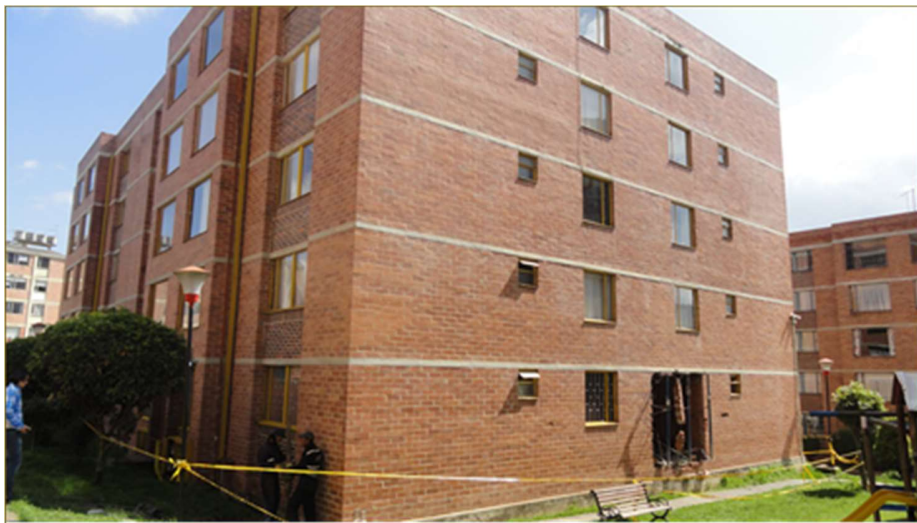


TRABAJO PROFESIONAL INTEGRADO (TPI)

ESTUDIO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL PARA UNA EDIFICACIÓN DE CINCO PISOS, GENERADA POR UNA EXPLOSIÓN, CON SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CARGA, LOCALIZADO EN EL BARRIO LA FLORIDA DE LA CIUDAD DE TUNJA - BOYACÁ

ELIZABETH MAHECHA VALERO & ÁLVARO NIÑO GONZÁLEZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

VICERRECTORÍA UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA

ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

BOGOTA - MAYO 2019

TRABAJO PROFESIONAL INTEGRADO (TPI)

**ESTUDIO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL PARA UNA EDIFICACIÓN DE
CINCO PISOS, GENERADA POR UNA EXPLOSIÓN, CON SISTEMA
ESTRUCTURAL DE MUROS DE CARGA, LOCALIZADO EN EL BARRIO LA
FLORIDA DE LA CIUDAD DE TUNJA - BOYACÁ**

WALTER MAURICIO MARRETO CASTILLO

Revisor trabajo de grado

ESPECIALISTA EN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

VICERRECTORÍA UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA

ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

BOGOTA - MAYO 2019

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá 14 mayo de 2019

Tabla De Contenido

Introducción	1
Formulación Del Problema	4
Justificación.....	5
Objetivos	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos.....	6
Marco De Referencia	7
Teórico	7
Legal.....	13
Histórico	13
Conceptual.....	16
Alcance Y Limitaciones	18
Historia Clínica	18
Diagnostico	19
Diseño de Intervención	20
Metodología	21
Selección Paciente.....	21
Desarrollo De Actividades.	21
Historia Clínica	23
Descripción Del Paciente.	23
Levantamiento De Lesiones	33
Diagnóstico	36
Ensayos De Campo	36

Análisis Geotécnico.	45
Verificación Del Estado Actual De La Estructura	59
Evaluación Estructura Existente: Vulnerabilidad Sísmica Estructural	61
Diseño De Intervención Y Alternativa De Refuerzo Sísmico	66
Índice de sobreesfuerzo de la estructura NSR10:	66
Índice de flexibilidad NSR10:.....	66
Análisis De Precios Unitarios y Presupuesto.	68
Observaciones, Recomendaciones Y Conclusiones.....	70
Ensayos o Pruebas De Campo.....	70
Condiciones Geotécnicas	70
Verificación Del Estado Actual De La Estructura	71
Evaluación Estructura Existente (Vulnerabilidad Sísmica Estructural).....	72
Diseño De Intervención NSR-10	73
Recomendaciones Constructivas De Intervención De Las Actividades Relevantes.....	74
Recomendaciones Para la Intervención.	76
Presupuesto.	77
Referencias	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de excitación Dinámica.	12
Figura 2. Etapas de patología de la construcción aplicable al presente estudio.....	22
Figura 3. Cuadro general de áreas del Conjunto Multifamiliar Florida Parque.....	23
Figura 4. Implantación Urbanística y arquitectónica Multifamiliar Florida Parque.....	25
Figura 5. Planta arquitectónica planta Bloque 8, apto 104 afectado por explosión	26
Figura 6. Distribución arquitectónica en alzado	27

Figura 7. Detalle refuerzo cimentación viga T invertida.	28
Figura 8. Cimentación Bloque, conformada por vigas T invertida.....	29
Figura 9. Losa de entrepiso.....	30
Figura 10. Detalle refuerzo losa entrepiso y vigas.....	31
Figura 11. Formato para registro de lesiones.....	35
Figura 12. Determinación de pruebas esclerométricas en elementos estructurales.	38
Figura 13. Resultados mediciones de potenciales de corrosión.....	42
Figura 14. Clasificación de las unidades de construcción por categorías.....	45
Figura 15. Columna estratigráfica, sondeo 1.	50
Figura 16. Columna estratigráfica, sondeo 2..	51
Figura 17. Bloque estratigráfico aproximado al subsuelo del proyecto.....	53
Figura 18. Clasificación unificada de suelos – Clasificación Aashto.....	54
Figura 19. Clasificación de suelos expansivos.....	54
Figura 20. Esquema de cimentación torre 8 costados sur oriental y sur occidental.....	56
Figura 21. Valores de ϕ_c y ϕ_e	60
Figura 22. Derivas de piso Máximas. NSR-98.	65
Figura 23. Derivas de piso Evaluación Existente.....	65
Figura 24. Derivas de piso Máximas. NSR-10.	66
Figura 25. Derivas de piso Diseño de intervención.	67

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Estado exterior del bloque 8.	27
Foto 2. Detección acero de refuerzo.....	37
Foto 3. Pruebas de Esclerometría en Viga de amarre.	38
Foto 4. Detalle de la extracción de núcleos en la viga de amarre..	39
Foto 5. Detalle de uno de los núcleos extraídos.....	39
Foto 6. Contaminación en núcleo de concreto.	39

Foto 7. Ensayo para determinar la profundidad de carbonatación en el concreto.	41
Foto 8. Medición de potenciales de corrosión con media celda de cobre sulfato.	43
Foto 9. Exploración de losetas sobre viga.....	43
Foto 10. Toma de Muestras del suelo zona occidental..	46
Foto 11. Toma de Muestras del suelo zona oriental.....	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Cálculo potencial de corrosión.....	42
Tabla 2. Numero de ensayos de laboratorio realizados en cada sondeo.	48
Tabla 3. Valores de sismicidad	55
Tabla 4. Capacidad Portante con un desplante de -0.7 metros.....	56
Tabla 5. Asentamientos inmediatos a -0.7 m. Cimientos aislados.....	57
Tabla 6. Presupuesto Diseño de Intervención.	68

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Planos Arquitectónicos Existentes.
Anexo 2. Planos Estructurales Existentes.
Anexo 3. Registro Fotográfico estado actual edificación.
Anexo 4. Levantamiento de Lesiones.
Anexo 5. Resultados Ensayos de Campo.
Anexo 6. Análisis Geotécnico.
Anexo 7. Memorias estructurales evaluación existente.
Anexo 8. Índices de Sobre esfuerzo evaluación existente.
Anexo 9. Memorias estructurales diseño de intervención.
Anexo 10. Índices de Sobre esfuerzo diseño de intervención.
Anexo 11. Planos Estructurales Levantamiento Estado Actual.
Anexo 12. Planos Estructurales Diseño de intervención.
Anexo 13. Análisis de Precios Unitarios.

Introducción

El estudio de la patología en la construcción ha contribuido significativamente en la recuperación, reparación, rehabilitación, restauración y/o mantenimiento de las edificaciones, que por su naturaleza han presentado pérdida total o parcial de su funcionalidad. Es importante identificar que la patología en la construcción está marcada por el desarrollo sistemático de actividades: en una primera etapa por la historia clínica, donde se recopila información e indaga sobre el paciente al estado en el cual se encuentra; seguido por la etapa de diagnóstico, la cual determina, con una adecuada investigación y auscultación de la edificación y con el mejor juicio de los profesionales a cargo, las causas que generan el malestar presente y dando como alternativa, la tercera etapa, un juicio de intervención el cual se espera corresponda a la implementación de proteger la edificación y garantizar su funcionamiento para el cual fue estudiada.

Cuando se desarrollan las etapas de la patología, existe siempre una razón de ser, el fin para el cual se determina el alcance del estudio, que en la mayoría de casos corresponde a garantizar un excelente comportamiento arquitectónico y estructural estético, estable, resistente, funcional y óptimo.

En algunos casos las patologías obedecen a alcances arquitectónicos, como humedades, filtraciones, manchas, deterioro de acabados, hongos, entre otras, y en otros casos con mayor relevancia a patologías estructurales como fisuras, grietas, hundimientos, asentamientos diferenciales, deflexiones excesivas, desprendimiento de elementos, descascaración de concreto, pérdida de sección de elementos estructurales, corrosión del acero, carbonatación del concreto, entre otras. Lo importante siempre de identificar las lesiones es atacar su causa, de tal manera que se logre frenar y evitar continuar su daño.

Identificar la causa de las lesiones establece precisar el alcance del estudio de patología pronosticando que posibles tipos de diseño de intervención requiera la edificación para su funcionalidad.

En este estudio se presenta el caso de una explosión en el primer nivel de una edificación de cinco pisos con sistema estructural en Mampostería Estructural Reforzada de ladrillo a la vista en arcilla cocida, ocasionando infortunadamente dos víctimas fatales y graves daños estructurales en la edificación, haciendo necesaria su evacuación. El proyecto se encuentra localizado en el conjunto multifamiliar Florida Parque de la ciudad de Tunja.

El proyecto fue diseñado y construido bajo los requisitos de las Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistentes NSR-98, y su estado actual se considera como una edificación relativamente nueva y en buen estado constructivo. Teniendo en cuenta la afectación de la estructura y la intención del propietario, se propone evaluar la edificación y realiza el estudio de Vulnerabilidad Sísmica, de acuerdo a los requisitos establecidos en el Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, se busca actualizar la edificación a la norma vigente de sismo resistencia.

Este estudio desarrolló las etapas de la patología: Historia Clínica, Diagnóstico y Diseño de Intervención con presupuesto, con las siguientes actividades: Historia Clínica Recopilación de información de estudios y diseños con disposición de planos arquitectónicos y estructurales, toma de registro fotográfico, realización de levantamiento de lesiones. Diagnóstico, realización de ensayos de campo de extracción de núcleos de concreto, esclerometrías, potenciales de corrosión, detección de refuerzos y medición de carbonatación en el concreto; realización de análisis geotécnico, verificación del estado actual de la estructura, evaluación de la estructura existente,

vulnerabilidad sísmica estructural. Diseño de Intervención, cumplimiento de la NSR-10 y presupuesto de intervención.

Se presentan observaciones y conclusiones a los resultados del estudio de patología estructural y se dan recomendaciones a la propuesta de intervención.

Anexo a este informe, se relaciona: Planos arquitectónicos existentes, planos estructurales existentes, registro fotográfico del estado actual de la edificación, levantamiento de lesiones, resultados ensayos de campo, análisis geotécnico, memorias estructurales evaluación existente, índices de sobre esfuerzo evaluación existente, memorias estructurales diseño de intervención, índices de sobre esfuerzo diseño de intervención, planos levantamiento estructural estado actual, planos estructurales diseño de intervención y análisis de precios unitarios propuesta de intervención.

El resultado del estudio de patología estructural para la edificación bloque 8 del conjunto multifamiliar Florida Parque, es lograr el cumplimiento de la NSR-10, mediante un diseño de intervención de reforzar la estructura existente.

Formulación Del Problema

Se presentan daños estructurales en una edificación a causa de una explosión, poniendo en alto riesgo su estabilidad y la vida de las personas que la habitan. Debe ser intervenida y desalojada de manera inmediata.

La edificación fue diseñada y construida bajo los lineamientos de la anterior norma sismo resistente NSR-98, y de acuerdo a lo dispuesto por las normas de sismo resistencia para el país, la edificación debe actualizarse frente a los requisitos de la norma NSR-10, mediante el estudio de vulnerabilidad sísmica estructural, como parte del estudio de Patología Estructural.

Debe proponerse un sistema de refuerzo estructural que garantice la resistencia y la estabilidad de la edificación, para lo cual se emplea los requisitos del actual reglamento colombiano de construcciones sismo resistente NSR-10.

Justificación

Colombia cuenta con un reglamento de construcciones sismo resistente muy exigente en su cumplimiento, a tal punto que es Ley y su incumplimiento acarrea sanciones civiles y penales. Sin embargo, es de anotar que pese a considerar diferentes cargas, como las impuestas por el uso de la estructural: muerta, viva, empujes, presiones y las ocasionadas por eventos extremos como sismo y viento, no contempla las que se dan por acciones terroristas por explosiones e impacto.

Los eventos extremos ocasionados por explosiones generan gran cantidad de energía liberando ondas de presión positiva (sobrepresión), seguida de una onda negativa de presión (hipopresión), ocasionando un movimiento de masas de aire, reflejándose en objetos y personas, presentando los daños que se han visto por la acción de la explosión.

En el conjunto residencial Florida Parque edificación bloque 8 apartamento 104 de la ciudad de Tunja, se ha presentado un evento extremo por explosión debido a la manipulación ilegal de productos químicos explosivos, ocasionando infortunadamente dos víctimas fatales y la destrucción parcial de dicho apartamento, poniendo en alto riesgo la estabilidad de la estructura del bloque 8.

Ocurrido el evento extremo por explosión se instaló de manera inmediata un sistema de apuntalamiento mediante parales y cerchas metálicos, los cuales permitieron estabilizar temporalmente la estructura de la edificación.

Debido a la gravedad de los daños estructurales la edificación fue evacuada en su totalidad y reubicadas las 20 familias que habitan en el bloque 8, hasta tanto no se adelante estudios técnicos de patología estructural y se lleve a cabo su rehabilitación estructural.

Objetivos

Objetivo General

Realizar el estudio de Patología Estructural para una edificación de cinco pisos, generada por una explosión, con sistema estructural de Muros de Carga, en Mampostería Estructural Reforzada, cumpliendo con los requisitos del reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10, localizado en el barrio la Florida de la ciudad de Tunja.

Objetivos Específicos

Realizar levantamiento de lesiones de la estructura, mediante fichas patológicas a causa de la explosión.

Realizar ensayos de campo destructivo y no destructivo a fin de identificar las propiedades mecánicas de los materiales que componen la estructura y el suelo de soporte.

Identificar el estado actual y evaluación de la estructura, de acuerdo a los requisitos de la norma sismo resistente NSR10.

Diseñar una propuesta de intervención que cumpla con los requisitos de la norma sismo resistente NSR10.

Estimar el costo de la intervención.

Marco De Referencia

Teórico

El estudio de la patología busca comprender la causa y efecto de los daños o lesiones que se presentan en las construcciones debido a múltiples factores, y cuya solución propone normalmente, reestablecer su funcionalidad. Para permitir la funcionalidad de una construcción a ser intervenida, se pueden dar multiplicidad de soluciones y en particular afines a los materiales que conforma la construcción y esencialmente su estructura.

Dependiendo del tipo de material estructural y de la característica del sistema de resistencia sísmica se establecen los grados de capacidad de disipación de energías mínimos (DES, DMO, DMI), que debe cumplir el material en las diferentes zonas de amenaza sísmica. (Rochel Awad, 2012).

Sistemas Estructurales.

Los sistemas estructurales de resistencia sísmica para edificaciones, que reconoce la NSR-10 son:

Sistema de pórticos: compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales.

Sistema de muros de carga: que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales.

Sistema combinado: se presenta dos casos.

- Las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos, esencialmente completo, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales.

- Las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, esencialmente completo, combinado, con muros estructurales o pórticos con diagonales que no cumplen los requisitos de un sistema dual.

Sistema Dual: es un sistema estructural que tiene un pórtico espacial resistente a momentos y sin diagonales, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales. Para que el sistema se pueda clasificar como sistema dual se deben cumplir los siguientes requisitos.

- El pórtico espacial resistente a momentos, sin diagonales, esencialmente completo, debe ser capaz de soportar las cargas verticales.
- Las fuerzas horizontales son resistidas por la combinación de muros estructurales o pórticos con diagonales, con el pórtico resistente a momentos. El pórtico resistente a momentos, actuando independientemente, debe diseñarse para ser capaz de resistir como mínimo 25% del cortante sísmico en la base.
- Los dos sistemas deben diseñarse de manera que actuando en conjunto sean capaces de resistir la totalidad del cortante en la base, en proporción a sus rigideces relativas, considerando la interacción del sistema dual en todos los niveles de la edificación. Pero en ningún caso la responsabilidad de los muros estructurales, o de los pórticos con diagonales, pueden ser menor del 75% del cortante sísmico en la base.

Los muros de carga

Para edificaciones descritos también en la NSR-10, hacen parte de un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales.

Existen diversas alternativas de muros que pueden clasificarse dentro de éste sistema: los muros de concreto o de bloques de concreto y la mampostería de arcilla de varios tipos que se va uniendo mediante pega de mortero. La mampostería puede ser bloques macizos o con perforaciones. La mampostería sin refuerzo no se permite en zonas sísmicas intermedia y alta. Una alternativa es el uso de la mampostería confinada con lo cual se consigue que los muros tengan no sólo resistencia sino también rigidez y estabilidad.

