos descritos durante el presente estudio con uso de metodologías de limpieza acordes a las patologías encontradas.

La intervención consiste en el cambio de los ladrillos afectados únicamente, para esta intervención se tiene en cuenta en el presupuesto los datos de la columna LADRILLOS CAMBIO.

Tabla 4. Presupuesto para alternativa I de intervención cambio parcial de ladrillos.

PRESUPUESTO PARA CAMBIO DE LADRILLOS PARCIAL					
ITEM	DESCRIPCION	UM	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR PARCIAL
1	Demolición muro en ladrillo brecha de 0,12x0,25 m para inserción de columna	M	744	\$7.811,58	\$5.811.815,52
2	Recubrimiento de columnas en ladrillo prensado rejilla, por cara	M	744	\$20.905,65	\$15.553.803,60
3	Limpieza mampostería común con agua	M ²	368	\$4.035,29	\$1.484.986,72
SUBTOTAL					\$22.850.605,84
A I U 30%					\$6.855.181,75
TOTAL					\$29.705.787,59

- Segunda propuesta de intervención:

En esta propuesta se define el cambio total de los ladrillos de revestimiento en los catorce (14) elementos analizados, previo análisis estructural de los elementos más afectados (esto último para las dos propuestas), y debida metodología de limpieza de superficie y puesta de ladrillos y mortero.

Tabla 5. Presupuesto para alternativa II de intervención cambio total de ladrillos.

PRESUPUESTO PARA CAMBIO DE LADRILLOS TOTAL					
ITEM	DESCRIPCION	UM	CANT	VR. UNITARIO	VR PARCIAL
1	Demolición muro en ladrillo brecha de 0,12x0,25 m para inserción de columna	M	2575	\$7.811,58	\$20.114.818,50
2	Recubrimiento de columnas en ladrillo prensado rejilla, por cara	M	2575	\$20.905,65	\$53.832.048,75
3	Limpieza mampostería común con agua	M ²	368	\$4.035,29	\$1.484.986,72
SUBTOTAL					\$75.431.853,97
A I U 30%					\$22.629.556,19
TOTAL					\$98.061.410,16

Para estas dos alternativas de intervención se toman como base para la elaboración del presupuesto, los ítems y valores que la gobernación de Casanare establece

mediante resolución 0152 del dos de mayo de 2017, para proyectar el valor de cada una de las propuestas de intervención.

La limpieza de canales, ampliación de sección, limpieza y adecuación de estos, así como la revisión de tuberías y cambios los puede adelantar la administración con personal que hace actualmente actividades de obras civiles menores asegurando el uso de herramientas y equipos de seguridad industrial para los trabajos en alturas.

Estos presupuestos tienen una validez de 90 días, con un A. I. U., del 30%, sin embargo se debe aclarar que este presupuesto es solo para las columnas objeto del presente estudio, aunque el lavado se debe realizar a la totalidad de la fachada , así como también se deben remover y cambiar los ladrillos más afectados, con la claridad que esta labor se realice en época de verano, cuando se tenga suficiente sol para el secado de la superficie, adicional a esto y como complemento se debe realizar el sellado de los ladrillos, con el fin de impedir el ingreso del agua en los ladrillos, pero con la garantía que permita la evacuación de esta.

El presupuesto no contempla el producto a utilizar para la limpieza de la superficie ni el producto con el cual se impermeabilizará la mampostería.

Suelos y Cimentaciones

En el edificio de la Alcaldía de Yopal, se realizó una ampliación de la infraestructura física en la parte trasera de la estructura, con el fin de construir el Centro de Atención del Ciudadano, para el desarrollo del proyecto, en el 2014 se realizó un estudio de suelos por el laboratorio de suelos SJH Ingeniería S.A.S, dicho estudio fue facilitado por la administración municipal y hace parte del presente trabajo, como anexo

- Geología general del paciente.

En el estudio de suelos de *SJH Ingeniería S.A.S (2014)*, se hace una descripción de la geología del área de Yopal, en la cual menciona lo siguiente:

La ubicación de la cuenca en inmediaciones del flanco oriental de la cordillera oriental, piedemonte llanero y parte de los llanos orientales, lo enmarca bajo la acción tectónica de las placas de Nazca, Caribe y Sur y Sur Americana, que han ocasionado el levantamiento de esta.

Dicha cordillera se encuentra soportada sobre materiales prototipo de corteza continental y posteriormente metamorfizados paleozoicas y otra sedimenta que inicia en el jurásico finalizando en el terciario, en donde se inicia la depositación de los materiales cuaternarios de origen glacial, aluvial y coluvial. De manera general se presentan las rocas más antiguas en el centro de la cordillera, las jóvenes se preservan en sus flancos y las recientes en los llanos orientales.

Estudios de suelos realizados al paciente (apiques, sondeos, etc....) Con la ubicación de estos mediante un plano.

Para conocer las características geotécnicas del subsuelo se realizaron tres (03) perforaciones con equipo manual a una profundidad de 6.0 m.

A las muestras obtenidas en campo, se les realizó ensayos de penetración estándar (SPT) cada 1,5 metros aproximadamente. En la perforación se registró las condiciones estratigráficas del subsuelo, no se pudo recuperar muestras para la realización de inconfiadas. Las muestras obtenidas durante la exploración se identificaron visualmente en campo. Las perforaciones fueron supervisadas permanentemente por la ingeniera de calidad, garantizando su idónea ejecución de acuerdo con las normas técnicas para perforaciones de campo y recolección de muestras.

De la identificación visual se encontró lo siguiente:

En el sondeo n° 1: de 0,00 a 6,00 m, se encontró material arcilla arenosa de color café -CL- A-4.

En el sondeo n° 2 de 0,00 a 6,00 m, se encontró arena limosa de color café -CL- A-4.

En el sondeo n° 3 de 0,00 a 6,00 m, encontró arcilla arenosa de color café-CL- A-4.

No se encontró nivel freático durante la ejecución de las perforaciones.

Con las muestras obtenidas de las perforaciones, se realizaron ensayos de laboratorio para determinar humedades naturales, límites de consistencia y granulometrías que permitieron realizar una clasificación por medio del sistema unificado. Se recolectaron las muestras para la realización de inconfiadas.

De acuerdo con los resultados de la exploración de campo, perfiles de resistencia en pruebas de penetración estándar, los análisis de laboratorio y las características geotécnicas de los materiales encontrados en el sitio se pueden identificar los siguientes materiales: ARCILLA ARENOSA DE COLOR CAFÉ.

Los asentamientos están calculados por carga rígida y por carga flexible teniendo en cuenta módulo de Young, Coeficiente de Poisson y la carga admisible calculada con anterioridad. Según Terzaghi y Peck el valor de s se estableció en 2,5 cm con la creencia de que, si el asentamiento máximo se limita a esta magnitud, el asentamiento diferencial entre las zapatas de una estructura estará dentro de límites tolerables. (SJH Ingeniería S.A.S, 2014).

Estudio de Vulnerabilidad Sísmica

El municipio de Yopal, capital del departamento de Casanare no cuenta con un estudio de microzonificación sísmica, es decir no se está dando cumplimiento a lo que establece el título A de la NSR 10: “A.2.9.2:

Las capitales de departamento y las ciudades de más de 100 000 habitantes, localizadas en las zonas de amenaza sísmica intermedia y alta, con el fin de tener en cuenta el efecto que sobre las construcciones tenga la propagación de la onda sísmica a través de los estratos de suelo subyacentes, deberán armonizar los instrumentos de planificación para el ordenamiento territorial, con un estudio o estudios de microzonificación sísmica, que cumpla con el alcance dado en la sección A.2.9.3. y el ítem,

“A.2.9.3 — *ALCANCE*:

El alcance del estudio de microzonificación sísmica debe cubrir, como mínimo, los siguientes temas, los cuales deben consignarse en un informe detallado en el cual se describan las labores realizadas, los resultados de estas labores y las fuentes de información provenientes de terceros consideradas.