Otra alternativa es el uso de mampostería reforzada con bloques que tengan perforaciones verticales que se utilizan para la colocación del refuerzo cuando el muro se encuentre levantado en el piso bajo construcción. Las celdas que contienen el refuerzo vertical comúnmente se denominan dovelas que se llenan con un mortero de determinadas características usualmente llamado por su nombre en inglés “grouting”. De manera complementaria al refuerzo vertical se requiere el refuerzo horizontal espaciado según el diseño, pero sólo es efectivo el refuerzo que efectivamente quede embebido dentro del mortero de pega horizontal de los bloques.

Preferiblemente los muros deben disponerse en cada dirección de manera que la suma de longitudes en una dirección sea semejante a la longitud en la otra dirección. De esta manera se tendrá facilidad de cumplir los requerimientos de resistencia en cada una de las direcciones ortogonales. Dependiendo de las características y dimensión de los bloques de mampostería que se usen, debe definirse la arquitectura de forma tal que la medida de los espacios sea derivada del uso de bloques enteros o medios. Actualmente la industria nacional ofrece una variedad de unidades para cumplir los requerimientos que le impone la arquitectura a este sistema.

Existe la creencia de que la mampostería reforzada es una forma económica de eliminar la estructura. La verdad es otra: este sistema requiere personal calificado y extremas medidas de supervisión y calidad que garantice cada paso del proceso constructivo puesto que si bien es cierto

que al terminar el muro queda finalizada la estructura, su adecuado comportamiento dependerá de la calidad de los bloques, de la acertada colocación del refuerzo no solo del vertical sino también del horizontal y del correcto uso del material de relleno de las dovelas. De otra parte, la arquitectura de cada piso debe ser la misma por lo que el uso de sótanos o semisótanos para parqueaderos es un inconveniente que se resolvería de manera costosa realizando una placa de transición, por lo cual la NSR- 10 prohibió este sistema estructural sobre la base de pésimos comportamientos en edificaciones construidas dentro y fuera del país. (Argos, Sistema estructural Muros de Carga, 2018).

Acción de Solicitaciones sobre estructuras de edificación.

El objeto de una construcción urbana es crear espacios en los que se habite y trabaje en condiciones adecuadas de seguridad y confort. Para lograrlo, la estructura debe tener:

Resistencia suficiente para soportar la combinación suficiente de efectos producidos por cargas verticales, de viento y de sismo.

Rigidez adecuada para que sus deformaciones, bajo esos efectos, no sean excesivas, con lo cual se evita el pánico entre los ocupantes, al menos en temblores de baja intensidad, se reducen los daños en elementos no estructurales y en instalaciones, y se regulan los efectos de segundo orden, provenientes de la interacción de cargas verticales y desplazamientos horizontales, que pueden influir de manera significativa en la resistencia de estructuras flexibles y propiciar inclusive fallas por inestabilidad.

Ductilidad suficiente para que en caso de que las cargas del sismo llegasen a superar los valores estimados para el diseño, la estructura se deforme en el rango inelástico, con graves daños en los elementos tanto estructurales como no estructurales, pero sin colapsar.

“Las cargas muertas y vivas se determinan, en general, con relativa precisión. En cambio, las incertidumbres relativas a las acciones producidas por viento y sismo son muy grandes, pues se trata de fenómenos naturales que el hombre no controla. Sin embargo, los vientos intensos son frecuentes y se conoce mucho sobre ellos, lo que permite determinar sus valores de diseño de manera confiable; mas no sucede lo mismo con los sismos, cuyas intensidades y características son impredecibles”. (Rochel Awad, 2012)

Tipos de excitación dinámica

“Toda estructura se ve afectada muchas veces durante su vida por efectos dinámicos que van desde magnitudes despreciables, hasta efectos que pueden poner en peligro su estabilidad. Dentro de los tipos de excitación dinámica que pueden afectar una estructura, o un elemento estructural ver Figura 1, pueden ser:” (García Reyes, 1998)

Causada por equipos mecánicos: Dentro de este grupo están los efectos causados por maquinarias y equipos que tengan componentes que roten o se desplacen periódicamente.

Causada por impacto: El hecho de que una masa sufra una colisión con otra, induce una fuerza impulsiva aplicada sobre las dos masas, la cual induce vibraciones.

Causada por explosiones: Una explosión produce ondas de presión en el aire, o movimientos del terreno. Ambos efectos afectan estructuras localizadas cerca del lugar de la explosión.

Causada por el viento: La intensidad de las presiones que ejercen el viento sobre las estructuras varía en el tiempo. Esto induce efectos vibratorios sobre ellas.

Causada por olas: En las estructuras hidráulicas las olas inducen efectos dinámicos correspondientes a las variaciones del empuje hidráulico sobre ellas.

Causada por sismos: El efecto sobre las estructuras de los movimientos del terreno producidos por la ocurrencia de un sismo conduce a vibraciones importantes de la estructura.

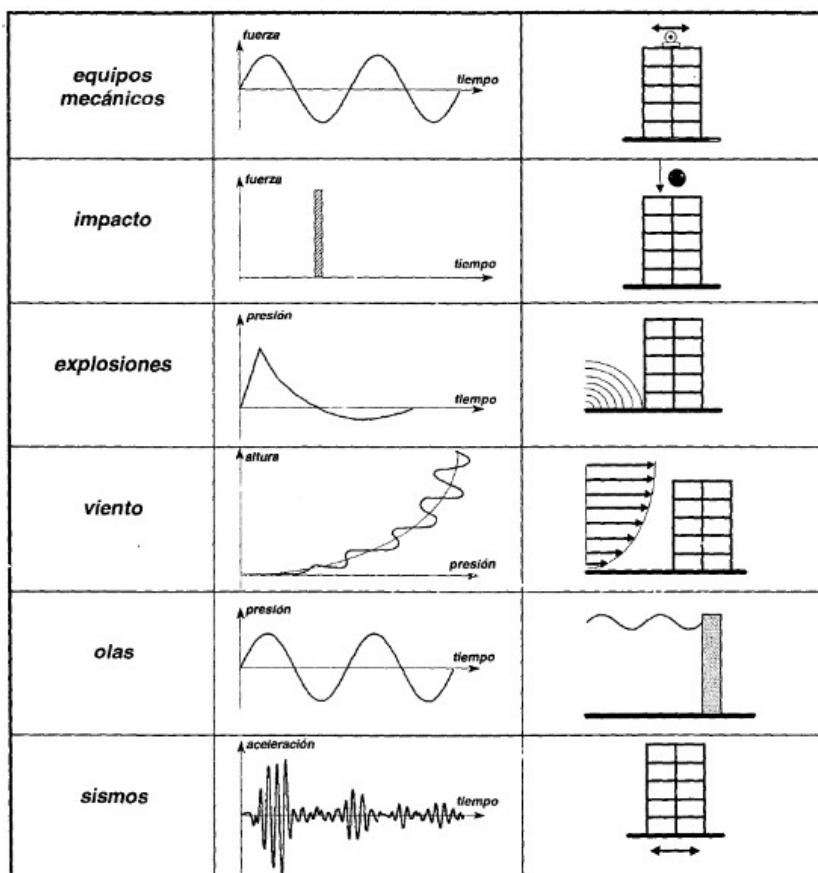


Figura 1. Tipos de excitación Dinámica. (Fuente. Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico).

Las estructuras civiles generalmente no son diseñadas para resistir cargas dinámicas de muy corta duración y gran amplitud generadas por explosiones e impacto. Los explosivos son materiales compuestos o mezclas de sustancias en estado líquido, gaseoso, sólido que por medio de reacciones químicas óxido-reducción son capaces de transformarse en un tiempo muy breve del orden de una fracción de milisegundo, en productos gaseosos y condensados, cuyo volumen inicial se convierte en una masa gaseosa que llega a alcanzar altas temperaturas y elevadas presiones. Así los explosivos comerciales son una mezcla de sustancias, combustible y oxidante, que dan lugar a una reacción exotérmica muy rápida que genera una serie de productos gaseosos a alta temperatura y presión químicamente estable, y que ocupan un mayor volumen aproximadamente de 1.000 a 10.000 veces mayor que el volumen original del espacio donde se alojó el explosivo.

Existe mayor riesgo que una estructura se enfrente a una explosión que a un incendio, ocasionando pérdidas humanas y económicas importantes, sin adoptar las medidas necesarias para prevenirlo o protegerlo.

Al hablar de explosión se incluye el término detonación debido a que es un tipo de reacción del explosivo que produce ondas de choque de gran intensidad. El explosivo al estar en contacto con el material o muy cerca de éste, las ondas de presión producen el aplastamiento o desintegración del material, conocido normalmente como efecto brisance, que significa la potencia explosiva o potencia rompedora, considerada como una medida de la rapidez con que un explosivo desarrolla su máxima presión (Luccioni, Ambrosini, & Danesi, 2003).

Legal

El diseño y construcción de edificaciones con sistema estructural de muros de carga en mampostería estructural reforzada, está normalizada por el Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, título D.

Es importante señalar que el Reglamento NSR-10 no incorpora la acción de cargas proveniente por explosiones.

Se citan algunos aspectos relevantes de la Mampostería estructural del Reglamento NSR-10, los capítulos: D.1, D.2, D5 y D8. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2017)

Histórico

Con el transcurrir del tiempo se utilizaron diferentes materiales para dar uso a la mampostería, algunos de estos materiales fueron.

Mampostería en roca: la primera mampostería fue un conjunto de agregados naturales, que eran unidos usando la tierra como mortero entre ellos. Actualmente el uso que se da a estas rocas no es

precisamente con fines estructurales, sino con fines arquitectónicos. El basalto y el granito son las rocas más comúnmente utilizadas en las construcciones con mampostería.

Mampostería de arcilla: el uso de los ladrillos de arcilla en las construcciones tuvo inicio hace aproximadamente 10.000 años. Los ladrillos secados al sol fueron usados en algunas ciudades como Babilonia, Egipto, España, centro y Sudamérica. “La palabra adobe, que proviene del árabe “atob” significada ladrillo secado al sol. El proceso de fabricación de ladrillos en Europa, tomaba un largo tiempo, ya que se requería que los ladrillos secados al sol tuvieran al menos cinco años antes de ser utilizados en las diferentes construcciones”. (Roballo Diaz, 2016)

Mampostería de silicato de calcio: en el pasado, los ladrillos de silicato de calcio se hacían moldeando al mortero de limo en forma de cubo o ladrillo y posteriormente dejándolo secar al sol. En los estados unidos, en 1866, con la introducción del vapor, el proceso de producción se aceleró considerablemente. En Alemania, en 1894, la presión de vapor fue utilizada para acelerar el curado de las unidades de silicato de calcio y el resultado de esto fue la producción masiva de este tipo de mampuesto.

Mampostería de concreto: Los primeros bloques de concreto no fueron muy populares, debido a que era macizos, y por lo tanto eran demasiado pesados, las técnicas para fabricar este tipo de bloques con huecos se desarrolló alrededor de 1866. En 1914, el vaciado mecánico remplazo al proceso manual y en 1924 se introdujo la primera máquina mezcladora al proceso de producción. Un avance mucho más importante se logró en 1939 cuando se introdujo los vibradores de concreto, ya que gracias a esto se generaban unidades mucho más uniformes y resistentes. Las técnicas de curado también progresaron, se reemplazó el curado al sol por curado con vapor de agua, curado con vapor de presión atmosférica y curado con vapor de alta presión o presión en autoclave.

El desarrollo posterior de la mampostería se presentó cuando se introdujo el concepto de la mampostería reforzada, este concepto es acreditado a Marc Brunel, un ingeniero civil de la ciudad de Nueva York. Aparentemente, Brunel dio a conocer este concepto en 1813, pero solo se puso en práctica hasta 1825.

Este sistema estructural permite una reducción en los desperdicios de material empleados y genera fachadas portantes; es apta para construcciones de hasta 6 pisos. Las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias se pueden desarrollar dentro de las celdas de la mampostería, lo cual es ventajoso en muchos casos. Se considera que la mampostería estructural conforma un sistema con buen aislamiento térmico y acústico.

La mampostería reforzada limita el uso de espacios con una amplia variedad de estilos desde el punto de vista arquitectónico, y no es posible realizar modificaciones una vez habilitada, puesto que la mayoría de los muros son estructurales.

Este sistema estructural tuvo éxito cuando se observó que la mampostería sin refuerzo no soportaba las cargas horizontales generadas por un sismo, una vez estas estructuras fallaban o se derrumbaban se empezó a evidenciar que los muros también estaban sometidos a flexión, por esta razón empezó a implementarse los refuerzos tanto vertical como horizontal en los muros de mampostería.

A causa de fallas estructurales debido a sismo como se acaba de evidenciar, en Colombia en el año de 1984 se implementa el decreto ley 1400 con viviendas bajo el sistema de mampostería estructural, ya que era una solución más económica que las a porticadas y este sistema contaba con buenos antecedentes constructivos.

En 1998 se implementó este sistema constructivo en la norma sismo resistente, en donde se dieron a conocer pautas y exigencias para que una vivienda se encontrara dentro de los límites de seguridad ante la eventualidad de un sismo.

Se implementó técnicas de diseño y construcción que lograron mejorar este sistema estructural, dando mayor seguridad. En el 2010 se actualizó la norma sismo resistente, implementando el diseño por resistencia última para el sistema estructural de muros de carga, mampostería estructural reforzada.

Conceptual

“La mampostería estructural es un sistema compuesto por bloques de arcilla u otros materiales que conforman sistemas monolíticos que pueden resistir cargas de gravedad, sismo y viento” (Argos, Mampostería Estructural, 2018).

Este sistema está básicamente fundamentado en la construcción de muros colocados a mano, de perforación vertical, reforzadas internamente con acero estructural y alambres de amarre, los cuales cumplen todas las especificaciones propuestas en el Título D de la NSR-10. Las celdas de las unidades de mampostería se pueden rellenar parcial o completamente con mortero de relleno.

Recomendaciones constructivas:

- Los bloques se pegan con un mortero en capas de 1 cm de espesor, el cual puede variar en +/- 4mm. Estos se colocan en traba (desplazado) para que de este modo se pueda tener un comportamiento apropiado al terminar las piezas entrelazadas.
- Se emplea refuerzo estructural embebido en cimentación, garantizando integridad de los muros estructurales.
- Construida la cimentación, de acuerdo al diseño estructural del proyecto, se recomienda en ella, dejar aceros de arranque que van dentro celdas verticales de los bloques estructurales.

- Se instala la primera hilada, verificando las dimensiones de los vanos de espacios arquitectónicos.
- Se nivela cada hilada de forma sucesiva. La distribución debe considerar espacios que permitan colocar piezas enteras en altura. Esto es de gran importancia cuando la mampostería es la vista.
- Se construye los muros en hiladas sucesivas. Se controla el espesor del mortero de pega disponiendo de forma correcta los refuerzos horizontales correspondientes.
- En las celdas verticales se puede disponer de las instalaciones de servicios eléctricos, de agua, sanitarias, etc.
- Una vez se logra la altura del muro, se conforma y apoya la placa de entrepiso o el de una cubierta, Para el primer caso el refuerzo debe extenderse por encima de la placa con una longitud mínima de traslapo y desarrollo de acuerdo al diámetro de las varillas. Para el segundo caso se conforma los ganchos del acero de refuerzo y se confina el elemento estructural.
- Se llenan las celdas o dovelas de la mampostería donde se localiza el refuerzo o donde indique el diseño, se arma y funde la placa de entrepiso o de cubierta o las vigas de remate del muro si es el caso. Esta placa le da rigidez a los muros y complementa el sistema estructural.

Alcance Y Limitaciones

La edificación, bloque 8 presenta un sistema estructural de muros de carga con mampostería estructural reforzada de arcilla de perforación vertical. El sistema de entrepiso es de placa maciza unidireccional apoyada en los muros de mampostería que transfieren las cargas a la cimentación superficial conformada por vigas continuas tipo T invertida.

La edificación presenta graves daños estructurales ocasionados por el evento de la explosión, en primer nivel con pérdida total de muros estructurales 1-Muro eje 16 (H-I), 2-Muro eje 16 (I-K), 3-Muro eje H (16-19), 4-Muro eje 19 (G-I), 5-Muro eje J (17-19), 6-Muro eje 19 (J-L), 7-Muro eje 18-N (18-19), 8-Muro eje 19 (N-N') y 9-Muro eje 19 (N'-M).

El estudio de patología para esta edificación obedece principalmente a los daños ocasionados por la explosión, dado que se observa que su estado actual de la estructura, la calidad del diseño y la calidad de la construcción son buenos, sin evidencia de otros daños causados por alguna otra patología. Por tal razón, se enuncia que el alcance de la patología del bloque 8 es estructural.

Se propone realizar los siguientes estudios, los cuales permiten desarrollar de manera integral la patología estructural de la edificación, identificando las etapas de Historia Clínica, Diagnostico y Propuesta o Diseño de intervención.

Historia Clínica

- Recopilación de información estudios y diseños. Se dispone de estudio de suelos, planos arquitectónicos y planos estructurales.
- Planos arquitectónicos. Se cuenta con 8 planos arquitectónicos y urbanísticos del proyecto Multifamiliar Florida Parque.

- Planos Estructurales. Se dispone de 7 planos estructurales que contienen detalles y despieces de las estructuras de cada bloque, conformadas por muros de carga de mampostería estructural reforzada de arcilla.

- Registro fotográfico. Identifica el estado de la edificación a causa de la explosión.
- Levantamiento de lesiones. Mediante fichas se identifican y describen las lesiones.

Diagnostico

- Ensayos de campo. Aquellos necesarios para identificar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que componen la estructura de la edificación. Se realizó ensayos de extracción de núcleos para resistencia a la compresión del concreto, esclerometrías, potenciales de corrosión, detección de refuerzos y medición de carbonatación en el concreto.

- Análisis geotécnico. Para revisar y determinar la capacidad portante del suelo de soporte de la edificación en la evaluación de la cimentación; además, para determinar parámetros como perfil estratigráfico del suelo, nivel freático y condiciones de la cimentación existente.

- Verificación del estado actual de la estructura. Se califica la calidad del diseño y de la construcción, y el estado de la estructura, teniendo en cuenta criterios del reglamento colombiano de construcciones sismo resistente NSR10, en su capítulo A10.

- Evaluación de la estructura existente: Vulnerabilidad Sísmica Estructural. Está fundamentada en los requisitos de la norma sismo resistente NSR10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2017), atendiendo el título A. Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente y en especial el capítulo A10. Evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del reglamento.

Diseño de Intervención

- Alternativa de refuerzo Sísmico. Teniendo en cuenta la afectación sobre la estructura del bloque 8 a causa de la explosión, la propuesta de intervención está definida para cumplir los requisitos de la NSR10, artículo A.10.9 Rehabilitación Sísmica, para ser reforzada y actualizada a la NSR10, artículo A.10.9.2.2. Intervención de edificaciones diseñadas y construidas dentro de la vigencia del Reglamento NSR-98 de la Ley 400 de 1997 – Grupos de Uso I y II del reglamento NSR-10.
- Presupuesto de intervención. Una vez se establezca la alternativa de refuerzo sísmico o propuesta de intervención, se definen, evalúan y analizan cada actividad de obra que requiere la ejecución de esta intervención. De cada actividad se realiza el análisis de precio unitario, sus cantidades y el costo total de la intervención, Presupuesto.

Metodología

Selección Paciente.

A causa de la manipulación ilegal de material químico se produce una explosión en el apartamento 104 del bloque 8 del conjunto multifamiliar Florida Parque de la ciudad de Tunja, ocasionando infortunadamente dos víctimas fatales y graves daños en la estructura del edificio. Se presenta la oportunidad para realizar el estudio de patología estructural, del cual solicitan proponer de manera inmediata una solución a los daños generados y en lo posible un diseño de intervención y rehabilitación de la edificación.

Desarrollo De Actividades.

Para llevar a cabo el estudio de patología estructural del bloque 8 del conjunto multifamiliar Florida Parque, se tiene en cuenta las etapas de la Patología como es la Historia Clínica, el diagnóstico y el diseño de Intervención. La secuencia de su desarrollo se describe en la figura 2. Se identifica claramente las actividades para su ejecución, las cuales son previamente establecidas en el alcance del presente estudio.

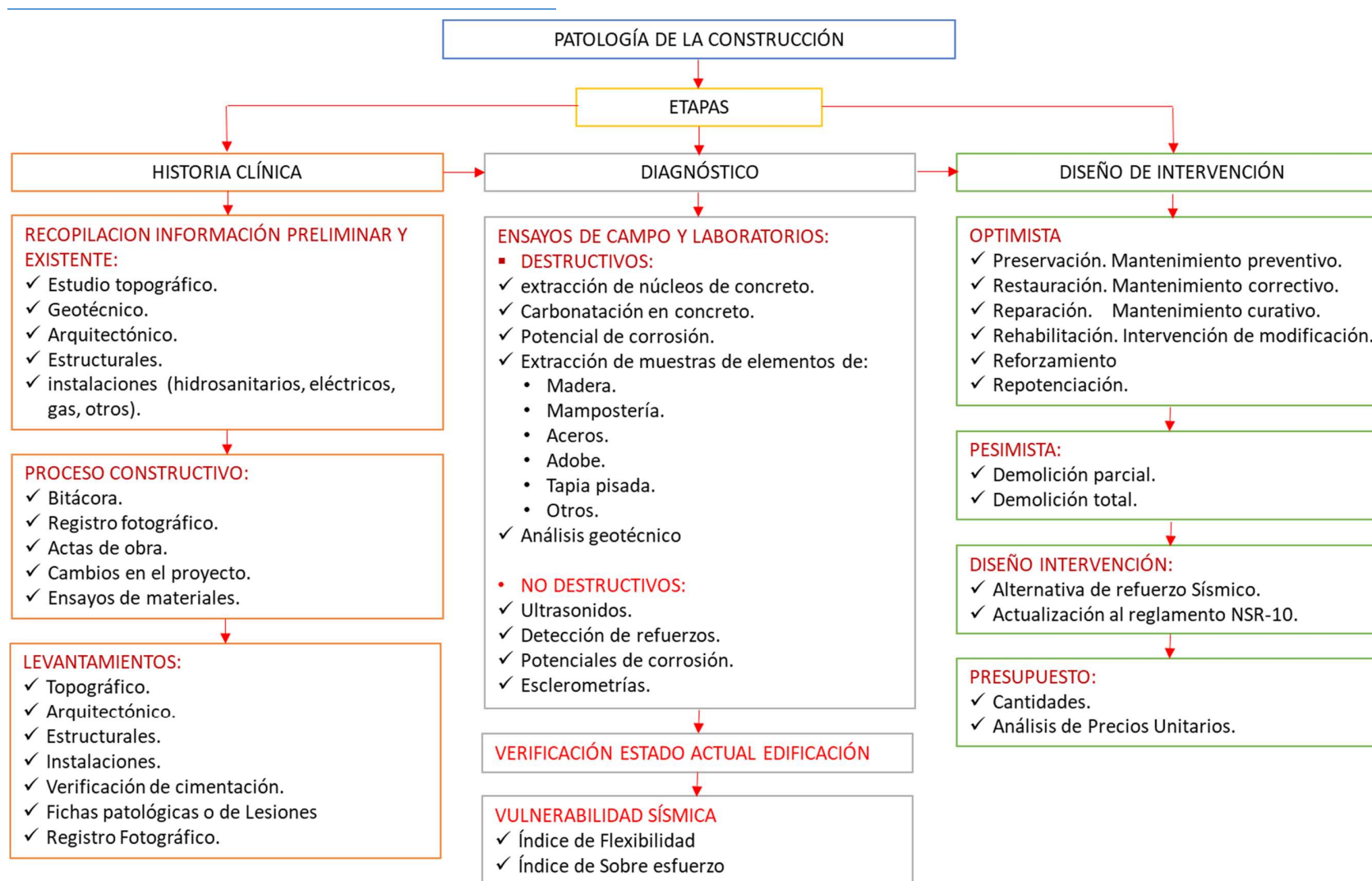


Figura 2. Etapas de patología de la construcción aplicable al presente estudio. (Fuente. Elaboración propia)

Historia Clínica

Descripción Del Paciente.

La edificación en estudio corresponde al bloque 8 del conjunto Multifamiliar Florida Parque. El conjunto está conformado por 12 bloques de 5 pisos y 4 apartamentos por piso para un total de 240 apartamentos; además, cuenta con áreas de circulación peatonal interior, circulación vehicular parqueaderos, 68 parqueaderos, salón múltiple comunal, portería y control, y zonas verdes al interior. Inicia su construcción en el año de 1998. Su uso es exclusivamente residencial. En la figura 3 se presenta cuadro general de áreas. El proyecto Florida Parque fue construido por la Sociedad Promotora de Edificaciones y Construcciones Ltda “Proedificar Ltda”

CUADRO GENERAL DE AREAS		
DESCRIPCION	AREAS	INDICE
AREA BRUTA LOTE	8.766.70M ²	
AREA CESION VIAS	640.76M ²	
AREA CESION ANDENES Z. VERDES DE PROTECCION	525.94M ²	
AREA NETA LOTE	7.600.00M ²	100.00%
AREA APARCADEROS (95)	957.60M ²	13.00%
AREA CIRCULACION PEATONAL INTERNA	385.95M ²	5.08%
AREA OCUPADA DOCE(12) BLOQUES (293.60 C/U.)	3.523.20M ²	46.36%
AREA OCUPADA SALON MULTIPLE COMUNAL	204.35M ²	2.68%
AREA VERDE INTERIOR	2.528.90M ²	33.28%
AREA CONSTRUIDA CINCO PISOS POR BLOQUE	1.388.60M ²	
AREA TOTAL CONSTRUIDA 12 BLOQUES	16.663.20 M ²	
AREA PRIVADA 20 APTS. POR BLOQUE	1.319.10 M ²	
AREA ACCESO Y ESCALERAS POR BLOQUE	69.50 M ²	
AREA PRIVADA APTO. FRENTE (1er. PISO)	60.60 M ²	(2 POR BLOQUE)
AREA PRIVADA APTO. TIPO (5 PISOS)	66.55 M ²	(18 POR BLOQUE)
No. DE BLOQUES: 12	INDICE DE OCUPACION	INDICE CONSTRUCCION
No. DE APARTAMENTOS: 240	0.4635	2.20

Figura 3. Cuadro general de áreas del Conjunto Multifamiliar Florida Parque (Fuente. Plano arquitectónico general 01).

La edificación, alcance del presente estudio de patología estructural, corresponde al bloque 8, apartamento 104, afectada por la explosión al manipular sustancias químicas, causando dos

víctimas fatales y graves daños en los muros de la estructura de la edificación. Se idéntica que la edificación presenta un muy buen estado y que sus daños corresponden exclusivamente a la explosión. Una vez ocurrido el siniestro, la estructura fue apuntalada en primer piso apartamento 104 mediante sistema de parales y cerchas, que contribuyeron a estabilizar la edificación mientras se lleva a cabo su intervención.

Diseño urbanístico y arquitectónico.

El proyecto fue diseñado por los arquitectos José Eusebio Otálora M y Jimeno Fonseca Silva; fue construido en un lote con área de 8.766m^2 , en el sector sur de la ciudad de Tunja. Por reglamentación urbanística el área neta del lote es de 7.600m^2 , con una ocupación de los doce bloques de apartamentos del 46.36%, correspondiente a 3.523m^2 ; dispone de 95 parqueaderos para un área del 958m^2 , zonas verdes de 2529m^2 . Presenta un área de construcción de edificación de 16.663m^2 en los doce bloques de cinco pisos y veinte apartamentos cada uno, concerniente un índice de construcción de 2.2 y un índice de ocupación de 0.464. En Figura 4, se aprecia la distribución arquitectónica urbanística del proyecto.

Cada bloque ocupa un área de 293.6m^2 , dispuesto con veinte apartamentos, cuatro por cada piso. El bloque en estudio afectado por la explosión corresponde al número ocho, ubicado en zona central del proyecto colindando por el norte con el bloque nueve, por el sur con un parque infantil, por el oriente con zona dura recreativa y por el occidente con acceso peatonal a la edificación. En Figura 4 se resalta su ubicación.

Cada apartamento dispone de sala comedor, cocina, zona de ropas, dos baños y tres alcobas con closet, con un área aproximada de 60m^2 . El apartamento en estudio, afectado por la explosión es el 104, el cual se resalta en Figura 5.

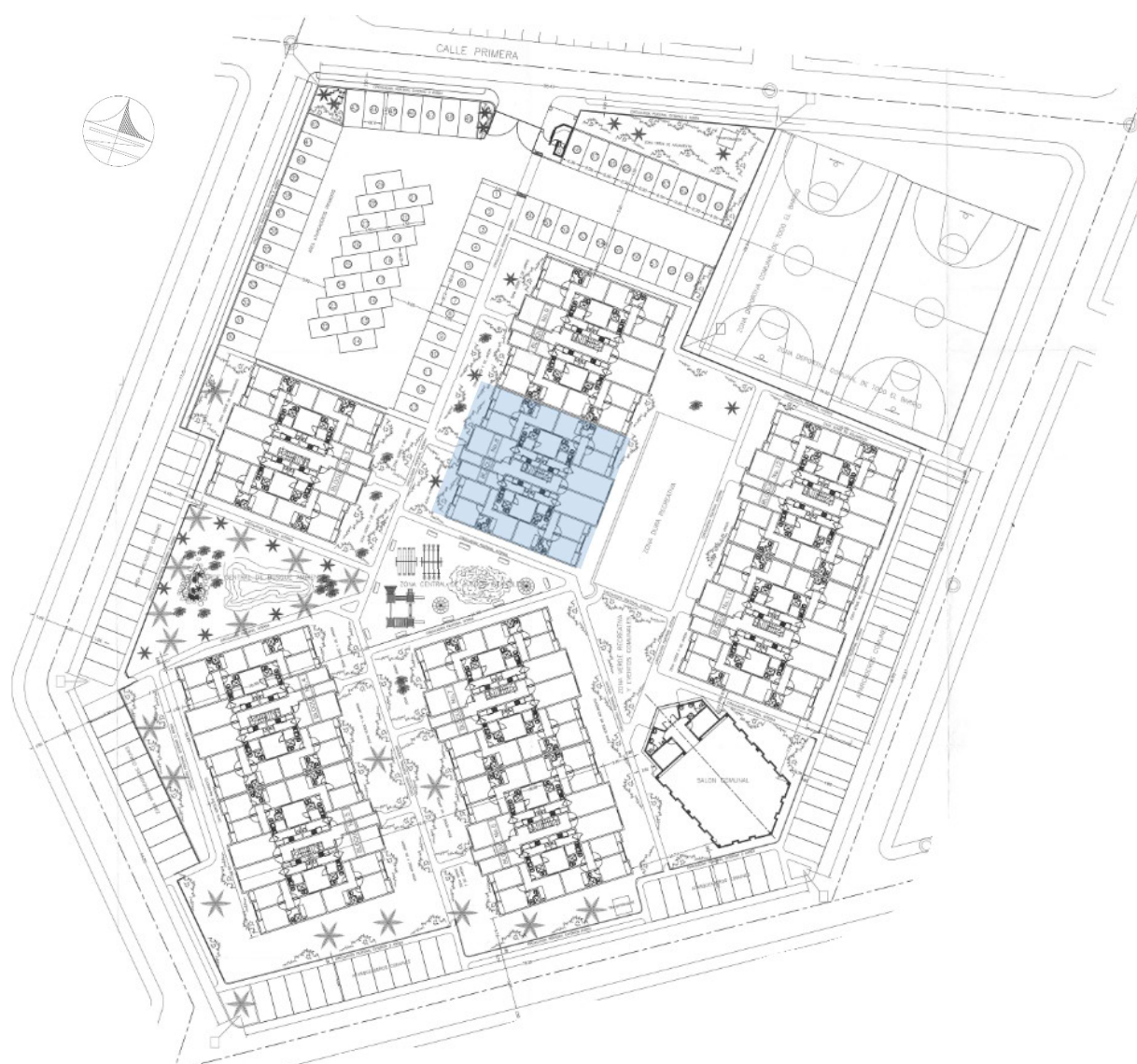


Figura 4. Implantación Urbanística y arquitectónica Multifamiliar Florida Parque (Fuente. Plano arquitectónico general 01).

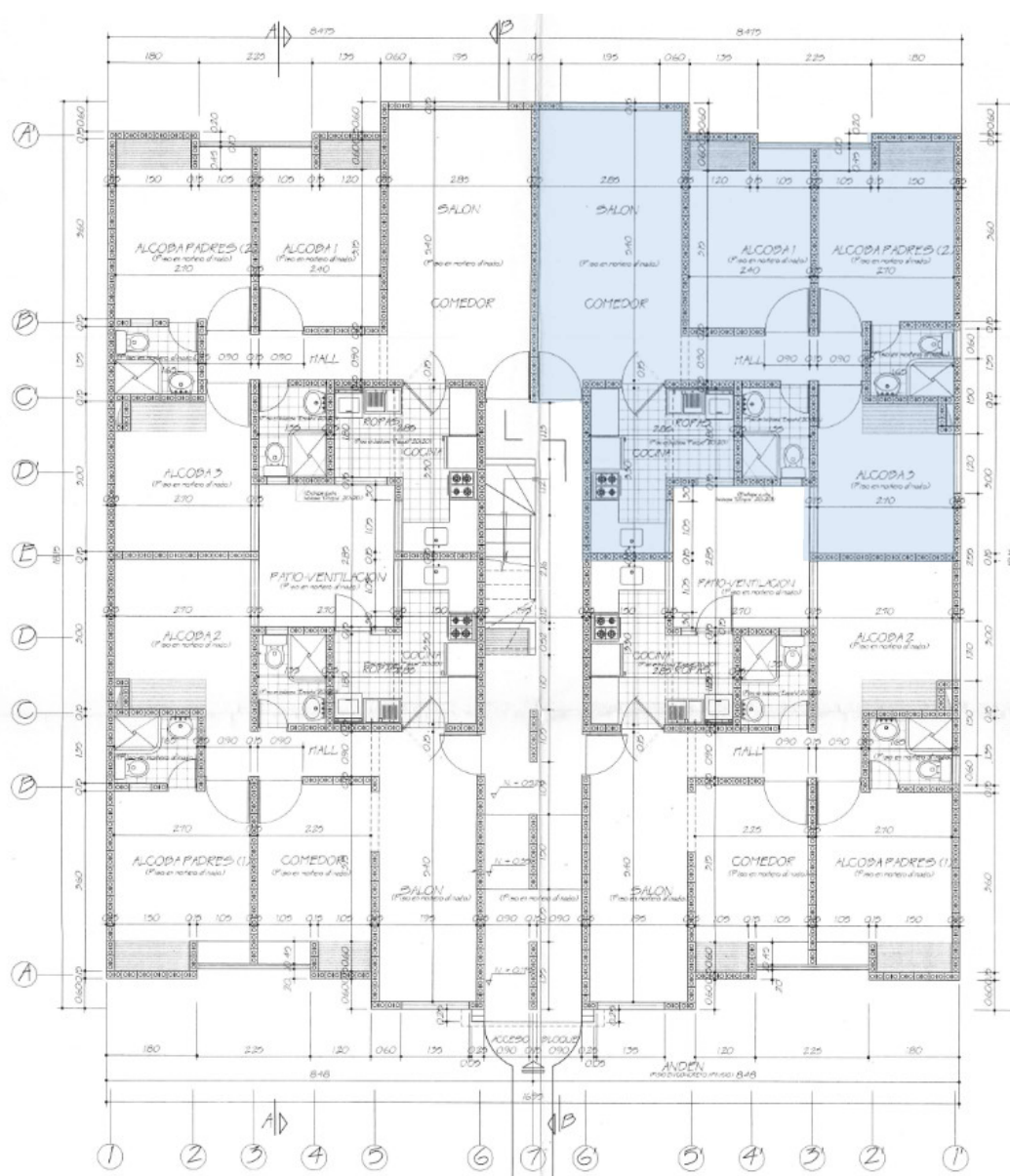


Figura 5. Planta arquitectónica planta Bloque 8, apto 104 afectado por explosión (Fuente. Plano arquitectónico 06).