Por lo tanto, para el presente informe se tendrá en cuenta la información que la norma NSR 10 establece a nivel nacional para los distintos municipios del territorio nacional y que son acorde a lo establecido por el Servicio Geológico Colombiano (antiguo INGEOMINAS):

Mapa de Amenazas Sísmicas Servicio Geológico Colombiano

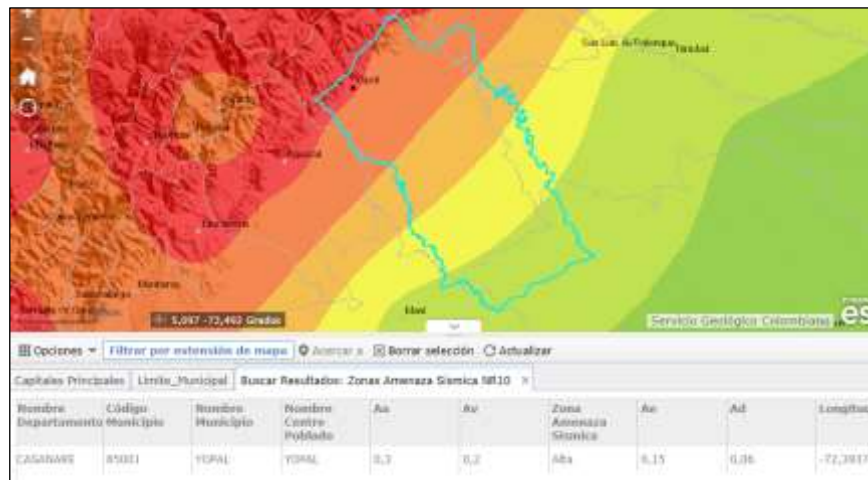


Figura 104. Servicio Geológico Colombiano, Ubicación de Casanare en Mapa de Amenaza Sísmica Nacional, mapa de amenaza sísmica en Yopal Casanare, junio de 2019.



Figura 105. Servicio Geológico Colombiano, Clasificación de Zonas de Amenaza Sísmica, mapa de amenaza sísmica en Yopal Casanare, recuperado junio de 2019.

De acuerdo con el mapa de la figura 105 el municipio de Yopal se encuentra en una zona de amenaza sísmica Alta, teniendo en cuenta que el municipio está localizado en el límite de un proceso de fallamiento geológico. Esto indica que estamos al pie de un “borde” de fricción o encuentro entre placas o bloques geológicos ya caracterizados, que tienen comportamiento separado.

Determinación de la zona sísmica, el valor de A_a y A_d .

Geometria	Valor	Espacial	Resultados
Acercar a Todo Limpiar			
Elementos seleccionados: 1			
YOPAL			
Nombre Departamento: CASANARE			
Código Municipio: 85001			
Nombre Centro Poblado: YOPAL			
A_a : 0.3			
A_v : 0.2			
Zona Amenaza Sísmica: Alta			
A_e : 0.15			
A_d : 0.06			
Longitud: -72.39379053			
Latitud: 5.33249118			

Figura 106. Servicio Geológico Colombiano, Factores que Determinan la Zona de Amenaza Sísmica, mapa de amenaza sísmica en Yopal Casanare, recuperado junio de 2019.

A.2.2.1 — Los movimientos sísmicos de diseño se definen en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro A_a , y de la velocidad pico efectiva, representada por el parámetro A_v , para una probabilidad del diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años (NSR, 2010).

A.2.3.3 — Zona de Amenaza Sísmica Alta — Es el conjunto de lugares en donde A_a o A_v , o ambos, son mayores que 0,20; lo que nos indica que el municipio de Yopal se encuentra clasificado como una Zona de Amenaza Sísmica Alta, puesto que A_a y A_v , de acuerdo a la norma tiene valores por encima de 0,20 (NSR, 2010).

Geometria	Valor	Espacial	Resultados
Acercar a Todo Limpiar			
Elementos seleccionados: 1			
YOPAL			
Nombre Departamento: CASANARE			
Código Municipio: 85001			
Nombre Centro Poblado: YOPAL			
Aa: 0.3			
	Av: 0.2		
Zona Amenaza Sísmica: Alta			
Ae: 0.15			
Ad: 0.06			
Longitud: -72.39379053			
Latitud: 5.33249118			

Figura 107. Servicio Geológico Colombiano, Factores Ae y Ad que Determinan la Clasificación de la Sismicidad, mapa de amenaza sísmica en Yopal Casanare, recuperado junio de 2019.

De acuerdo al capítulo A.10 de la NSR (2010), para la evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de esta norma, se tiene el parámetro de movimientos sísmicos de diseño con seguridad limitada basados en la aceleración pico efectiva reducida, que para el caso de Yopal es $A_e = 0,15$; para evaluar la vulnerabilidad sísmica y adicionar, modificar o remodelar el sistema estructural de edificaciones existentes, para que puedan ser capaces de resistir temblores pequeños sin daño; temblores moderados sin daño estructural pero con algún daño en elementos no estructurales y temblores fuertes sin colapso.

En el capítulo A.12 de la NSR (2010), requisitos especiales para edificaciones indispensables de los grupos de uso III y IV, está el título A.12.2 A, que menciona los movimientos sísmicos del umbral de daño, que se definen para una probabilidad del ochenta por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años, en función de la aceleración pico efectiva al nivel del umbral de daño, representada por el parámetro A_d que para el caso de Yopal $A_d = 0,06$.

De acuerdo a lo anterior y según el capítulo A.2 de la NSR (2010), zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño, en el apartado A.2.5, coeficiente de

importancia, se establecen los grupos de uso, clasificando al edificio de la administración municipal como: A.2.5.1.3 — Grupo II — Estructuras de ocupación especial — Cubre las siguientes estructuras: (f) Edificios gubernamentales; al estar en este grupo, de acuerdo a la NSR, el coeficiente de importancia para la edificación $I = 1,10$.

Otros valores para el diseño antisísmico de la NSR (2010), que se debe tener en cuenta y que corresponden a la zona de estudio son: en el numeral A.2.4.2 – El tipo de perfil de la tabla A.2.4.1 para nuestro caso el perfil del suelo es D; para el coeficiente de sitio correspondiente a A.2.4.5.5 y A.2.4.5.6 los valores para la zona de periodo corto del espectro para el municipio de Yopal es $F_a = 1,3$ y $F_v = 2,0$; el grupo de uso descrito en el numeral A.2.5.1 la edificación está clasificada en el grupo I, por lo tanto de acuerdo a A.2.5.1.3, la Alcaldía de Yopal se clasifica en el Grupo II, como estructuras de ocupación especial, correspondiente al literal f, edificios gubernamentales, con un coeficiente de importancia $I = 1,10$.

- Análisis de vulnerabilidad sísmica del paciente

Del documento del *Servicio Geológico Colombiano*, (2013), el municipio de Yopal, se encuentra la cartografía geológica a escala 1: 100.000 de la plancha 193, Esta plancha está ubicada fisiográficamente en parte de la vertiente oriental de la Cordillera Oriental, en el Piedemonte y en los Llanos Orientales de Colombia, en donde las unidades geológicas que afloran son de edades cretácicas, paleógenas, neógenas y cuaternarias, consecuencia de cuatro eventos tectonoestratigráficos.