Se dispone de ocho planos arquitectónicos y algunas reformas que contienen más detalles de los elementos, los cuales se presentan en anexo 1.

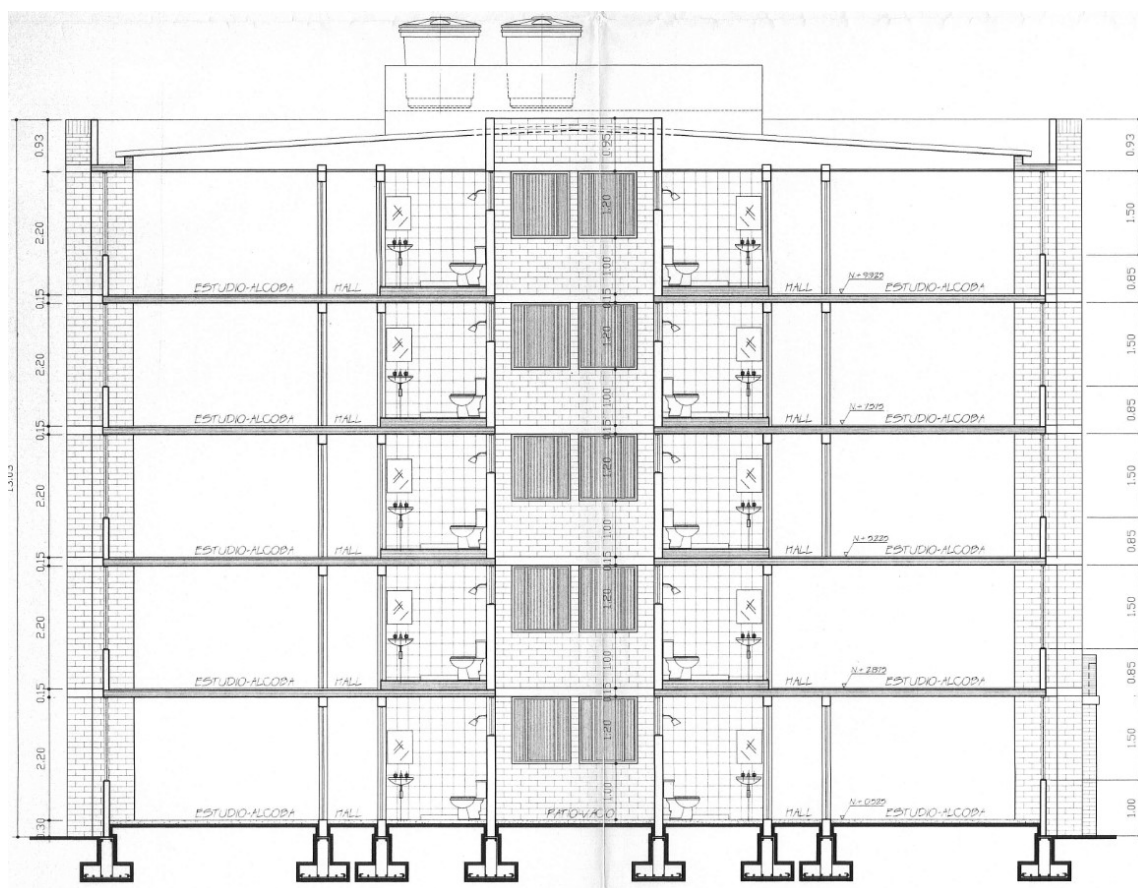


Figura 6. Distribución arquitectónica en alzado (Fuente. Plano arquitectónico 07).



Foto 1. Estado exterior del bloque 8. (Fuente elaboración propia).

Diseño estructural.

El diseño estructural fue realizado por el Ing. Luis Ernesto Dueñas Valderrama. El proyecto fue diseñado y construido con vigencia de la Norma colombiana de diseño y construcción sismo resistente NSR-98, cumplimiento de los títulos A. Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente y título D. Mampostería Estructural. Y clasificado como Muros de Mampostería Reforzada construidos con unidades de perforación vertical, capítulo D.7.

El ladrillo empleado en la mampostería es de referencia Santafé, ladrillo Portante 30 terracota, con dimensiones 29x14.5x9cm y un peso de 5.4kg (Ladrillera-Santafé, 2018).

La cimentación está conformada por vigas continuas tipo T invertida de concreto reforzado de 21MPa de resistencia a la compresión, con un sobrecimiento de 0.30m, con todas las celdas de la mampostería rellenas de concreto fluido. El nivel de fundación debe estar a -1.0m del nivel del terreno sobre arcilla limo arenosa amarilla y blanca de baja plasticidad, seca de buena calidad. En Figura 7 y 8 se presenta detalles de la cimentación.

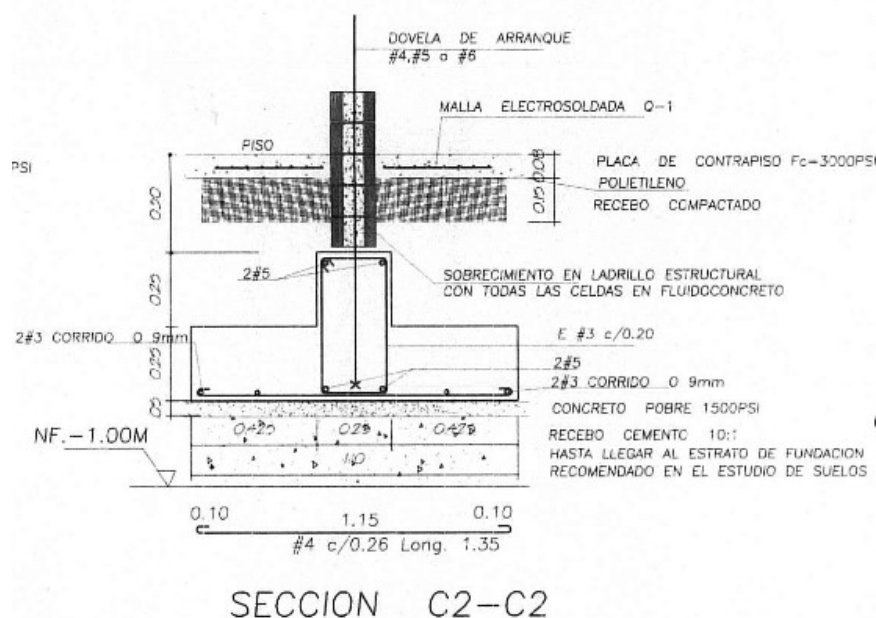


Figura 7. Detalle refuerzo cimentación viga T invertida. (Fuente Plano estructural 01)

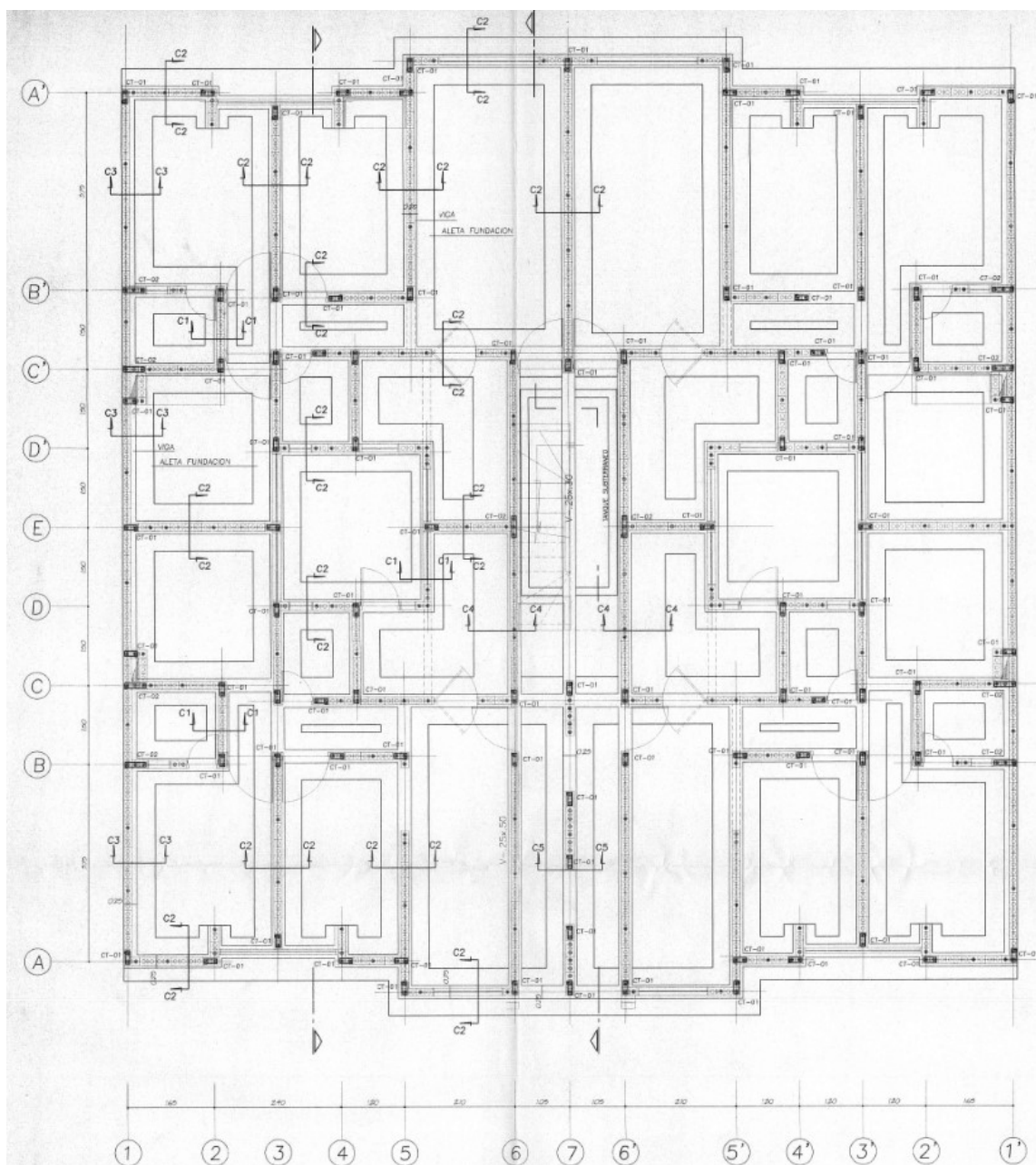


Figura 8. Cimentación Bloque, conformada por vigas T invertida. (Fuente. Plano estructural 01).

La losas de entrepiso están conformadas por pre losas de 4cm de espesor y una segunda sobre losa de 7cm de espesor, para un total de 11cm, en concreto reforzado; el concreto está proyectado con una resistencia a la compresión de 21MPa. En Figura 9 y 10 se presenta detalles de la losa de entrepiso.

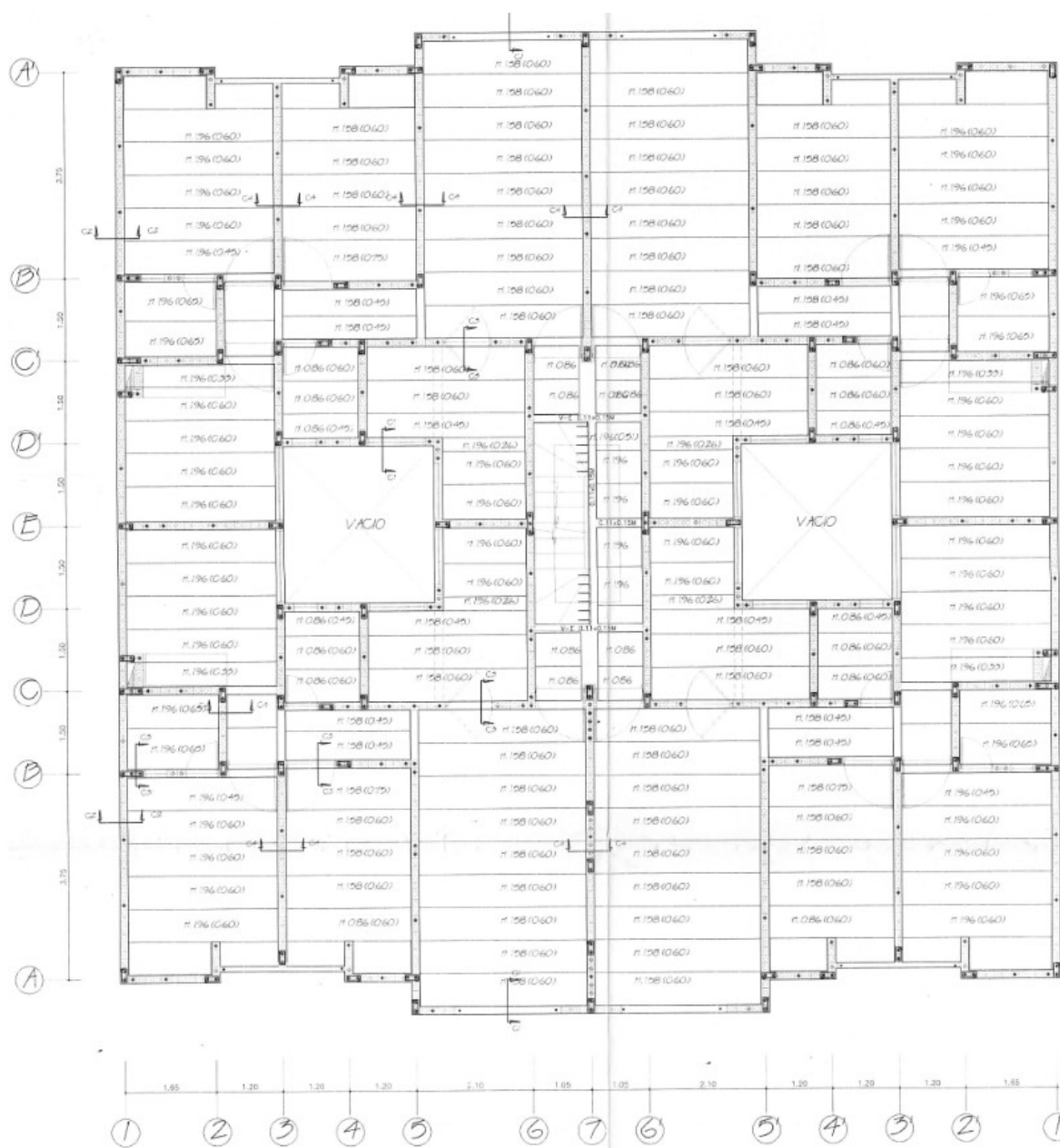


Figura 9. Losa de entpiso. (Fuente. Plano estructural 01).

Se dispone de siete planos estructurales donde se detallan los demás elementos estructurales, los cuales se presentan en anexo 2.

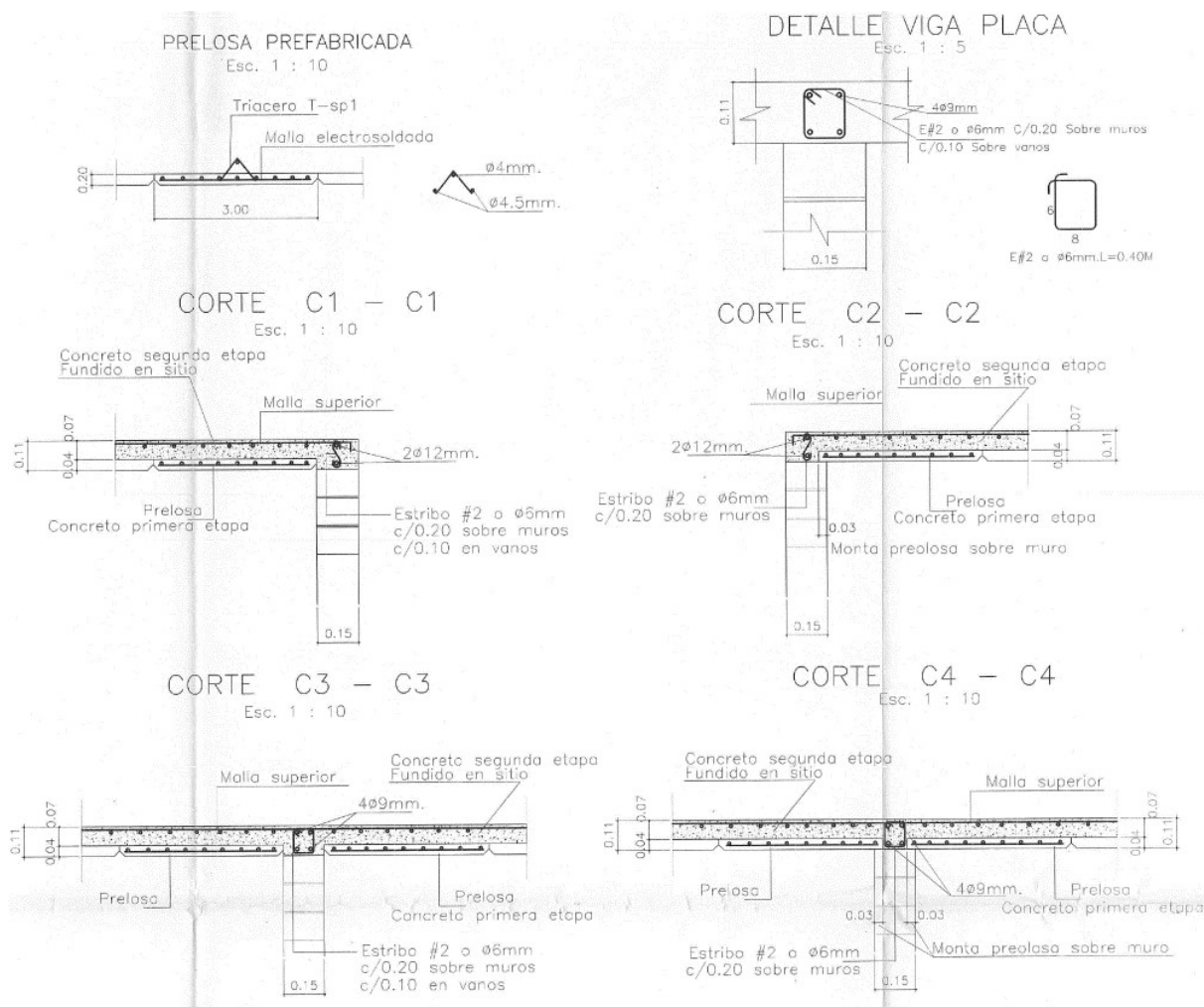


Figura 10. Detalle refuerzo losa entrepiso y vigas. (Fuente. Plano estructural 01).

Materiales de construcción

Es de resaltar la calidad de los materiales que contempla el diseño estructural para la construcción del proyecto.

- Concreto $f'c = 21\text{MPa}$
- Refuerzo muros $f_y = 420\text{MPa}$
- Conectores, Dovelas
- Refuerzo vertical

- Traslapo de refuerzo principal c/0.50m alternado
- Las hiladas de sobrecimiento deben ir totalmente llenas de grouting.
- Refuerzo horizontal en muros $2\phi 6.0\text{mm}/0.60\text{m}$ – grafiles.

Resistencia Característica de la Mampostería

- Murete $f' m = 80\text{kg}/\text{cm}^2$, sobre área neta
- Mortero de Pega $140\text{kg}/\text{cm}^2$
- Mortero de Inyección $11\text{kg}/\text{cm}^2$
- Módulo de rigidez de la mampostería $3200\text{kg}/\text{cm}^2$
- Módulo de elasticidad de la mampostería $80.000\text{kg}/\text{cm}^2$

Resistencia del Refuerzo

- Refuerzo vertical Dovelas $f_y = 420\text{MPa}$ corrugado ϕ #3, #4, #5, #6, $\phi 12\text{mm}$
- Refuerzo conectores $f_y = 420\text{MPa}$ alambre corrugado $\phi 4\text{mm}$
- Refuerzo horizontal $f_y = 420\text{MPa}$ alambre corrugado grafil $\phi 4\text{mm}$, 4.5mm, 6mm.

Ensayos de calidad

Mortero de pega:

Por lo menos un ensayo de resistencia a la compresión.

Por día, o un ensayo de cuatro cilindros de 3"x6"

(2 a 7 y 2 a 28 días) por cada 200m² de mampostería.

Mortero de inyección:

Un ensayo de cuatro cilindros de 3"x6" o 6"x12" si incluye agregado (2 a 7 y 2 a 28 días) por cada 200m².

Muretes:

Una muestra de (3 muretes) por cada 200m² de mampostería.

- Unidades de mampostería:
- Una muestra (2 ladrillos) por cada 200m² de muro o
- 5 ladrillos por lote de producción.
- Concretos:
- No más de una muestra (4 cilindros 2 a 7 y 2 a 28 días).
- Por cada vaciada y por cada tipo de concreto.

En anexo 3 se presenta registro fotográfico del estado actual de la edificación una vez ocurrido el evento de explosión y antes de dar inicio al estudio de patología estructural.

Levantamiento De Lesiones

El levantamiento de lesiones obedece esencialmente a las ocasionadas por la explosión, debido a que la edificación presenta muy buenas condiciones constructivas y de mantenimiento.

Se ha empleado un formato elaborado por los autores, para identificar las lesiones principales causadas por la explosión. Se han identificado once lesiones significativas enunciadas a continuación.

Colapso de muros y daño estructural del apartamento 104. A causa de la explosión ocasionando inestabilidad a la edificación; presenta pérdida de los elementos estructurales (muros) y daños generales en acabados.

Colapso total de muro estructural en el eje 19 (h-j). A causa de la onda explosiva; dovelas en concreto grouting con refuerzo de varilla en $\phi 3/4"$.

Colapso parcial de muro no estructural (antepecho) en el eje n (15-18), por onda explosiva; no presenta refuerzo de confinamiento o amarre estructural.

Fractura de muro estructural eje N ejes (18-19). Presenta dilatación con muros longitudinales eje 18 y eje 19; alto riesgo de colapso.

Fisura vertical en muro estructural de mampostería eje N15, en proyección al muro de antepecho, reflejando una falla de corte por cambio abrupta de rigidez.

Desprendimiento de muro estructural en el eje 19 (G-H), por onda explosiva.

Colapso total de muro estructural en el eje H (16-19), por onda explosiva. Dovela expuesta en concreto grouting con refuerzo de varilla en $\phi 3/4"$.

Colapso total de muro estructural en el eje 16 (H-I) y daño estructural, por onda explosiva.

Daño estructural y pérdida de sección de muro de mampostería en el eje J(17-19), por onda explosiva.

Daño estructural con fractura en apoyo de losa de entepiso segundo nivel.

Fisuras en losa de entepiso sector ejes J-M entre ejes 16-18.

En Figura 11 se presenta el formato empleado para registrar las lesiones. En anexo 4 se presenta las lesiones a causa de la explosión.

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO - ESPECIALIZACIÓN EN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN															
ESTUDIO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL PARA UNA EDIFICACIÓN DE CINCO PISOS, GENERADA POR UNA EXPLOSIÓN, CON SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CARGA LOCALIZADO EN EL BARRIO LA FLORIDA DE LA CIUDAD DE TUNJA.															
CLASIFICACION Y TIPIFICACION DE LESIONES										FICHA No.					
ESTUDIO REALIZADO POR:						FECHA DEL ESTUDIO:									
INFORMACION DE LA EDIFICACION						LESION:									
NOMBRE:						UBICACION:			ESPACIO No.:						
LOCALIZACION:						SEVERIDAD:		ALTA		MODERADA		BAJA			
USO:						TEMPERATURA:			TIPO AMBIENTE:			SECO			
FECHA DE CONSTRUCCION:						HUMEDAD RELATIVA:			NIVEL:						
SISTEMA CONSTRUCTIVO:						TIPOLOGIA DE LA LESION									
MATERIAL AFECTADO:						TIPO. P: PRIMARIA S: SECUNDARIA									
ELEMENTO AFECTADO						FÍSICA		QUÍMICA		MECÁNICA		P		BIOLÓGICA	
VIGA CIMENT.		PLACA ENTPO		CUBIERTA		CAUSA DE LA LESION									
PLACA PISO		VIGA CONFINAMT.		ESCALERA		DIRECTA									
DOVELA		MAMPOSTERIA		ACABADO		FISICA		HUMEDAD		SUCIEDAD		EROSION			
MURO ANTEPHO.		OTRO:				ATAQUE FUEGO		ABRASIÓN		AMBIENTE					
DEFECTO Y/O DAÑO (ENFERMEDAD)						QUIMICA		EFLORESCENCIA		LIXIVIACIÓN		MANCHAS			
CONGÉNITO		CONTRAIDO		ACCIDENTAL		CORROSION		MANCH. ORGNICA							
DESCRIPCION DEL ELEMENTO AFECTADO						MECANICA		FISURA		GRIETA		FRACTURA			
						TRACCIÓN		FLEXIÓN		LONGTUD.					
						TORSIÓN		PUNZONAMIENTO		CIZALLAMIENTO					
						COMPR. SIMP.		CORTANTE		DESPRENDIM.					
						ASENT. SUELO		PERDIDA ELEMENTO		DEFLEXIÓN					
						BIOLOGICA		ANIMAL		VEGETAL		MUSGO			
						INDIRECTA									
						PROYECCIÓN		MATERIALES		USO INDEBIDO					
						CONSTRUCCION		MANTENIMIENTO							
LOCALIZACION DEL ESPACIO:						REPRESENTACION GRAFICA O VISUAL DE LA LESION									
FOTOS:						OBSERVACIONES:									
						RECOMENDACIONES:									

EVALUADOR:

Figura 11. Formato para registro de lesiones. (Fuente Elaboración propia).

Diagnóstico

Ensayos De Campo

Los ensayos que se realizaron tuvieron como fin determinar la calidad actual de los materiales que componen la estructura: acero, concreto y mampostería y determinar si hay alguna afectación por durabilidad de los mismos. Las características de los materiales más el concepto estructural servirán de base para el diagnóstico del estado actual de la estructura y la propuesta de intervención o rehabilitación sísmica.

Los ensayos realizados se agrupan en el apartamento 104 del bloque 8 de la Urbanización Florida Parque, afectado por la explosión de material químico usado para la elaboración de artefactos explosivos.

Varios muros internos fueron afectados particularmente las fachadas Sur y Oeste del apartamento por acción de la onda explosiva, ocasionando la destrucción parcial de muros y desviaciones en algunos muros que no colapsaron.

Elementos evaluados, ensayos realizados y número de muestras

Se evaluaron los siguientes elementos:

Viga de amarre Eje 13 entre E y D en tres sitios repartidos entre los costados Sur y Este.

Loseta del techo del apartamento. Se toman muestras del mortero de relleno de la mampostería e igualmente se extrae probetas de la mampostería existente para determinar su resistencia.

Detección del acero de refuerzo.

Esta prueba se realiza en los sitios donde se van a practicar otras pruebas con el ánimo de determinar la posición relativa del refuerzo en los elementos evaluados, ya que para extraer núcleos o para medir el índice esclerométrico se debe evitar trabajar sobre el refuerzo, porque lo corta o interfiere en la lectura.



Foto 2. Detección acero de refuerzo. (Fuente Elaboración propia).

Para la determinar la posición del acero de refuerzo y del recubrimiento de concreto sobre este, se utilizó un detector de armaduras de Hilti PS-20, el cual es una sonda electromagnética que detecta el acero.

Lecturas del Índice esclerométrico

Como complemento a las determinaciones de resistencia sobre núcleos de concreto extraídos de la Viga de amarre y ante la necesidad de determinar la resistencia en otros sitios donde es compleja la extracción de núcleos, como la loseta de techo, se llevó a cabo lecturas del índice esclerométrico, prueba no destructiva que brinda información sobre la resistencia mecánica de los elementos a los cuales se les practique la prueba. Ver foto 3.

Resistencia a compresión del concreto

De la Viga de amarre se extrajo dos núcleos, las resistencias a compresión fueron de 22MPa y 26,7MPa. Ver resultados de laboratorio de ensayos en anexo 5. El promedio de resistencia es de 24,4 MPa. Ver fotos 4 y 5.

Elemento: Viga de amarre entre ejes D y E											
Ensayo No.										Promedio	Res. Asociada
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		Mpa
42,1	43,2	45,6	40,7	39,4	42,8	43,2	42,9	41,5	42,2	42,4	23,5
Elemento: Viga de amarre entre ejes F y G											
Ensayo No.										Promedio	Res. Asociada
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		Mpa
43,5	44,1	43,9	44,8	43	39,9	42,8	43,3	43,1	45,2	43,4	26,2
Elemento: Losa prefabricada entre ejes D y E Cara inferior											
Ensayo No.										Promedio	Res. Asociada
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		Mpa
42,9	40,8	43,2	44	41,2	39,9	40,2	41,2	42,7	44,3	42,0	22,8

Figura 12. Determinación de pruebas esclerométricas en elementos estructurales.
(Fuente Elaboración propia).



Foto 3. Pruebas de Esclerometría en Viga de amarre. (Fuente Elaboración Propia).

Algunos de los núcleos extraídos no pudieron ser usados para la determinación de la resistencia debido a la contaminación existente en el concreto con otro tipo de materiales de la obra, lo que pone de manifiesto defectos en la construcción. Ver foto 6.



Foto 4. Detalle de la extracción de núcleos en la viga de amarre. (Fuente Elaboración propia).



Foto 5. Detalle de uno de los núcleos extraídos. (Fuente Elaboración propia).



Foto 6. Contaminación en núcleo de concreto. (Fuente Elaboración propia).

Resistencia de la mampostería.

Se realizó pruebas de resistencia a la mampostería y concreto de las celdas o dovelas del material de relleno. En anexo 5 se muestran los resultados de las resistencias de los ladrillos que varía entre 25.9MPa y 29MPa y la resistencia del concreto grouting o de relleno de las celdas que fue de 21MPa a 29MPa, cuyos valores están por encima de los valores tenidos en cuenta en el diseño estructural.

Profundidad de carbonatación y recubrimiento del refuerzo.

La carbonatación es un fenómeno típico de las grandes ciudades, aunque ocurre en cualquier lugar del planeta. Se debe a que el gas carbónico presente en el aire, al combinarse con la humedad del ambiente y con el agua de los poros del concreto, da lugar a la formación de ácido carbónico. El pH de agua de poros del concreto es normalmente alcalino ($\text{pH} > 12$), el ingreso del ácido carbónico hace que dicho pH disminuya hasta valores inferiores a 10, límite del pH del concreto para preservar la capa pasiva del acero de refuerzo.

Una vez el frente de baja de pH alcanza el acero de refuerzo más expuesto, se rompe la capa pasiva del acero de refuerzo, y en presencia de humedad y oxígeno, se empieza a desarrollar el fenómeno de la corrosión. Esto indica que la primera medida a tomar para garantizar la durabilidad de las estructuras es dotarlas de un adecuado recubrimiento, de concreto de buena calidad.

La experiencia muestra que una estructura elaborada con concreto de calidad aceptable se carbonata a una velocidad de aprox. 1 a 1,5 mm / año. De tal manera que estructuras con 4-5 años de edad deben mostrar profundidades de carbonatación de unos 4mm a 5mm. Este fenómeno se desarrolla irremediablemente en todas las estructuras de concreto reforzado, debiéndose por lo tanto tomar medidas adecuadas al construir, ya que de lo contrario se debe efectuar intervenciones engorrosas, una vez el fenómeno ya se está desarrollando. A continuación se discutirá por elemento los resultados de la prueba de carbonatación.

La determinación de la profundidad de carbonatación se llevó a cabo en la viga de amarre por su cara exterior (más expuesta al medio ambiente) y mostró una profundidad de carbonatación de apenas 2 mm, siendo los recubrimientos sobre el acero de refuerzo de 67 mm sobre los flejes de 3/8" y de 82 mm sobre las barras longitudinales de 5/8" y corrugadas.

El resultado de carbonatación de 2mm, indica que la estructura está lejos de verse comprometida por corrosión del acero de refuerzo, el cual aparece gris y sin señales de corrosión al hacer el apique de verificación.

Al realizar las pruebas de carbonatación sobre el concreto el color púrpura indica un pH mayor a 9,5 lo que traduce no afectación en el concreto, garantizando un acero pasivo o protegido; en este caso las barras tienen aún un gran espesor de recubrimiento sano desde el punto de vista del ataque del CO₂ presente en el ambiente.



Foto 7. Ensayo para determinar la profundidad de carbonatación en el concreto.
(Fuente Elaboración propia).

Potenciales de corrosión

Esta técnica permite la medición de los potenciales de corrosión mediante el empleo de la “Media celda de cobre-sulfato de cobre” (ASTM C-876). La corrosión es un fenómeno electroquímico, por esta razón se puede medir en la estructura los potenciales eléctricos debido al movimiento de los electrones entre ánodo y cátodo. Ver figura 14

Potenciales muy negativos (menores a -250 mV) indicarían posibilidad de que se esté desarrollando un proceso corrosivo en la estructura.

La tabla 1 preparada por la red DURAR (CYTED, 1997) muestra la forma de calcular el riesgo de corrosión con base en los parámetros de carbonatación y de potenciales de corrosión. Para este caso se tiene pH alto (no está carbonatado el concreto) y potenciales entre -21mV y -34mV. Ausencia de cloruros y humedad alta. Esto conlleva a clasificar como despreciable el riesgo de corrosión.

Tabla 1
Cálculo potencial de corrosión

CONDICIÓN	POTENCIAL E (mV)	MEDIO	RIESGO DE DAÑO
ESTADO PASIVO	+200 a -200	Ausencia de Cloruros pH>12,5 Presencia de H ₂ O (Hr alta)	Despreciable
CORROSIÓN LOCALIZADA	-0,200 a -0,600	Presencia de Cloruros, Oxígeno y Agua (Hr alta)	Alto
CORROSIÓN UNIFORME	-0,150 a -0,600	Carbonatado, O ₂ , H ₂ O (Hr alta)	Moderado
CORROSIÓN UNIFORME	+0,200 a -0,150	Carbonatado, O ₂ , seco (baja Hr)	Bajo
CORROSIÓN UNIFORME	-0,400 a -0,600	Cloruros elevados, H ₂ O o Carbonatado, (Hr alta)	Alto
CORROSIÓN UNIFORME	< -0.600	Altos Cloruros, H ₂ O sin oxígeno.	Despreciable

Fuente. CYTED, Manual de Inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión de estructuras de hormigón armado, Rio de Janeiro, 1997

Se midieron potenciales de corrosión en la viga de amarre Eje 19 entre E y D, por ser este elemento el que está más en contacto con la humedad y la contaminación ambiental.

Elemento: Viga de amarre entre ejes D y E Cara exterior										
Ensayo No.						Promedio	CALIFICACIÓN			
1	2	3	4	5	6					RIESGO
-34	-42	-29	-20	-44	-21					-31,7 DESPRECIABLE

Figura 13. Resultados mediciones de potenciales de corrosión. (Fuente Elaboración propia).



Foto 8. Medición de potenciales de corrosión con media celda de cobre sulfato.
(Fuente Elaboración propia).

Otras pruebas

También se llevaron a cabo apiques de verificación de apoyo de las losetas sobre la viga superior; en este sitio no se encontraron buenas condiciones de apoyo de estos elementos. La loseta no descansa sobre la viga ni su refuerzo penetra en ella. Ver figura 15.



Foto 9. Exploración de losetas sobre viga. (Fuente Elaboración propia).

Observaciones.

Con base en los ensayos realizados sobre los materiales que componen la estructura se puede afirmar que, desde el punto de vista de los materiales estructurales (mampostería, concreto y acero

de refuerzo), no existe problemas de durabilidad en la estructura, por lo que el análisis estructural definirá las acciones a seguir para la rehabilitación de la misma.