Para la ubicación de sitios geográficos, estructuras geológicas y unidades litoestratigráficas, se tuvo en cuenta la numeración que realiza el IGAC de las bases topográficas a escala 1:100.000 en la que menciona:

Su división en cuadrículas de cinco km; las cuadrículas en sentido de oeste a este (horizontal) se identifican con números del uno al doce y en sentido de norte a sur (vertical), con letras de la A hasta la H; de tal forma el municipio de Yopal (Casanare) se localizaría en la cuadrícula 193: H4, H5.

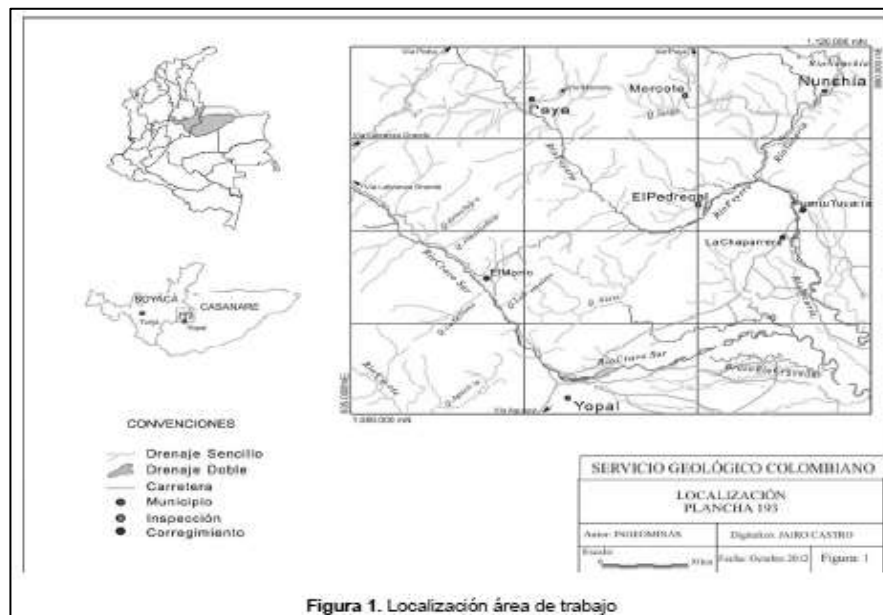


Figura 108. Servicio Geológico Colombiano, Ubicación Yopal Casanare en plancha 193, mapa de amenaza sísmica en Yopal Casanare, plancha 93.

- Estratigrafía.

El área de la Plancha 193 Yopal abarca parte de la vertiente oriental de la Cordillera Oriental, Piedemonte y parte de los Llanos Orientales de Colombia; las unidades geológicas que afloran son de edad Cretácica, Paleógena, Neógena y Cuaternarias, las cuales son respuesta a cuatro eventos tectonoestratigráficos. (Servicio Geológico Colombiano, 2013, plancha 193).

a. Unidades del Cretácico.

Grupo Guadalupe (k2g): El Grupo Guadalupe aflora en los flancos del Sinclinal del Desespero (193: A1, A2, B1 y B2), está limitado en su base y techo por unidades arcillosas; la unidad basal (Formación Lidita-Dura), es de carácter silíceo-arenoso y geomorfológicamente se expresa en el flanco occidental del sinclinal como dos filos separados por un valle y en el flanco oriental se empaqueta en un filo.

La formación intermedia (Formación Plaeners) produce un valle conformado por arcillolitas grises oscuras y la unidad geológica superior (Formación Tierna) tiene una expresión de relieve fuerte debido a su naturaleza arenosa. (Servicio Geológico Colombiano, 2013, plancha 193).

De otra parte, en la parte suroriental de la plancha 193, *a partir de la Falla de Guaicáramo, en dirección hacia el oriente, se observan afloramientos de un cuerpo arenoso en el Río Tocaría (193: A7 y B7) y en el Anticlinal de Monterralo (193:2 E3, F1, F2, G1, G2). Servicio Geológico Colombiano, (2013), plancha 193.*

El Grupo Guadalupe reposa sobre rocas arcillosas de la Formación Chipaque y es supra yacida por rocas arcillosas de la Formación Guaduas, esta condición no se observa en el Anticlinal de Monterralo, en donde están ausentes las rocas arcillosas que conformarían la Formación Guaduas, situación explicada por Cooper et al. (1995) por un hiato de 14 Ma., que abarca el intervalo Maastrichtiano-Paleoceno inferior. *Servicio Geológico Colombiano, (2013), plancha 193.*

Sin embargo, para Van der Hammen (1958), este hiato parece estar ausente en este sector de la Cordillera Oriental y “todo el Maastrichtiano está desarrollado en facies arenosas”, de esta manera, para este autor, la parte inferior de la sucesión arenosa que aflora en la región del Morro (Río Cravo Sur) es de edad Maastrichtiano y lo correlaciona con parte de la Formación Arenisca Tierna.

La parte media está representada por intercalaciones de esquistos arcillosos gris-oscuro y arenitas de edad Maastrichtiano más alto es correlacionable con la Formación Guaduas y la parte superior arenosa, es de edad Paleoceno y la correlaciona con la Formación Socha inferior. *Servicio Geológico Colombiano, (2013), plancha 193.*

b. Unidades del Cenozoico

Unidades no Consolidadas del Holoceno: Estas unidades corresponden a depósitos sedimentarios recientes, acumulados posiblemente en el Holoceno que se encuentran cubriendo de manera

discordante rocas consolidadas con edades desde el Cretácico (*Valanginiano*) hasta el Cenozoico (Plioceno). *Servicio Geológico Colombiano, (2013), plancha 193.*

- Depósitos fluviales subactuales indiferenciados (Qai)

Los depósitos aluviales sub-actuales indiferenciados, afloran en el sector más oriental de la plancha (193: D9, E9, G9, H8 y H9), en el sistema de relieve de llanura.

Estos depósitos eran posiblemente llanuras de inundación antiguas o partes distales de los depósitos de flujos torrenciales, donde el desborde de los ríos actuales rara vez los cubren; tienen pendientes de 3-5% cerca al piedemonte y cuando se alejan menores a 3% (*Servicio Geológico Colombiano -UPTC, 2007*).

En los afloramientos observados y en los pozos realizados en el área de Yopal para captación de aguas, se ha podido establecer tres segmentos; el inferior es de grano grueso, se han medido hasta 42 m representados en gravas clastosoportadas, la composición de las partículas del armazón son cuarzoarenitas y limolitas, se intercalan con lentes de arenas blancas con tamaños de grano medio a fino, en donde se almacena el agua. Sobre ella se tiene el segmento dos, tiene espesores de tres a cinco m son arcillolitas y limolitas arenosas de colores pardos a amarillos y sobre ella se desarrolla un suelo orgánico que constituye el segmento tres (*Servicio Geológico Colombiano -UPTC, 2007*).

- Depósitos de flujos torrenciales -abanicos aluviales- (Qab)

Estos depósitos están localizados en el sistema de relieve de llanura y piedemonte, forman superficies que están limitadas por los contrapendientes del frente montañoso que se observa a lo largo de la plancha 193; en este depósito se ubica el área urbana del Municipio de Yopal.