El resultado de carbonatación de 2mm, indica que la estructura está lejos de verse comprometida por corrosión del acero de refuerzo, el cual aparece gris y sin señales de corrosión al hacer el apique de verificación.

Para este caso se tiene un pH alto (no está carbonatado el concreto) y potenciales entre -21mV y -34mV. Ausencia de cloruros y humedad alta conduce a clasificar como despreciable el riesgo de corrosión.

Los valores de resistencias de los ladrillos que varía entre 25.9MPa y 29MPa y la resistencia del concreto grouting o de relleno de las celdas que fue de 21MPa a 29MPa, están por encima de los valores del diseño estructural.

Análisis Geotécnico.

El informe geotécnico contiene los resultados de los trabajos de exploración del subsuelo los cuales consta de: Una identificación visual en campo, ensayos in situ, registro de niveles freáticos, ensayos de laboratorio, caracterización de materiales, análisis de resultados, recomendaciones necesarios, con el propósito de establecer el tipo de suelos y estratificación del subsuelo para evaluar y definir desde el punto de vista geotécnico, el tipo de cimentación actual y el estado del subsuelo, contemplando los parámetros sísmo resistentes requeridos en la NSR10, títulos A y H. Se describen los aspectos relevantes del estudio geotécnico, el cual se presenta en el anexo N.3.

La zona de estudio se caracteriza por presentar una topografía semi inclinada desde el costado occidental a oriental, con diferencias de niveles hasta nueve metros.

De acuerdo a (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2017)NSR10 título H, la construcción se clasifica en categoría media, de acuerdo a la tabla H.3.1-1.

Clasificación de las unidades de construcción por categorías

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

Figura 14. Clasificación de las unidades de construcción por categorías. (Fuente NSR-10).

Con apoyo de la empresa APP Control Ingeniería, se realizó el análisis geotécnico, como complemento al estudio de suelos inicial el cual está basado en los requisitos de la NSR98, y actualizándolo al Reglamento colombiano de construcciones sísmo resistente NSR10. Se llevó a cabo dos sondeos manuales a profundidades que oscilan entre 2.5m y 3.5m, donde se encontró estratos de material de consistencia firme, presentando rechazo a la prueba de penetración normal

estándar. Se presenta una descripción del análisis geotécnico, representativo para la patología estructural.

Se recuperaron muestras de la siguiente manera:

Inalteradas: SH se recuperaron en tubos de pared delgada (Shelby), proceso que se realizó cada 0.50 m, o cada metro dependiendo del terreno encontrado y las características de este.

Alteradas: SS el muestreo se efectuó en forma alterada con tubo partido siguiendo el método de penetración estándar, de acuerdo con la norma A.S.T.M. 158699, (Método terzagui- INV E-111-07) el cual consiste en hincar a base de golpes una cuchara muestreadora de 0.60m de largo, 5.08 cm de diámetro exterior y 3.49 cm de diámetro interior mediante la energía proporcionada por una masa de 64 kg de peso que es dejada caer libremente de una altura de 0.75m, el número de golpes necesarios para que la cuchara penetre los 0.30m intermedios nos dan idea de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo. Este tipo de muestras se recuperaron donde el suelo presentaba una consistencia dura o lentes arenosos.



Foto 10. Toma de Muestras del suelo zona occidental. (Fuente Elaboración propia).



Foto 11. Toma de Muestras del suelo zona oriental. (Fuente Elaboración propia).

Pruebas en laboratorio.

Para caracterizar las propiedades de las muestras recuperadas y determinar parámetros de resistencia se realizaron los siguientes ensayos:

Sobre las muestras inalteradas extraídas de cada profundidad se determinó:

- Contenido natural de agua (*INV E 122-07*),
- Peso unitario total y seco, (*ASTM D4943*)
- Resistencia a la compresión inconfiada (*INV E 152-07*),
- Límites de Atterberg (*INV E 125-126-07*),
- Lavado sobre el Tamiz N° 200 (*INVE 123-07*).

Sobre las muestras alteradas extraídas se determinó:

- Contenido natural de agua (*INV E 122*).
- Límites de Atterberg (*INV E 125-126-07*),
- Lavado sobre el Tamiz N° 200 (*INV E 123-07*).
- Peso unitario total y seco, (*ASTM D4943*)

Durante el proceso de secado y extendido de las muestras se realizó inspección visual (*INV E 102-07*) para verificar el estado y la variación de ellas con el clima en cuanto a resistencia y color.

Con los resultados de los ensayos, se clasificó el suelo por el sistema unificado de suelos (SUCS) donde se determinaron familias predominantes en el subsuelo y para las cuales se obtuvo valores de resistencia para establecer el comportamiento del suelo y con base en este definir el tipo y la profundidad de cimentación. La tabla 5 muestra el número de pruebas realizadas en cada sondeo.

Tabla 2.
Numero de ensayos de laboratorio realizados en cada sondeo.

CANTIDAD DE ENSAYOS		SONDEO 1	SONDEO 2
PRUEBAS DE LABORATORIO	Humedad Natural - INV E 122-07	5	6
	Límite Líquido - INV E 125-07	2	5
	Límite Plástico - INV E 125-07	2	5
	Densidad Peso unitario	2	2
	Lavado en el tamiz 200 - INV E 123-07	5	5
ENSAYOS DE RESISTENCIA	Resistencia Qu - INV E 152-07	0	2
	Penetración normal NF de Campo INV E-111-07	2	1
	Penetrometro de bolsillo ASTM D-1558 (Kg/cm ²)	0	2

CANTIDAD DE ENSAYOS		TOTAL
PRUEBAS DE LABORATORIO	Humedad Natural - INV E 122-07	11
	Límite Líquido - INV E 125-07	7
	Límite Plástico - INV E 125-07	7
	Densidad Peso unitario	4
	Lavado en el tamiz 200 - INV E 123-07	10
ENSAYOS DE RESISTENCIA	Resistencia Qu - INV E 152-07	2
	Penetración normal NF de Campo INV E-111-07	3
	Penetrometro de bolsillo ASTM D-1558 (Kg/cm ²)	2

Fuente. Estudio de suelos.

Estratigrafía y características fisicomecánicas del suelo.

En los sitios de exploración se identificaron suelos que corresponde al mismo origen y formación geológica; el suelo es homogéneo en el área de estudio.

Se identifica un suelo conformado por una capa de material orgánico con recubrimiento vegetal, debajo de la cual se observa una capa de arcilla color café con presencia de suelo arenoso de

consistencia media. Infra yaciendo dicha capa se encuentra un estrato de material tipo grava de matriz arenosa color amarillo claro, usado como material de mejoramiento del suelo natural. Más abajo se encontraron suelos arenosos y arcillosos de color habano y café, los cuales mostraron consistencia blanda a media. Se encontró nivel de agua freática en el sondeo 1 por debajo de 1.1m. La humedad determinada en el suelo, fue de tipo media-alta en la totalidad de la profundidad explorada. Se presentan las columnas estratigráficas de cada sondeo. Figuras 15 y 16.

Estratigrafía

- 0.0 a 0.1m: capa orgánica de color café oscuro con recubrimiento vegetal.
- 0.1m a 0.4m: Arcilla de color café de baja compresibilidad con presencia de material arenoso. El estrato presenta consistencia media y porcentaje de humedad natural que varía de 23% a 26%.
- 0.4m a 0.8/0.9m: Estrato de material de grava con matriz arenosa de color amarillo de compacidad media suelta, el cual se encuentra en estado sólido. La humedad registrada en el mismo fue de 18%.
- 0.8/0.9m-2.5/3.5m: Estrato de suelo mayormente arenoso color habano claro con presencia de arcilla (sondeo 1) y arcilla con arena de color café/gris a habano claro (sondeo 2). Se observa un valor de consistencia de blanda a media, debido al tipo de suelo junto con los porcentajes de humedad de tipo media/alta. Se encontró nivel de agua freática a -1.1m de profundidad en el sondeo 1. Los valores de penetración mediante la prueba SPT oscilaron los 40 golpes por debajo de 2m.

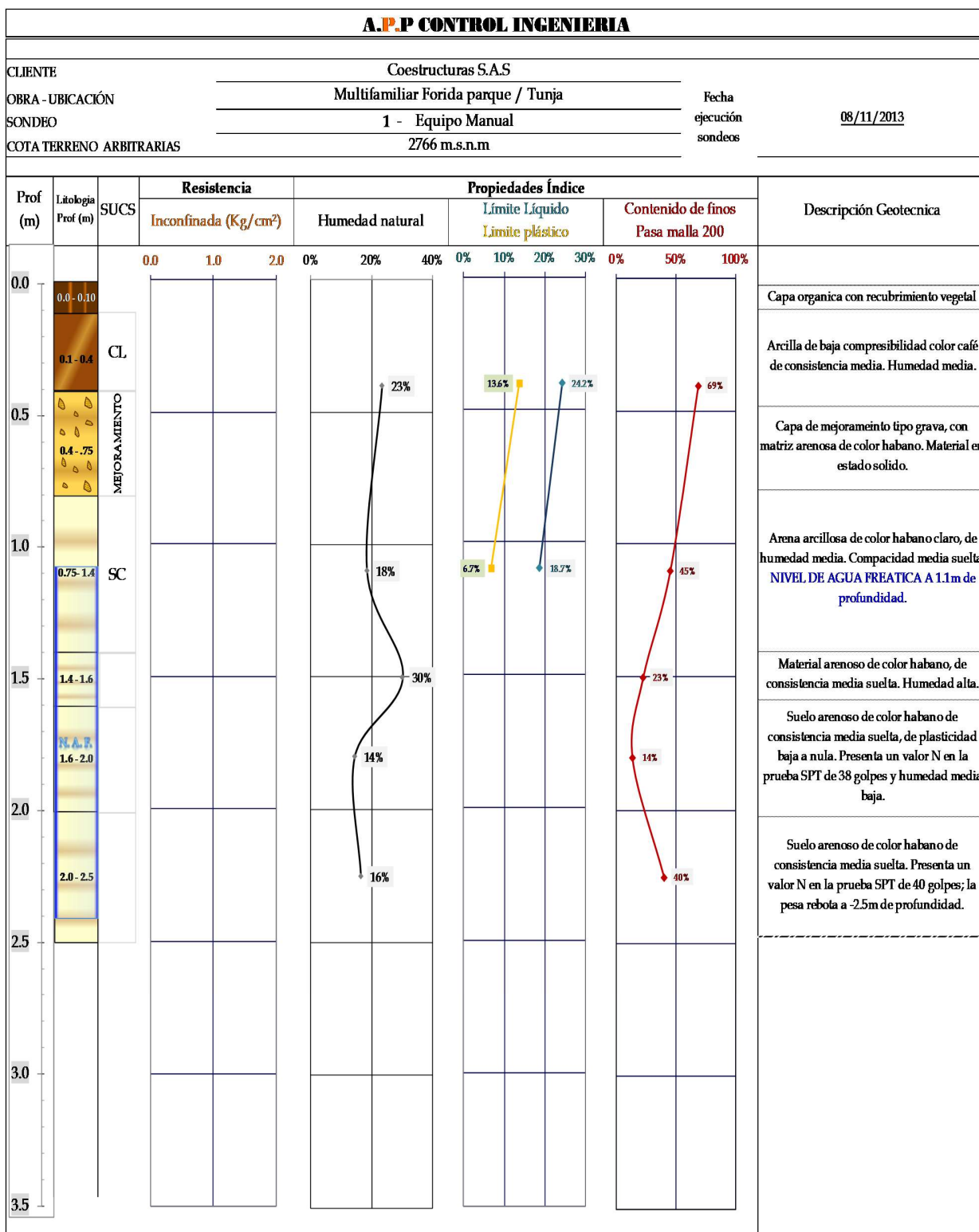


Figura 15. Columna estratigráfica, sondeo 1. (Fuente Estudio de suelos).

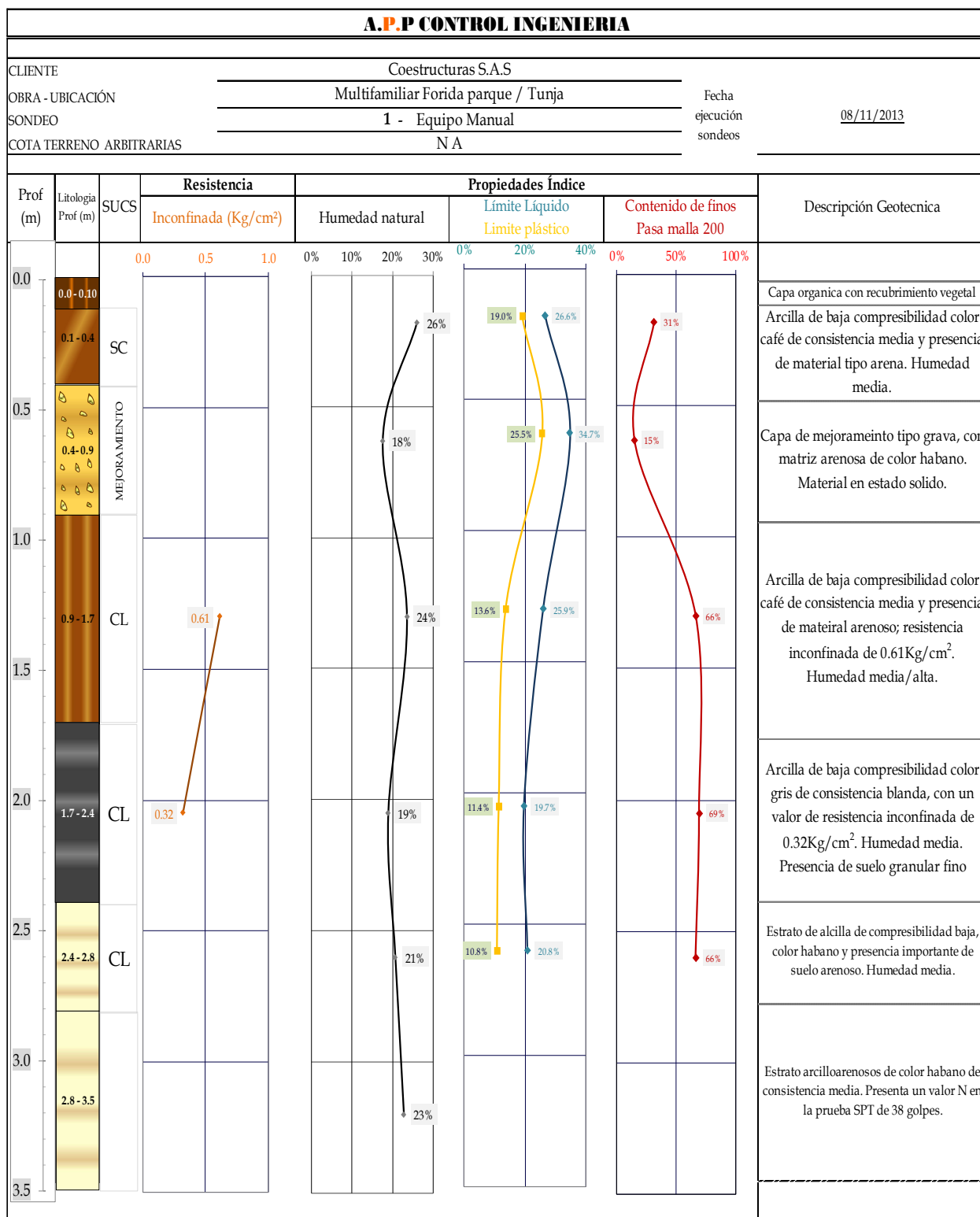


Figura 16. Columna estratigráfica, sondeo 2. (Fuente Estudio de suelos).

Basado en el estudio de suelos por la firma Geotecnia e ingeniería Ltda realizado en 1998, se puede afirmar que inferior a 3.5m se encuentran suelos de gravas areno arcillosas de compacidad media a alta, seguido de limos arenosos y arenas arcillosas hasta alcanzar una profundidad de 7.5m donde alcanzaron la profundidad máxima. La Figura 17 muestra una aproximación al corte del suelo inspeccionado.

Nivel de agua freática

En las perforaciones ejecutadas se registraron niveles de agua freática en el sondeo 1 a -1.1 metros. También se pudo identificar una saturación del suelo superficialmente debido a las lluvias que ocurren, las cuales infiltran el subsuelo por percolación a estratos inferiores, y dadas la permeabilidad del suelo por ser de características arenosas principalmente es fácil atravesar dicho estrato aumentando la presión de poros en las estructuras internas, lo que genera reducciones en la capacidad de soporte.

Debido a las consideraciones anteriores, se debe garantizar el manejo adecuado de las aguas producto de escorrentía, puesto que pueden generar daños a futuro en la estructura al formar un escenario totalmente saturado que incremente pérdidas de resistencia en el subsuelo así como asentamientos por consolidación. Durante el proceso de excavaciones que se realicen, éstas se deberán hacer en el menor tiempo posible para evitar filtraciones de agua hacia el subsuelo, que debiliten la estructura, alterando las propiedades que presenta actualmente. Se presenta variación de la humedad en los diferentes sondeos con valores entre 14 y 30%.