Estos depósitos en el sistema de llanura se observan como cuerpos separados por depósitos fluviales de la dinámica actual de los Ríos Cravo Sur y Tocarí. Se pueden diferenciar dos

cuerpos, los asociados a la parte proximal de un abanico (193: G5, G6, F6, F7, F8, E8) y el resto por depósitos asociados a la parte distal del abanico (193: H5, H6, H7, H8, H9). (*Servicio Geológico Colombiano, 2013, plancha 193.*)

Los depósitos localizados en la parte proximal forman terrazas, tienen espesores variables, están constituidos por material no consolidados de gravas, tamaño cantos de composición areno-cuarzosa y limosa, clasto y matriz soportados, en una matriz areno-conglomerática con algunos niveles de arenitas y lodolitas. En su parte distal los sedimentos forman terrazas, están constituidos por hasta 10m de acumulaciones arcillosas limosas o arenas-lodosas, diferenciables por color, de esta manera se observan cremas y pardos (10YR6/2, 10YR4/2), en ocasiones por meteorización toman rojizos (5R5/4) y violetas (5P6/2); hacia la base o techo se observan gránulos, guijos y gravas (*Servicio Geológico Colombiano -UPTC, 2007*).

- Depósitos Coluviales (Qc)

En el sistema de relieve de montaña se cartografiaron varios depósitos no consolidados de origen coluvial; los depósitos con mayores extensiones están localizados así: al occidente en el cerro La Vieja-Vereda Tutasa (193: A4), al norte del Municipio de Paya, en donde se observan coronas semicirculares de decenas de metros, no fue posible observar afloramientos ya que se encontraban cubiertos por vegetación.

Otro depósito de extensión considerable se observa en la Vereda Tutasa (193: A3); están formados a partir de la acumulación de bloques y guijarros desprendidos de formaciones competentes y el material removido de las formaciones no competentes. El corregimiento del Morro está ubicado en un depósito coluvial de grandes dimensiones. (*Servicio Geológico Colombiano, 2013, plancha 193*).

- Depósitos fluviales actuales (Qa)

Los depósitos fluviales actuales están asociados a los tres sistemas de relieve determinados en la Plancha 193 (montaña, piedemonte y llanura), los cuales están relacionados con las principales corrientes actuales.

En los sistemas de piedemonte y montaña estos depósitos tienen poca extensión y se forman hacia las márgenes de las corrientes, tal como se observa en el Río Cravo Sur (193:D1, F3, G4, F4), Río Nunchia (193:A9), y Río Payero (D5, D6); cuando su cauce llega a las zonas inundables extensas forman grandes planicies, tal como se observa en el Río Payero - Río Tocaría (193: D6, D7) y en los depósitos del Río Cravo Sur (193:H4, H5, G6, G7, G8). (*Servicio Geológico Colombiano, 2013, plancha 193*).

En los depósitos fluviales asociados al Río Cravo Sur en la zona de relieve de piedemonte (193: D1, F3, G4, F4), se están agrupando dos tipos de depósitos que no se separan por las dimensiones, el más bajo topográficamente es la llanura de inundación actual y el segundo se observan depósitos elevados con espesores de 3m, indicando actividad neo-tectónica.

Los cauces de los ríos asociados a estos depósitos tienen un comportamiento diferencial en el sistema de llanura cuando drenan el sistema de relieve de llanura; cerca al piedemonte presentan cauces sinuosos y pasan a cauces meándricos a medida que se alejan.

En el sistema montañoso, los depósitos aluviones están conformados por conglomerados clasto y granosoportados, algunas veces imbricados, con tamaños de grano muy variable desde granulo hasta bloque. Son conglomerados petromicticos, con fragmentos líticos de cuarzoarenitas y limolitas en una matriz predominantemente arenosa; tal como se encuentran en al cauce de la Quebrada Aguablanca (193: A5, B4), en donde se observan como una faja elongada de al menos 3 km de longitud. (*Servicio Geológico Colombiano, 2013, plancha 193*).

- Geología Estructural

El área de la Plancha 193, *Servicio Geológico Colombiano, (2013)*, en Yopal se ha definido desde el punto de vista estructural tres estilos, cada una con una evolución geológica distintiva, la occidental, la zona central y la oriental:

Zona Oriental

La zona oriental está limitada al oeste por la Falla de Guaicáramo y al este se cartografían las fallas de Yopal y Piedemonte, se reconocen estructuras de primer orden, el Anticlinal de Monterralo y el Sinclinal de Nunchía y otras de segundo orden como el Anticlinal de Niscota y el sinclinal de la Chaparrera- Zamaricote.

Estas estructuras responden a un frente de cabalgamiento de una cuña orogénica, en donde las fallas de cabalgamiento como las de Guaicáramo, Cusiana o Piedemonte (Cooper et al., 1995), son formadas a partir de la reactivación de fallas normales y configuran una escamación de piel delgada (Mora et al., 2012); también se observan estructuras sinclinales como el Nunchía localizado en el bloque colgante de Falla de Yopal o como el de Chaparrera-Zamaricote asociado a la Falla de Piedemonte (Cooper et al., 1995); en el subsuelo este frente de cabalgamiento tiene un rasgo estructural de una zona triangular con dúplex de ángulo alto (Cooper et al., 1995, Martínez, 2006, Egbue & Kellogg, 2012).

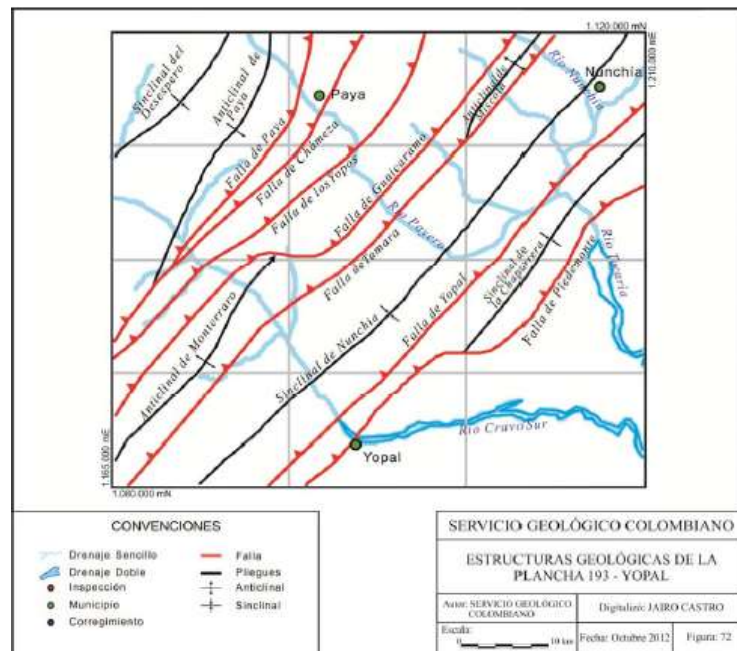


Figura Esquema estructural de la Plancha 193 Yopal.

Figura 109. Servicio Geológico Colombiano, Plancha 193, (2013), Fallas Presentes en el Departamento de Casanare, Esquema estructural de fallas en el departamento de Casanare, junio de 2019.

Según el Servicio Geológico Colombiano, (2013, *plancha 193*), las siguientes fallas están bordeando el municipio de Yopal Casanare:

Falla de Yopal

Esta falla toma su nombre de la Ciudad de Yopal, al sur es la falla más oriental del frente de cabalgamiento de la Cordillera Oriental, sin embargo, en la Plancha 193 Yopal, la falla más este es la Falla de Piedemonte.

La Falla de Yopal es una falla de cabalgamiento con vergencia al este, su trazo tiene una orientación N400E, al sur afecta rocas de la Formación San Fernando y a la altura de la Quebrada La Niata (193: F6), pone en contacto rocas de la Formación Diablo con rocas de la Formación Caja.

En el subsuelo diferentes autores como *Martínez (2006)* y *Egbue & Kellog (2012)*, interpretan que esta falla generaría en su bloque colgante el Sinclinal de Nunchía haciendo parte de una zona triangular.

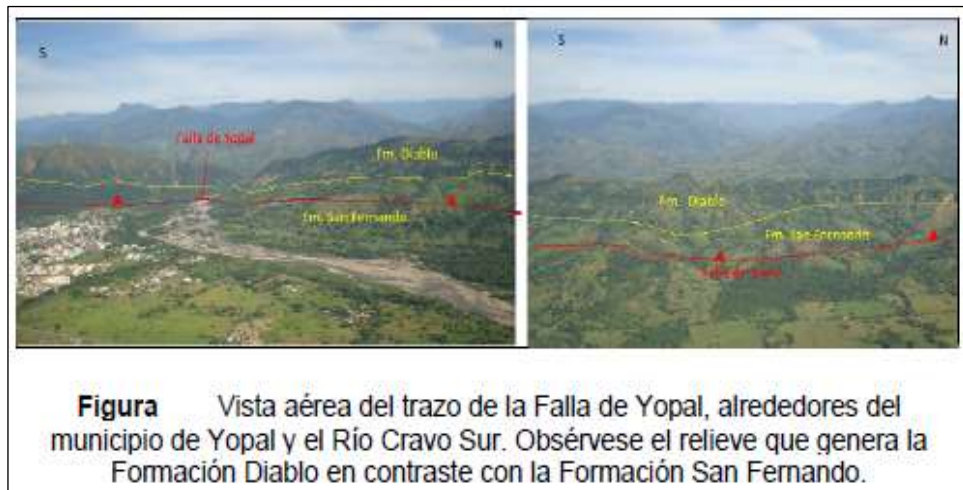


Figura 110. Servicio Geológico Colombiano, Trazo de la Falla de Yopal, Esquema estructural de fallas en el departamento de Casanare.

Falla piedemonte

La Falla de Piedemonte es un cabalgamiento con vergencia hacia el este; al sur, su trazo tiene una orientación N40-500E, en la región de la Quebrada La Niata (193: F6), cambia de dirección W-E, para continuar hacia el norte con dirección N350E; esta falla limita el frente de cabalgamiento en esta plancha, posiblemente asociado a esta falla y en su bloque colgante está el Sinclinal de la Chaparrera-Zamaricote. *Servicio Geológico Colombiano, (2013), plancha 193.*

Para *Cooper et al. (1995)*, esta estructura la denomina Falla de Támara y haría parte del Sistema Fallas Cusiana-Támara han que podría ser una paleofalla invertida en la deformación principal de la Cordillera Oriental.

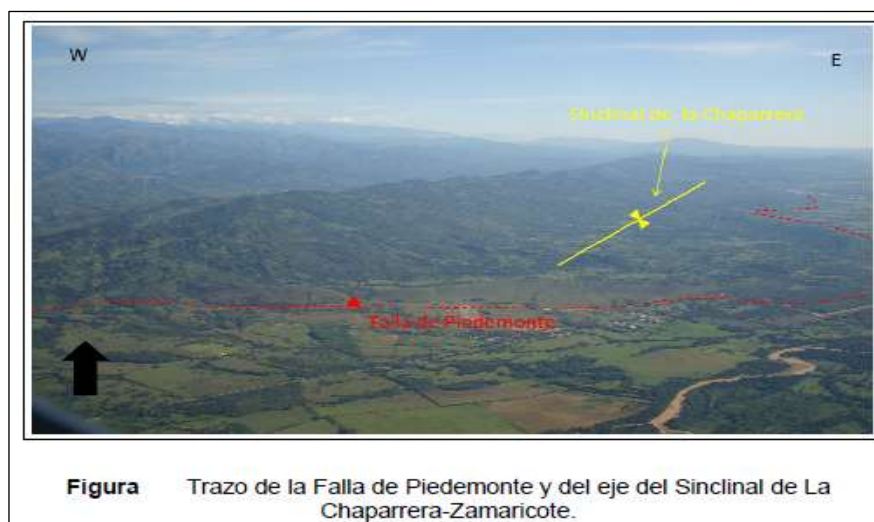


Figura 111. Servicio Geológico Colombiano, Trazado de la Falla Piedemonte, Esquema falla de Piedemonte en el departamento de Casanare, septiembre 2018.

De acuerdo con el Servicio geológico colombiano (2013), las siguientes amenazas se presentan en el área de influencia del Municipio de Yopal:

- Amenazas Geológicas

El área de la Plancha 193 Yopal se encuentra bajo la influencia de dos fenómenos naturales: los de origen hidrometeorológicos y las fuentes sísmicas, los cuales constituyen los principales generadores de amenazas geológicas para la población, los bienes y la infraestructura.

- Amenazas de Origen Hidrometereológico

La combinación de la precipitación, la topografía y la naturaleza de las rocas determina la posibilidad de que se presente un fenómeno origen hidrometereológico que amenace un área específica; se consideran como fenómenos de este tipo los deslizamientos, reptación, inundaciones y avenidas torrenciales.

- Deslizamientos: El área más propensa a ser afectada por deslizamiento se observa al oriente, en el escarpe que bordea el sistema de relieve de piedemonte llanero (193:H3, H4, G5, F6, F7, E7, E8, D8, C9); en donde se combinan factores como la topografía, la naturaleza de la roca, la influencia

humana en la vegetación primaria y las altas precipitaciones, estas últimas son del orden de 1000 a 3000 m.m. por año (IGAC, 1999).

Todos estos factores favorecen la generación de deslizamientos en este frente montañoso. Este fenómeno fue registrado en mayo del 2011, en donde la concentración de agua en el suelo y grandes precipitaciones desencadenaron una remoción en masa con desprendimiento de la cobertura vegetal.

- Avenidas Torrenciales: según *Servicio Geológico Colombiano*, “las avenidas torrenciales son el resultado de eventos de lluvia torrencial o de sismos de magnitud mayor de cinco que pueden inducir en regiones de topografía abrupta deslizamientos que alcancen los cauces de los ríos y quebradas, en donde se eleva el caudal y se generan flujos concentrados de bloques, cantos, guijos, gránulos y arenas que destruyen a su paso, puentes y carreteras.

Este fenómeno es común en todas las vías que atraviesan el sistema de relieve de piedemonte llanero, tal como se observa en la vía Nunchía -Paya, como también en la vía Yopal-El Morro-Labranzagrande.

Lo que ha generado a lo largo del tiempo dos tipos de depósitos: Los Depósitos de flujos torrenciales (Qab), en donde se han ubicado dos cabeceras municipales Labranzagrande y Yopal y los Depósitos de flujos aluviales indiferenciados (Qai).

El origen de estos depósitos está relacionado con la localización dentro del abanico aluvial (avenidas torrenciales), las avenidas torrenciales se producen por deslizamientos que alcanzan los drenajes y posteriores represamientos temporales en las corrientes aluviales, las cuales se descargan súbitamente con grandes volúmenes de sedimento que se depositan y pueden llegar a ocupar grandes extensiones.

En el ápice del abanico, el cuerpo y la parte distal del mismo se reconoce por la granulometría característica; de esta manera, en el ápice se concentran los materiales más gruesos y pesados; es

así como en el ápice se cartografió la unidad de depósitos de flujos torrenciales (Qab) y en el cuerpo y parte distal se cartografió los depósitos asociados como aluviales indiferenciados (Qai). Este fenómeno es recurrente ya que se observan para una misma región varios abanicos subrecientes y recientes, tal es el caso de los depósitos observados alrededor de Yopal.”

- Inundaciones: En las zonas planas del sistema de relieve de llanura, se cartografiaron los Depósitos fluviales actuales (Qa), los cuales son afectados con frecuencia por inundaciones que producen pérdidas en infraestructura, agricultura y población. Sin embargo, la convivencia con este fenómeno por parte de la población hace que ella misma evite ocupar sitios susceptibles a inundarse, pero en temporadas de lluvias extrema los afectan considerablemente. (*Servicio Geológico Colombiano, 2013*).