Características Físicas – Familias de Suelos

Los suelos inspeccionados presentan propiedades similares entre sí, el color predominante es el café con amarillo y habano. De acuerdo con la clasificación SUCS y AASHTO se observa que los suelos predominantes son SC-SM-CL y A-4/A-6 respectivamente. Ver figura 18

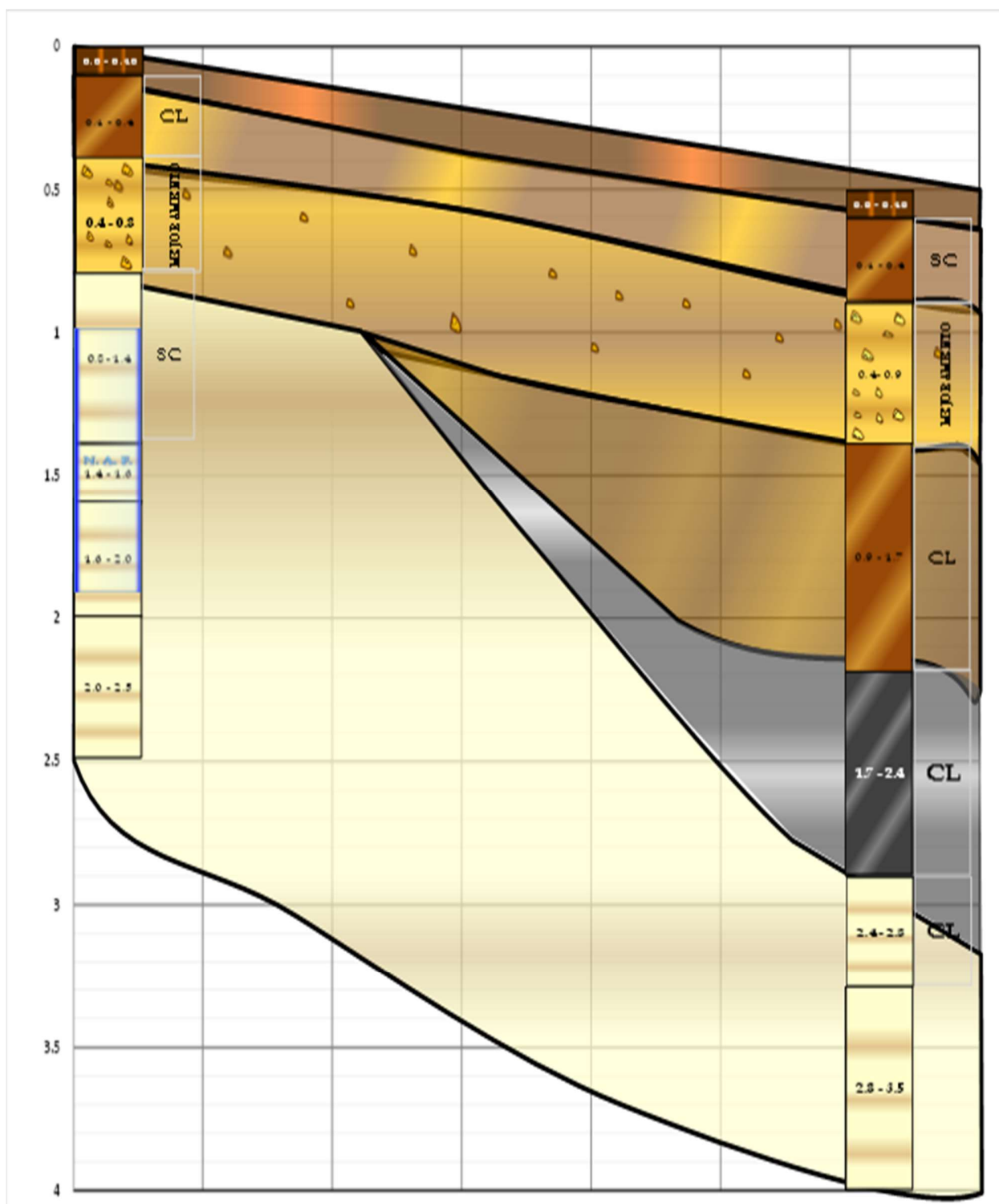


Figura 17. Bloque estratigráfico aproximado al subsuelo del proyecto. (Fuente Estudio de suelos).

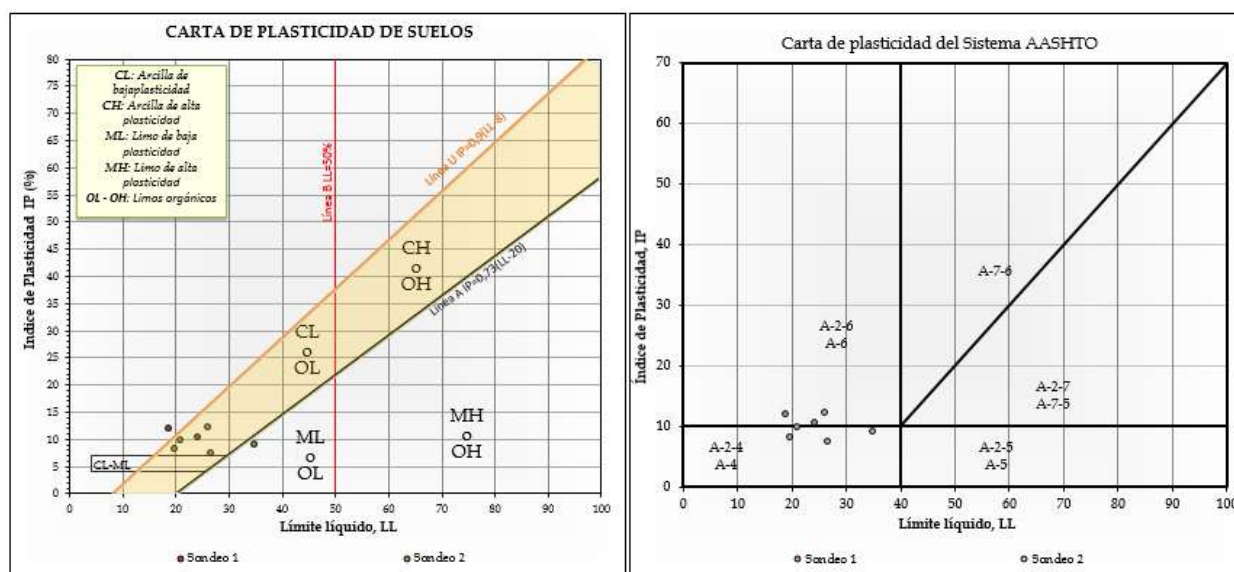


Figura 18. Clasificación unificada de suelos – Clasificación Aashto. (Fuente Estudio de suelos).

Potencial expansivo

La tabla 6, muestra una clasificación de expansión y plasticidad en función de las propiedades índice del suelo. (*Límite líquido e índice de plasticidad*), la cual proporciona una idea del comportamiento del suelo especialmente si este entra en contacto con agua y se mantiene en periodos prolongados.

Potencial de Expansión	Límite Líquido LL (%)	Índice de Plasticidad IP (%)
Muy Alto	> 63	> 32
Alto	50 - 63	23 - 45
Medio	39 - 50	23 - 34
Bajo	< 39	< 20

Figura 19. Clasificación de suelos expansivos. (Fuente Estudio de suelos).

Con base a esta clasificación se observa que los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a las muestras recuperadas del suelo, están en el rango de **plasticidad y potencial expansivo bajo a nulo**; los valores de límite líquido varían entre 18 y 34% y el índice de plasticidad alcanza un valor hasta de 12%.

Valores de sismicidad NSR98 – NSR10.

Se presenta en la tabla 3 los requisitos de sismicidad de la NSR98 y la NSR10 para ser tenidos en cuenta en la evaluación estructural y la propuesta de intervención de la edificación en estudio.

Tabla 3.
Valores de sismicidad

Parámetro NSR 10	Nomenclatura	Tipo de suelo	
		NSR98	NSR10
Municipio de Tunja	Código 15001	NSR98	NSR10
Amenaza sísmica	Media	Media	Media
Coefficiente de aceleración pico efectiva para diseño (Apéndice A-4)	Aa	0.20	0.20
Coefficiente de velocidad pico efectiva para diseño (Apéndice A-4)	Av	0.20	0.20
Coefficiente de ampliación en periodos cortos (Tabla A.2.4-3)	Fa	1.2	1.2
Coefficiente de ampliación en periodos largos (Tabla A.2.4-4)	Fv	1.6	1.6
Coefficiente pico efectiva para umbral de daño (Apéndice A-4)	Ad	0.04	0.07
Grupo de uso / Perfil de Suelo	-	I / S2	I / C
Coefficiente de Sitio/coeficiente de importancia	-	1.2 / 1.0	1.0

Fuente. Estudio de suelos.

Sistema y profundidad de cimentación:

De acuerdo a las exploraciones realizadas se puede establecer que la cimentación de la torre 8 se construyó mediante cimientos corridos o continuos en el sistema de T invertida materializada a -0.58m y 0.63m, apoyada en material granular de mejoramiento que presenta un espesor entre 0.35m a 0.50m, siendo de mayor espesor hacia el costado oriental debido a las condiciones topográficas del terreno. Así mismo la cimentación cuenta con un mejoramiento en concreto de limpieza de 5 cm.

No se identificó sistemas de drenaje como filtros perimetrales, lo que ha saturado el subsuelo disminuyendo la capacidad de soporte.

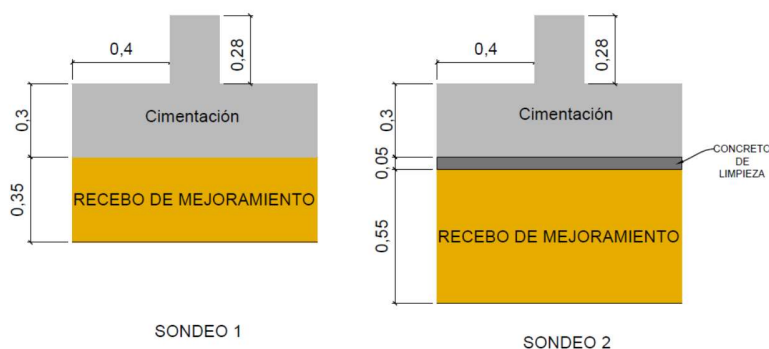


Figura 20. Esquema de cimentación torre 8 costados sur oriental y sur occidental.
(Fuente Estudio de suelos)

Capacidad portante - Asentamientos:

Con base en el tipo de suelo (principalmente arenoso), se evalúa la capacidad portante para un escenario con nivel freático y sin cohesión, por ello se evalúa por el método de Bowles el cual considera asentamiento no mayor a una pulgada, y se evalúa también por el método de Meyerhof teniendo en cuenta únicamente el ángulo de fricción del estrato arenoso. Para diseño se recomienda utilizar un N_{CORR} de 13 golpes y una cohesión de 28° , este último valor referenciado del estudio de suelos presentado por la firma geotecnia e ingeniería Ltda en año 1998.

Tabla 4.

Capacidad Portante con un desplante de -0.7 metros.

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE – CIMIENTO CONTINUO (MEYERHOF)																
Profundidad de desplante (Df): 0.7 m			Cohesión (c): 0.0 t/m ²			Inclinación de la carga (β): 0°			Esfuerzo efectivo (q): 1.3 t/m ²							
Peso específico del suelo (γ): 1.90 t/m ³			Ángulo de fricción (ϕ): 28°			Factor de seguridad (F.S.): 3										
Dimensiones	Df/B	Factores de carga, forma, profundidad e inclinación											Carga Última q_u (t/m ²)	Carga Admisible q_{adm} (t/m ²)	Carga Bruta Q_{adm} (t/m)	
		Nc	Nq	N γ	Fcs	Fqs	F γ s	Fcd	Fqd	F γ d	Fci	Fqi				F γ i
0.50	1.4	25.80	14.72	16.72	1.00	1.00	1.00	1.38	1.28	1.00	1.00	1.00	1.00	33.1	11.0	5.5
0.80	0.9	25.80	14.72	16.72	1.00	1.00	1.00	1.35	1.26	1.00	1.00	1.00	1.00	37.4	12.5	10.0
1.00	0.7	25.80	14.72	16.72	1.00	1.00	1.00	1.28	1.21	1.00	1.00	1.00	1.00	39.6	13.2	13.2
1.50	0.5	25.80	14.72	16.72	1.00	1.00	1.00	1.19	1.14	1.00	1.00	1.00	1.00	46.1	15.4	23.1
2.00	0.4	25.80	14.72	16.72	1.00	1.00	1.00	1.14	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	53.4	17.8	35.6
2.50	0.3	25.80	14.72	16.72	1.00	1.00	1.00	1.11	1.08	1.00	1.00	1.00	1.00	60.9	20.3	50.8
3.00	0.2	25.80	14.72	16.72	1.00	1.00	1.00	1.09	1.07	1.00	1.00	1.00	1.00	68.6	22.9	68.7
3.50	0.2	25.80	14.72	16.72	1.00	1.00	1.00	1.08	1.06	1.00	1.00	1.00	1.00	76.3	25.4	88.9

Fuente. Estudio de suelos.

Tabla 5.

Asentamientos inmediatos a -0.7 m. Cimientos aislados

CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS ELÁSTICOS INMEDIATOS					CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS ELÁSTICOS INMEDIATOS				
Módulo de elasticidad (Es): 2000 t/m ² Relación de poisson (μ): 0.4					Módulo de elasticidad (Es): 2000 t/m ² Relación de poisson (μ): 0.4				
Df = 0 y H = ∞					Df = 0 y H = ∞				
$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu^2) \alpha$					$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu^2) \alpha$				
Dimensiones	m (L/B)	Carga q ₀ (t/m ²)	α	Asentamiento Inmediato Se (mm)	Dimensiones	m (L/B)	Carga q ₀ (t/m ²)	α	Asentamiento Inmediato Se (mm)
Base B(m)					Base B(m)				
0.50	4.0	11.0	1.964	4.5	2.00	4.0	17.8	1.964	29.4
0.50	6.0	11.0	2.220	5.1	2.00	6.0	17.8	2.220	33.2
0.50	8.0	11.0	2.403	5.6	2.00	8.0	17.8	2.403	35.9
0.50	10.0	11.0	2.544	5.9	2.00	10.0	17.8	2.544	38.0
0.50	12.0	11.0	2.660	6.1	2.00	12.0	17.8	2.660	39.8
0.50	14.0	11.0	2.758	6.4	2.00	14.0	17.8	2.758	41.2
0.80	4.0	12.5	1.964	8.2	2.50	4.0	20.3	1.964	41.9
0.80	6.0	12.5	2.220	9.3	2.50	6.0	20.3	2.220	47.3
0.80	8.0	12.5	2.403	10.1	2.50	8.0	20.3	2.403	51.2
0.80	10.0	12.5	2.544	10.7	2.50	10.0	20.3	2.544	54.2
0.80	12.0	12.5	2.660	11.2	2.50	12.0	20.3	2.660	56.7
0.80	14.0	12.5	2.758	11.6	2.50	14.0	20.3	2.758	58.8
1.00	4.0	13.2	1.964	10.9	3.00	4.0	22.9	1.964	56.7
1.00	6.0	13.2	2.220	12.3	3.00	6.0	22.9	2.220	64.1
1.00	8.0	13.2	2.403	13.3	3.00	8.0	22.9	2.403	69.3
1.00	10.0	13.2	2.544	14.1	3.00	10.0	22.9	2.544	73.4
1.00	12.0	13.2	2.660	14.7	3.00	12.0	22.9	2.660	76.8
1.00	14.0	13.2	2.758	15.3	3.00	14.0	22.9	2.758	79.6
1.50	4.0	15.4	1.964	19.1	3.50	4.0	25.4	1.964	73.3
1.50	6.0	15.4	2.220	21.5	3.50	6.0	25.4	2.220	82.9
1.50	8.0	15.4	2.403	23.3	3.50	8.0	25.4	2.403	89.7
1.50	10.0	15.4	2.544	24.7	3.50	10.0	25.4	2.544	95.0
1.50	12.0	15.4	2.660	25.8	3.50	12.0	25.4	2.660	99.3
1.50	14.0	15.4	2.758	26.8	3.50	14.0	25.4	2.758	103.0

Fuente. Estudio de suelos.

Conclusiones y recomendaciones

Mediante dos perforaciones manuales con inspección del sistema de cimentación, se determinó que existen suelos homogéneos arenosos que se encuentran saturados. Hacia el costado occidental se identificó un relleno antrópico conformado por acillas de baja compresibilidad y consistencia blanda a media. Se conformó un mejoramiento en material granular tipo recebo que presenta un espesor entre 0.35m a 0.55m donde se soportan los cimientos de la torre.

Durante la exploración se identificaron niveles freáticos especialmente hacia el costado occidental, causado por filtraciones de escorrentía que percolan hacia el subsuelo.

Con el objeto de garantizar las condiciones proyectadas en el estudio de suelo realizado por la firma Geotecnia e ingeniería Ltda, se recomienda implementar un filtro perimetral hacia la base del talud que limita con la carrera 6D para evitar que las aguas lleguen a las zonas de construcción:

Se recomienda contemplar la construcción un filtro perimetral tipo francés en los costados occidental y sur del edificio en estudio, profundizado a -1.5m debido a la pendiente del terreno que facilita el empozamiento de aguas, y un ancho no inferior a 0.40m, envuelto en un Geotextil Gt 150 de 2500. Sin embargo, al realizar la excavación se deben proveer sistemas de entibados para garantizar la estabilidad de la excavación.

La cimentación consiste en cimientos corridos en T invertida materializados a -0.58m y 0.63m

Durante el proceso de inspección y perforación, no se observó fisuras, ni desprendimientos o corrimientos en la cimentación que puedan afectar la estabilidad del edificio.

Los procedimientos constructivos deberán de someterse a una continua supervisión Geotécnica, estructural, y los materiales a utilizar a un continuo y estricto control de calidad.

Verificación Del Estado Actual De La Estructura

La estructura presenta un sistema estructural de muros de carga, muros de mampostería de arcilla reforzada de bloque de perforación vertical, construido con vigencia del reglamento NSR-98 de la ley 400 de 1997 para una zona de amenaza sísmica intermedia, El sistema de entrepiso es de placa maciza unidireccional apoyada en los muros de mampostería que transfieren las cargas a la cimentación; la cimentación es superficial conformada por vigas continuas tipo T invertida. La estructuración presenta luces de 2.5m en promedio.

Para el procedimiento de evaluación se recopiló información existente acerca del diseño arquitectónico, diseño geotécnico y estructural. El estudio de suelos inicial plantea un tipo de suelo tipo S1, los planos estructurales y las memorias de cálculo describen un análisis por el método de la fuerza Horizontal equivalente y demás parámetros de acuerdo con la NSR-98.