- Amenazas de Origen Sísmico

En áreas próximas a la Plancha 193 Yopal se localizan dos fuentes sísmicas, la del Piedemonte Llanero y la de Bucaramanga, la fuente sísmica del Piedemonte Llanero presenta sismos superficiales con profundidades de 0-30 km y la de Bucaramanga con sismos de profundidad intermedia de 70-120 km y profundidades de 120-180 km; estas sismofuentes pueden afectar el área que cubre esta plancha, por las características propias del fenómeno natural de un sismo, el cual puede afectar amplias zonas en especial si son sismos superficiales. (*Servicio Geológico Colombiano, 2000*).

Con base a este fenómeno y otros parámetros Servicio Geológico Colombiano (1999) elaboró el mapa de Amenaza Sísmica en donde la región de estudio se ubica en dos zonas.

La zona de amenaza sísmica alta que afecta el área del relieve de cordillera y piedemonte y la zona de amenaza intermedia la cual cubre el relieve de llanura. Lo anterior indica que los municipios como Labrazagrande y Paya ubicados en una zona de amenaza sísmica intermedia donde los valores de aceleración pico efectiva es de 0,25, por lo cual las edificaciones que se construyan deben tener las condiciones para soportar sismos que generen aceleración de 0,25 +/- 10%.

Los Municipios de Nunchía y Yopal están ubicados en la zona de amenaza sísmica intermedia con valores de aceleración 0,20, por lo que las edificaciones deben soportar sismos que generen aceleraciones de 0,20 +/- 10% (datos teniendo en cuenta la NSR 98).

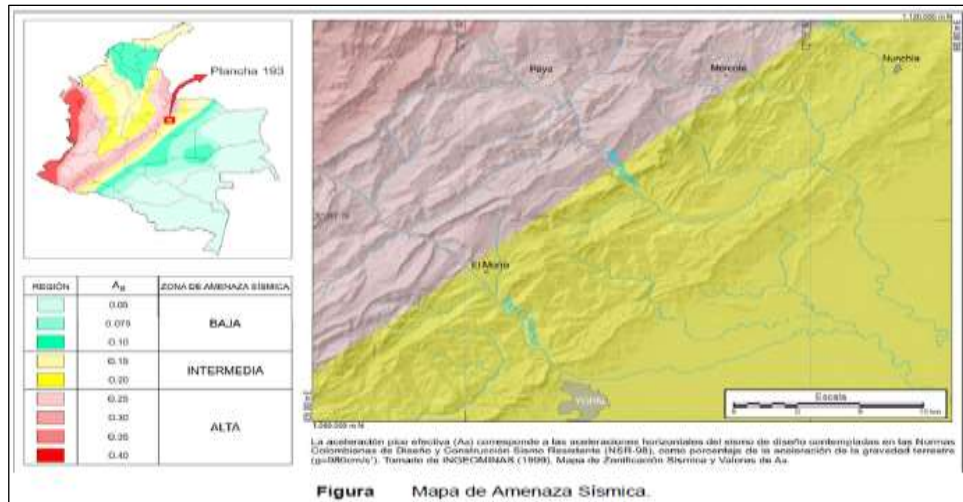


Figura 112. Mapa de Amenaza Sísmica Plancha 193, Servicio Geológico Colombiano, clasificación de amenaza sísmica en el departamento de Casanare, septiembre de 2018.

De acuerdo con lo descrito anteriormente bajo lo establecido en la NSR 98, que estaba vigente cuando se construyó la estructura del presente estudio, se tenía una clasificación de amenaza sísmica Intermedia para la zona.

Con la actualización de la norma sismo resistente en el año 2010 se da una nueva clasificación de amenaza sísmica trayendo consigo modificaciones para el municipio de Yopal, clasificándola de Intermedio a un nivel Alto.

Tabla 6. Clasificación de Amenaza Sísmica

Departamento de Casanare						
Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Yopal	85001	0.30	0.20	Alta	0.15	0.06
Aguazul	85010	0.30	0.20	Alta	0.14	0.06
Chámeza	85015	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Hato Corozal	85125	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
La Salina	85136	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Maní	85139	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Monterrey	85162	0.30	0.25	Alta	0.11	0.05
Nunchía	85225	0.20	0.15	Intermedia	0.09	0.04
Orocúe	85230	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Paz de Ariporo	85250	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Pore	85263	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Recetor	85279	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Sabanalarga	85300	0.35	0.30	Alta	0.13	0.05
Sácama	85315	0.35	0.20	Alta	0.16	0.08
San Luis de Palenque	85325	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Támara	85400	0.35	0.15	Alta	0.16	0.08
Tauramena	85410	0.15	0.20	Intermedia	0.06	0.03
Trinidad	85430	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02

Fuente: Documento comité AIS-300 Amenaza sísmica.

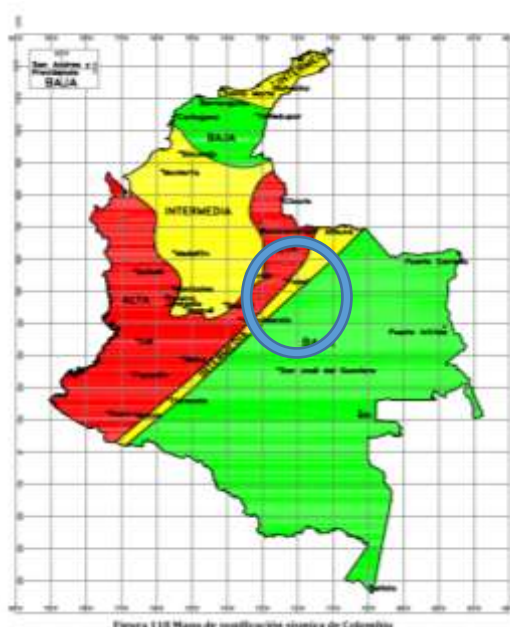


Figura 113. Mapa de Amenaza Sísmica en Colombia, AIS – 300, Estudio general de amenaza sísmica de Colombia 2009, mapa de zonificación sísmica, pág102, recuperado 10 de Octubre de 2018 de http://www.r-crisis.com/Content/files/EstudioGeneraldeAmenazaSismicadeColombia2009_AIS_lowres.pdf

El paciente analizado, el edificio de la Alcaldía Municipal de Yopal fue construido entre los años 1992 a 1994, donde se utilizaban coeficientes de sismicidad diferentes a los establecidos actualmente según la amenaza sísmica en nivel Alto que en la NSR 10 se designa para el municipio de Yopal.

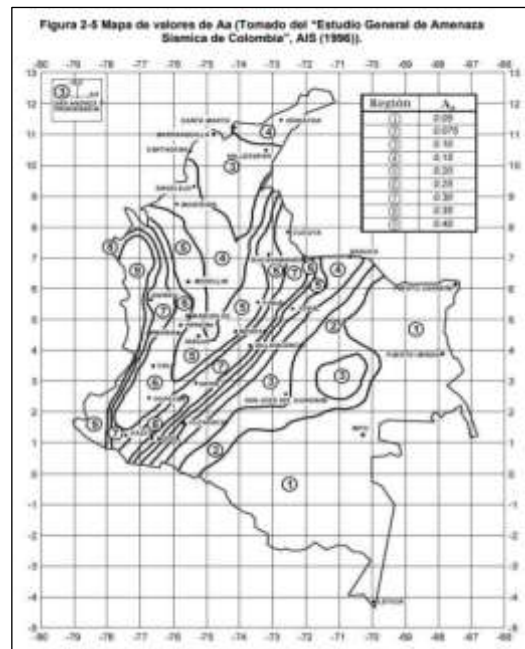


Figura 114. Garzón, Pablo, (2011), Valores del Factor Aa, AIS, Evaluación de la amenaza sísmica de Colombia mediante análisis de valores extremos históricos, Bogotá. Tomado de "Estudio general de amenaza sísmica de Colombia. Recuperado septiembre 15 de 2018 de http://bdigital.unal.edu.co/5110/1/299996.2011_pte.1.pdf

Por otra parte, realizando la consulta en Servicio Geológico Colombiano sobre los eventos de tipo sísmico o geológico ocurridos en el área de Yopal en los últimos años, se corrobora la información en el Sistema de información de movimiento en masa, donde se tiene como resultado que la afectación más frecuente ocurrida para el municipio de Yopal es los desprendimientos y caídas, como se relaciona a continuación.

Sistema de Información de Movimiento en Masa



Figura 115. Servicio Geológico Colombiano: SIMMA, (2002), Sistema de Información de Movimiento en Masa, Sistema de información de movimiento en masa, recuperado el 10 de noviembre de 2018 de <http://simma.sgc.gov.co/#/public/results/>

RESULTADOS				
Inventario (12) Catálogo (7) Visitas (1) Estudios (15)				
-- Columna --				
Tipo movimiento del primer evento	Fecha evento	Departamento	Municipio	Vereda
Flujo	24/09/2013	CASANARE	YOPAL	LA CHAPARRERA
Caída	18/07/2013	CASANARE	YOPAL	YOPAL
Destizamiento	01/10/2012	CASANARE	YOPAL	YOPAL
Destizamiento	01/10/2012	CASANARE	YOPAL	YOPAL
Caída	06/09/2011	CASANARE	YOPAL	LA CHAPARRERA
Destizamiento	12/08/2011	CASANARE	YOPAL	EL MORRO
-- Columna --				
PDF Frecuencia Daños				

Figura 116. Servicio Geológico Colombiano: SIMMA, (2002), Tipos de Movimientos en Masa Presentados en Yopal en los últimos 8 Años, Sistema de información de movimiento en masa, recuperado el 10 de noviembre de 2018 de <http://simma.sgc.gov.co/#/public/results/>

De acuerdo con lo que establece el Servicio Geológico Colombiano, (2013):

- Evolución Geológica

La evolución geológica del área que abarca la Plancha 193-Yopal responde a la evolución de la parte axial de la Cordillera Oriental y a su piedemonte oriental, de esta manera, las unidades geológicas cretácicas aflorantes en el área de estudio responden a los mismos eventos de sedimentación de la parte axial de la Cordillera Oriental.

Sin embargo, desde el Maastrichtiano tardío en adelante la evolución de la sedimentación está asociada al desarrollo de una cuenca de *foreland* (Fabre, 1986, Sarmiento, 2001, Cooper *et al.*, 1995, Gómez *et al.*, 2005, entre otros), que para algunos autores tendría inicio en Maastrichtiano tardío, en el Eoceno, o en el Mioceno.

La secuencia marina cretácica se depositó en una cuenca relacionada a la extensión del Caribe (Fabre, 1986, Cooper *et al.*, 1995 y Sarmiento 2001), en donde se ha reportado con base en material paleontológico, una ingresión marina cretácica de occidente a oriente, entre los paralelos 70 y 80; esta entrada del mar se bifurca hacia el norte en la parte central y formaría una especie de golfo denominado “Golfo de Nunchía” (Etayo *et al.*, 1976).

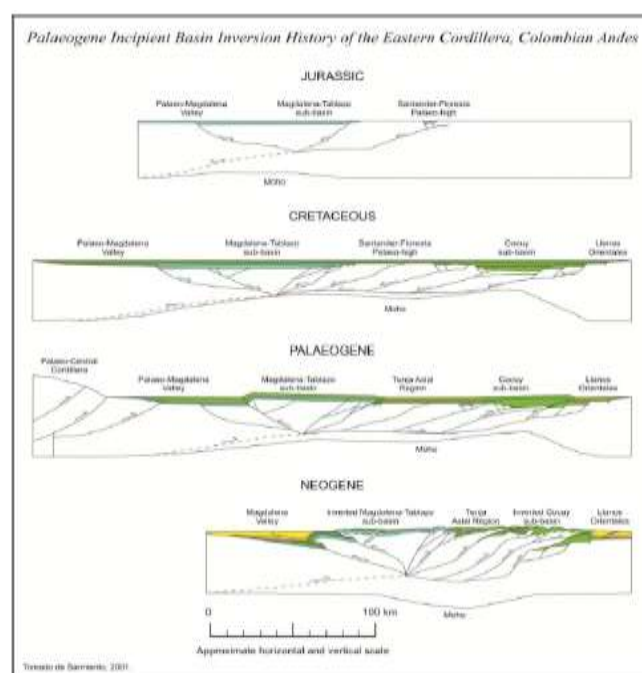


Figura Inversión de la secuencia mesozoica y generación de topografía insipiente del área de estudio en el Paleógeno.

Figura 117. Evolución Geológica, Servicio Geológico Colombiano, (2003) sistema de movimiento en masa.

Conclusiones y Recomendaciones

Realizado el estudio patológico a los ladrillos que recubren doce columnas internas y dos externas de la Alcaldía de Yopal, se encuentra una edificación con la fachada en ladrillo prensado a la vista que está siendo afectada por diversos factores, que de manera directa o indirecta están reduciendo la vida útil de los ladrillos, lo que obliga a la administración municipal a la realización de procedimientos de tipo preventivo y correctivo con el fin de mitigar los daños que se encuentran en los ladrillos.

De acuerdo con las afectaciones encontradas, el principal daño que los ladrillos presentan se debe a lesiones químicas de tipo eflorescencias y criptoefflorescencias, causantes del deterioro o desintegración de la masa de estos.

El paciente presenta las siguientes lesiones: **físicas** como: humedad y descascaramientos; **biológicas** como: musgos, plantas, comején entre otros; **mecánicas** como: grietas en las dos columnas externas; finalmente se encuentran las lesiones **antropogénicas**, producto de la intervención humana, representadas en las modificaciones que han realizado en la edificación con el transcurso de los años y que se han ejecutado de acuerdo a las necesidades del momento, situación que se refleja en algunos elementos que presentan perforaciones que han generado grietas comprometiendo la integridad mecánica de estas piezas.

El estudio patológico realizado al revestimiento en ladrillo de las columnas en mención permitió identificar el grado de afectación de cada pieza, arrojando como principal causa de las lesiones, la humedad permanente, la falta de mantenimiento no sólo de los ladrillos si no de las estructuras de drenaje de la edificación.

Es necesario la realización de un estudio patológico a toda la estructura que contemple ensayos destructivos y no destructivos, lo anterior debido a que este edificio tiene más de 20 años de funcionamiento por lo que no cumple con la norma más reciente de sismo resistencia NSR-10 y presenta cambios al diseño original que debió modificar el centro de gravedad. Mediante el trabajo realizado a los ladrillos se evidenció condiciones que ameritan el estudio detallado de todos los elementos, lo que se logra a través de un estudio patológico.

Los árboles existentes en el patio son bastante frondosos y altos, se determina que son una de las causas para la constante exposición a la humedad del ladrillo de revestimiento.

Las eflorescencias y las criptoflorescencias son generadas en un material cuando está sometido constantemente a la humedad o expuesto directamente al agua, en algunos casos esta patología puede conllevar a la destrucción del material, situación que presenta varias piezas de las estudiadas en este paciente.

Los daños identificados en el revestimiento en ladrillo de las columnas han comprometido las propiedades mecánicas de cada uno de estos elementos lo que puede provocar posibles desprendimientos que pueden afectar a las personas que transitan cerca a estos.

Se presentan dos propuestas de intervención y costos asociados, la primera consiste en el reemplazo únicamente de las piezas afectadas en aquellas columnas cuyo revestimiento no está en un 100% comprometido; la segunda propuesta es el reemplazo total del ladrillo de revestimiento de cada columna.

El reemplazo de los ladrillos que sufren de eflorescencias y criptoflorescencias, debe hacerse luego del secado del revestimiento, para el caso de nuestra patología se realiza el presupuesto de la intervención a las columnas del edificio, esta actividad tiene un costo de \$29.705.788.

En la segunda opción se plantea el cambio total de los ladrillos que recubren las columnas, teniendo en cuenta el grado de afectación que tiene algunas columnas como son el elemento ocho, cinco y dos, las cuales presentan una afectación de más del 40%, esta actividad tiene un costo de \$98.061.410.

El acabado en las juntas del mortero de pega y ladrillos debe ser aplicado con técnica de tal forma que garantice un buen terminado, superficie lisa y compacta, sin porosidades por las cuales pueda ingresar fácilmente el agua desde el exterior.

En lo posible para el mortero de pega usar cemento con bajo contenido en álcalis, teniendo en cuenta que estos aportan sales, que con el tiempo y la humedad los disuelve

generando un ambiente propicio para la aparición de eflorescencias y criptoeflorescencias.

La limpieza de la superficie en todo el revestimiento es fundamental y debe realizarse con el fin de remover las manchas, hongos, plantas y demás afectaciones que pueden ser removidas a través de un lavado hecho por un profesional competente en el tema y recomendable ejecutarlo en época de verano.

Antes de implementar la intervención considerada por el propietario del paciente, es necesario atacar las causas que generan el alto grado de humedad en la edificación.

Al realizar el cambio del ladrillo, es importante que en la obra o en el sitio de almacenamiento o disposición de este, no se coloque directamente en el suelo, con esto se evita que el ladrillo se contamine con los diferentes factores ambientales o sales que se podrían disolver; los ladrillos deben mantenerse secos y la arena que se use para el mortero no debe estar contaminada con materia vegetal.

Es importante revisar con el proveedor del ladrillo las materias primas del mismo con el fin de conocer el contenido de sales que estos contienen para adaptar la solución de impermeabilización adecuada y el plan de mantenimiento obligatorio.

Un dato importante y útil para el tratamiento de las lesiones es determinar la composición química de la eflorescencia con el fin de encontrar la solución adecuada que disuelva de forma fácil la eflorescencia sin afectar más el ladrillo, lo anterior, se logra a través de ensayos químicos.

En caso de decidir usar algún químico para limpiar los ladrillos que están sanos o poco afectados, debe enjuagarse completamente con agua, asegurando de eliminar el 100% del producto.

Si en el transcurso de la intervención llueve es de gran importancia proteger los ladrillos resguardándolos de la lluvia.

Colocar donde sea necesario aleros, vierteaguas, albardillas con objeto de evitar un aporte excesivo de agua en tiempo de lluvia al revestimiento.

La eflorescencia se puede minimizar mediante una selección informada de materiales, detalles de diseño cuidadoso y buenas prácticas de construcción.

Las bases de los muros y las columnas deben ser protegidas de la salpicadura de agua, barro o mortero, colocando una barrera a 60 o 90 centímetros de la pared.

Es importante que la finalizar la construcción de juntas, el residuo que pueda quedar sobre el ladrillo deber ser retirado con un cepillo de cerdas metálicas, y evitar frotar o presionar las partículas del mortero sobre el ladrillo cuando se este limpiando.

Es de vital importancia la realización de ensayos para verificar el estado del concreto y del acero relacionados con los parámetros como resistencia, estado de aceros, esfuerzos, es decir, comportamiento estructural de las columnas, debido a que el recubrimiento es una carga adicional para el elemento por lo tanto la estructura debe ajustarse para cumplir los requisitos de la NSR-10.

Se debe verificar por medio de regatas si en las columnas estudiadas hay canales de drenaje de aguas lluvias empotradas y se recomienda la eliminación de estos y su adecuación en la parte externa y así evitar una de las causantes de la patología.

Las plantas sembradas cercanas a las columnas deben retirarse y trasplantarse a materas individuales con el fin de quitarle humedad que naturalmente aportan.

Es importante iniciar con el seguimiento a la fisura identificada en el elemento 8 parte interna en la base del segundo piso identificada al final de este estudio, hay fractura de ladrillo por lo que no sabemos si la grieta está o no activa.

Es necesario detener el daño que el hombre ha generado en la estructura, se encuentran muchas lesiones de este tipo, las que en algunas ocasiones comprometen los parámetros de resistencia de los elementos, debido a que hay perforaciones que generan fractura en los ladrillos, suciedad, anclajes que cambian la resistencia del material y que de acuerdo con la norma NSR-10 estos elementos no estructurales deben ajustarse a los requerimientos que esta solicita.

Se recomienda realizar una inspección minuciosa de la cubierta, implementando todas las medidas de seguridad industrial para trabajo en alturas, de acorde con la normatividad colombiana para identificar puntos donde se presenta filtraciones, lo anterior debido a que durante la realización de este trabajo se evidenciaron humedades en las instalaciones del edificio.

Se recomienda continuar con el seguimiento a las grietas en los elementos uno y dos (externas analizadas) y continuar con el registro.

El mortero para usar como pega en los ladrillos debe garantizar una buena adherencia entre el concreto y el ladrillo.

Para proyectos nuevos y con el fin de evitar la absorción de sales del suelo, existen unas barreas antihumedad que son herramientas que permiten reducir la aparición de las patologías asociadas a esta.

Bibliografía

Portland Cement Association, Trowel tips information, (2004), Illinois, recuperado de (http://www.cement.org/docs/default-source/fc_mat-app_pdfs/masonry/is239-pca-efflorescence.pdf).

Eflorescencias en fachadas – (junio 24 de 2011), cap. 43, Madrid, recuperado de (<https://www.asefa.es/comunicacion/patologias/43-eflorescencias-en-fachadas>) agosto 15 2018.

Normativa de ladrillos y bloques, (octubre de 2014), Madrid, recuperado de (<http://www.madrid.org/bdccm/normativa/PDF/Ladrillos%20y%20bloques/Compendio/CPLADR.pdf>) Junio 20 de 2018.

John A. Koski, Removing efflorescence, (1993), publication #M920174, recuperado de [file:///C:/Users/Aplus/Downloads/Concrete%20Construction%20Article%20PDF %20Removing %20Efflorescence%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Aplus/Downloads/Concrete%20Construction%20Article%20PDF%20Removing%20Efflorescence%20(2).pdf) 17 de agosto de 2019.

Ricardo Fombella Guillén, (s. f.) Eflorescencias en las fachadas de ladrillo cara vista.

D. Jorge J Osuna Marcos, (abril 1998), Estudio general sobre eflorescencias en obra, Madrid.

D. Paula López Arce, (2008), Daños por cristalización de sales, Madrid.

The brick industry association, (junio 2006), Eflorescence – causes and prevention.

Broto Charles, Enciclopedia broto de la construcción, (s.f.).

Masonry Institute American, (2011), Madrid, recuperado de <https://www.asefa.es/comunicacion/patologias/43-eflorescencias-en-fachadas> el 05 de mayo de 2018.

Toxement , (s. f.), Tecnología de aditivos para prefabricados de concreto.