La calidad del diseño y construcción de la estructura: es **BUENA** en su estado original y en su estado actual. No presenta mal comportamiento de la edificación debido a distribución irregular de la masa o la rigidez, ausencia de diafragmas, anclajes, amarres atípicos cumpliendo con lo estipulado en la NSR-98 Y NSR-10.

Estado de la Estructura: es **BUENA**. No presenta daños en elementos estructurales por sismos ocurridos con anterioridad, no presenta fisuración, ajena al evento de explosión, ni por temperatura, corrosión, carbonatación, asentamientos diferenciales, reformas o deflexiones excesivas. No hubo ocurrencia de eventos extraordinarios pasados, que hayan podido afectar la integridad de la estructura. Sin embargo, esta condición se debe esencialmente a la intervención inmediata de apuntalamiento que se realizó con parales y cerchas inmediatamente ocurrió el evento de la explosión. Es importante anotar que si no se hubiese instalado el apuntalamiento, la estructura del edificio se encontraría en un estado crítico con un alto riesgo de colapso. Por tal motivo, se

recomienda que la intervención propuesta en el presente estudio sea inmediata, teniendo en cuenta a cabalidad las recomendaciones constructivas y la propuesta de apuntalamiento.

Valores de ϕ_c y ϕ_e

	Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación		
	Buena	Regular	Mala
ϕ_c o ϕ_e	1.0	0.8	0.6

Figura 21. Valores de ϕ_c y ϕ_e . (Fuente NSR-98).

$$\phi_c = 1$$

$$\phi_e = 1$$

La verificación del estado actual de la estructura presenta una modificación en el acceso y la distribución del apartamento 102 con respecto a los planos en el eje 6 (A-B) y 7(A-B), y en lugar de las ventanas del eje 3'(D-D') existe un muro continuo en todos los 5 pisos.

Se adjunta la información previa: Planos Arquitectónicos, Planos Estructurales, estudio de suelos y las memorias de cálculo estructurales del Edificio.

Evaluación Estructura Existente: Vulnerabilidad Sísmica Estructural

Para realizar la evaluación de la estructura existe es necesario tener en cuenta los mismos parámetros y requisitos de las normas con que fue diseñada la estructura, para este caso, corresponde a las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR98. Sin embargo, una vez se realice la evaluación, dependiendo del uso de la edificación y de lo requerido por la norma o el propietario, debe ser actualizada al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10.

La evaluación de la estructura existente obedece al cumplimiento de los requisitos del capítulo A.10 de la NSR98, mediante la obtención de los índices de sobreesfuerzo y de flexibilidad de la estructura y a partir de estos la vulnerabilidad de la misma.

Tomado de la NSR98 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1998) A.10.8 –
ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

A.10.8.1 – General –el análisis de vulnerabilidad sísmica de una edificación existente consiste en los siguientes aspectos:

Determinación de los índices de sobreesfuerzo individual de todos los elementos estructurales de la edificación, considerando las relaciones entre la demanda sísmica de esfuerzo y la capacidad de resistirlos.

Formulación de hipótesis de secuencia de falla de la edificación con base en la línea de menor resistencia, identificando la incidencia de la falla progresiva de los elementos, iniciando con aquellos con un mayor índice de sobreesfuerzo.

(a). Definición de un índice de sobreesfuerzo general de la edificación. El inverso del índice de sobreesfuerzo general expresa la vulnerabilidad de la edificación como una fracción de la

resistencia que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del reglamento, y

(b). Obtención de un índice de flexibilidad general de la edificación, definido con base en el procedimiento A.10.3.3.5. El inverso del índice de flexibilidad general expresa la vulnerabilidad sísmica de la edificación como una fracción de la rigidez que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del reglamento.

Debe llevarse a cabo el cálculo y análisis estructural de la estructura de acuerdo a los requisitos de la NSR98. Para el proyecto, se realizó mediante el software especializado EngSolution RCB con licencia N. B29576-A5997 a nombre de los autores, y la verificación del diseño mediante hojas de cálculo bajo el Título D de la NSR-98 Y NSR-10; además, los requisitos de la NSR10, para las solicitaciones equivalentes, se utiliza el criterio de “movimientos sísmicos para un nivel de seguridad equivalente al de una edificación nueva”, artículo A.10.9.2.2. NSR10.

La evaluación de la estructura existente aplica para un edificio de cinco pisos de mampostería de arcilla reforzada de bloque de perforación vertical con uso residencial para la ciudad de Tunja, barrio la florida, conjunto residencial Florida Parque y sistema estructural de muros de carga.

La vulnerabilidad se realizó teniendo en cuenta el estado actual de la estructura evaluada de acuerdo con la ausencia de los muros que fallaron debido a la explosión y bajo los requisitos de la NSR-98, aplicación de título A. “Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente”, obteniéndose los siguientes resultados: En esta evaluación bajo la NSR-98 el coeficiente de capacidad de disipación de energía es: $R_o=3.5$, $\phi_a=0.9$, $\phi_p =1.0$; $R'=\phi_a \phi_p R_o = 1.0*0.9*3.5=3.15$.

Teniendo en cuenta los requisitos de la NSR-98 en su capítulo A.10, los índices de Sobre esfuerzo y Flexibilidad se definen de la siguiente manera:

Índice de sobreesfuerzo NSR98:

“NSR98, A.10.3.3.1. **El índice de sobreesfuerzo** se expresa como el cociente entre las solicitaciones equivalentes, calculadas de acuerdo con A.10.3.2 y la resistencia efectiva” (N_{ef}). (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1998)

(a). El índice de sobreesfuerzo de los elementos, se refiere al índice de sobreesfuerzo de cada uno de los elementos estructurales individuales,

(b). El índice de sobreesfuerzo de la estructura, cuando se determina para toda la estructura, evaluando los elementos con un mayor índice de sobreesfuerzo individual y tomando en consideración su importancia dentro de la resistencia general de la estructura como un conjunto.

“NSR98 A.10.3.3.2 – *Determinación del índice de sobreesfuerzo* – para todos los elementos de la estructura y para todos los efectos tales como cortante, flexión, tensión, etc., debe dividirse la fuerza o esfuerzo que se le exige al aplicar las solicitaciones equivalentes, mayoradas de acuerdo con el procedimiento dado en el título B del reglamento y para las combinaciones de carga dadas allí, por la resistencia efectiva del elementos. El índice de sobreesfuerzo para toda la estructura corresponderá al mayor valor obtenido de estos cocientes entre los elementos que puedan poner en peligro la estabilidad general de la edificación.” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1998).

“NSR98 A.10.3.3.3 – *Resistencia existente entre los elementos* –la resistencia existente entre los elementos de la estructura, N_{ex} , debe ser determinada por el ingeniero que hace la evaluación con base a la información disponible y utilizando su mayor criterio y experiencia. Por resistencia se define el nivel de fuerza o esfuerzo al cual le elemento deja de responder en el rango elástico o el nivel al cual los materiales frágiles llegan a su resistencia máxima o el nivel al cual los materiales dúctiles inician su fluencia. En general la resistencia existente corresponde a los valores que se

obtienen para cada material estructural al aplicar los modelos de resistencia que prescribe el Reglamento en los títulos correspondientes.” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1998).

NSR98 A.10.3.3.4 – *Resistencia efectiva* –la resistencia efectiva N_{ef} de los elementos, o de la estructura en general, debe evaluarse como el producto de la resistencia existente N_{ex} multiplicada por los coeficientes de reducción de la resistencia $\phi_c \phi_e$ así:

$$N_{ef} = N_{ex} \phi_c \phi_e \quad (A. 10-1)$$

Donde a $\phi_c \phi_e$ se les asigna el valor dado en la tabla A.10-1, dependiendo de la calificación de la calidad y estado de la estructura definidas en A.10.2.2.1 y A. 10.2.2.3.

De los resultados del análisis estructural, mediante software especializado, se obtuvo los índices de sobre esfuerzo de la estructura con los siguientes valores:

Índice de sobreesfuerzo de la estructura NSR98:

Compresión Axial	0.73	$P_u / \phi P_n$	Cumple NSR-98
Axial - Flexión	2.80	$M_u / \phi M_n$	NO Cumple NSR-98
Cortante	0.50	V_u / V_n	Cumple NSR-98

Los resultados del índice de sobreesfuerzos de los elementos se presentan en el anexo 8.

Índice de flexibilidad NSR98:

“NSR98 A.10.3.3.5 – *definición del índice de flexibilidad* – debe determinarse un índice de flexibilidad, el cual indica la susceptibilidad de la estructura a tener deflexiones o derivas excesivas, con respecto a las permitidas por el Reglamento”. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1998) Tiene dos acepciones:

Índice de flexibilidad del piso, el cual se define como el cociente entre la deflexión o deriva obtenida del análisis de la estructura, y la permitida por el reglamento, para cada uno de los pisos de la edificación.

Índice de flexibilidad de la estructura, definido como el mayor valor de los índices de flexibilidad de piso de toda la estructura. Se debe evaluar para las deflexiones verticales y para las derivas.

Los valores límites de la deriva están definidos en la Tabla A.6.-1, de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo resistentes NSR98.

DERIVAS MAXIMAS COMO PORCENTAJE DE h_{pi}

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2	1.0% ($\Delta_{max}^i \leq 0.010 h_{pi}$)
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3	0.5% ($\Delta_{max}^i \leq 0.005 h_{pi}$)

Figura 22. Derivas de piso Máximas. (Fuente NSR-98).

De los resultados del análisis estructural, mediante software especializado, se obtuvo los índices de flexibilidad de la estructura con los siguientes valores:

Índice de flexibilidad de la estructura NSR98:

Sentido x=0.52% **NO Cumple NSR-98**, sentido y=0.19% Cumple NSR-98.

Índice de flexibilidad de piso NSR98:

P-DELTA ANALYSIS - SUMMARY MAXIMUM STORY DRIFT RATIO, Δ/h

Story	Drift-Ratio at CENTER OF MASS			MAXIMUM Corner Story-Drift-Ratio			
	DriftX	DriftY	DriftR	DriftX	DriftY	DriftR	Axis
Cub	0.0010	0.0007	0.0010	0.0010	0.0007	0.0010	J-9
P5	0.0047	0.0007	0.0047	0.0047	0.0015	0.0047	O-13
P4	0.0051	0.0008	0.0052	0.0052	0.0019	0.0052	O-13
P3	0.0051	0.0008	0.0051	0.0052	0.0017	0.0052	O-13
P2	0.0042	0.0008	0.0042	0.0043	0.0015	0.0043	O-13
P1	0.0019	0.0004	0.0019	0.0019	0.0008	0.0019	N-13a
Maxima	0.0051	0.0008	0.0052	0.0052	0.0019	0.0052	

DriftX = $(\Delta x/h)_{max}$
 DriftY = $(\Delta y/h)_{max}$
 DriftR = $([(\Delta x/h)^2 + (\Delta y/h)^2]^{1/2})_{max}$

Figura 23. Derivas de piso Evaluación Existente. (Fuente Elaboración propia).

Diseño De Intervención Y Alternativa De Refuerzo Sísmico

La propuesta de intervención y alternativa de refuerzo sísmico se evaluó de acuerdo con la NSR-10, y consiste en restaurar los muros de mampostería que fallaron a causa de la explosión, obteniéndose los siguientes resultados:

En esta evaluación bajo la NSR-10 el coeficiente de capacidad de disipación de energía es:
 $R_o=2.5$, $\phi_a=0.9$, $\phi_p=1.0$, $\phi_r=1.0$, $R'=\phi_a \phi_p \phi_r R_o = 0.9*1.0*1.0*2.5=2.25$

Teniendo en cuenta los requisitos de la NSR-10 en su capítulo A.10, los índices de Sobreefuerzo y Flexibilidad se definen similarmente a la NSR-98; puede consultarse NSR-10.

De los resultados del análisis estructural, mediante software especializado, se obtuvo los índices de sobre esfuerzo de la estructura con los siguientes valores:

Índice de sobreefuerzo de la estructura NSR10:

Compresión Axial	0.95	$P_u / \phi P_n$	Cumple NSR-10
Axial - Flexión	0.84	$M_u / \phi M_n$	Cumple NSR-10
Cortante	0.49	V_u / V_n	Cumple NSR-10

Los índices de sobreefuerzo de cada elemento son presentados adjuntos en las memorias de cálculo de la vulnerabilidad en anexo 10.

Índice de flexibilidad NSR10:

Los valores límites de la deriva están definidos en la Tabla A.6.4-1, del Reglamento colombiano de construcción Sismo resistente NSR10.

Derivas máximas como porcentaje de h_{pi}

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2	1.0% $(\Delta_{max}^i \leq 0.010 h_{pi})$
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3	0.5% $(\Delta_{max}^i \leq 0.005 h_{pi})$

Figura 24. Derivas de piso Máximas. (Fuente NSR-10).

De los resultados del análisis estructural, mediante software especializado, se obtuvo los índices de flexibilidad de la estructura con los siguientes valores:

Índice de flexibilidad de la estructura NSR10:

Sentido x=0.39%, sentido y=0.13%, Cumple NSR-10. Los índices de flexibilidad de piso son presentados en las memorias de cálculo de la vulnerabilidad.

Índice de flexibilidad de piso NSR10:

LINEAR ANALYSIS - SUMMARY MAXIMUM STORY DRIFT RATIO, d/h

Story	Drift-Ratio at CENTER OF MASS			MAXIMUM Corner Story-Drift-Ratio		
	DriftX	DriftY	DriftR	DriftX	DriftY	DriftR
Cub	0.0007	0.0005	0.0007	0.0007	0.0005	0.0007
P5	0.0033	0.0005	0.0033	0.0034	0.0011	0.0034
P4	0.0038	0.0007	0.0038	0.0039	0.0013	0.0039
P3	0.0036	0.0007	0.0036	0.0037	0.0013	0.0037
P2	0.0029	0.0006	0.0029	0.0030	0.0011	0.0030
P1	0.0013	0.0003	0.0013	0.0014	0.0006	0.0014
Maxima	0.0038	0.0007	0.0038	0.0039	0.0013	0.0039

$$\begin{aligned} \text{DriftX} &= (\Delta x/h)_{\max} \\ \text{DriftY} &= (\Delta y/h)_{\max} \\ \text{DriftR} &= \left([(\Delta x/h)^2 + (\Delta y/h)^2]^{1/2} \right)_{\max} \end{aligned}$$

Figura 25. Derivas de piso Diseño de intervención. (Fuente Elaboración propia).

Análisis De Precios Unitarios y Presupuesto.

El diseño de la intervención corresponde a la conformación original de los muros estructurales de la edificación, afectados por la explosión, cumpliendo con los requisitos de la NSR10. Para su ejecución se establecen lineamientos y recomendaciones constructivas, los cuales determinan el costo de la intervención.

Se han elaborado precios unitarios para cada una de las actividades según diseño de intervención, acorde a las condiciones locales del mercado. Se presenta a continuación el presupuesto general de intervención. En anexo 11 se indica el Análisis de Precio Unitario para cada una de las actividades planteadas.

Tabla 6.
Presupuesto Diseño de Intervención.

ITEM	ACTIVIDAD	UND	CANT	VR UNIT.	VR. TOTAL
1 PRELIMINARES					
1.1	CERRAMIENTO EN TEJA ZINC H=2.4m	ML	20.00	\$ 43,248	\$ 864,956
1.2	APUNTALAMIENTO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO	M2	32.00	\$ 34,502	\$ 1,104,064
1.3	DEMOLICION MUROS DE LADRILLO ESTRUCTURAL E=0.15m	M2	45.31	\$ 31,752	\$ 1,438,683
1.4	DESMONTE DE MARCOS Y PUERTAS	M2	5.52	\$ 8,203	\$ 45,281
1.5	DESMONTE VENTANAS	M2	3.24	\$ 7,031	\$ 22,780
1.6	DEMOLICION DE PLACA ENTREPISO PARA REPARACIÓN	M2	5.85	\$ 45,690	\$ 267,287
1.7	RETIRO DE SOBLENTE VIAJE 3.0m3	VJ	10.00	\$ 45,360	\$ 453,600
	SUBTOTAL				\$ 4,196,651
2 CIMENTACION Y DESAGUES					
2.1	EXCAVACIÓN MANUAL Y RETIRO, EN SUELO COMUN PARA FILTRO	M3	22.50	\$ 37,295	\$ 839,138
2.2	FILTRO TIPO FRANCES DE 1.50x0.50m	ML	30.00	\$ 176,585	\$ 5,297,550
2.3	CAJA DE INSPECCIÓN 0.80x0.80x0.80m	UN	2.00	\$ 366,512	\$ 733,024
2.4	TUBERIA NOVAFORT DIAMETRO 6" Y ACCESORIOS	ML	10.00	\$ 73,477	\$ 734,770
	SUBTOTAL				\$ 7,604,482
3 MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL					
3.1	REPARACIÓN PLACA ENTREPISO	M2	5.85	\$ 656,326	\$ 3,839,507
3.2	MURO EN LADRILLO ESTRUCTURAL E=0.15m	M2	47.04	\$ 253,711	\$ 11,933,297
3.3	MURO EN LADRILLO PENSADO - ANTEPECHOS	M2	4.04	\$ 83,176	\$ 335,823
3.4	SELLADO DE FISURAS EN MUROS Y PLACAS	ML	11.00	\$ 96,718	\$ 1,063,898
3.5	LAVADA LADRILLO	M2	109.15	\$ 21,827	\$ 2,382,308
	SUBTOTAL				\$ 19,554,833

ITEM	ACTIVIDAD	UND	CANT	VR UNIT.	VR. TOTAL
4 INSTALACION ELECTRICA					
4.1	SALIDA LAMPARA TOMA PVC COMPLETA	UN	6.00	\$ 108,825	\$ 652,950
4.2	SALIDA LAMPARA INTERRUPTOR DOBLE PVC COMPLETA	UN	4.00	\$ 125,225	\$ 500,900
4.3	SALIDA TV PVC COMPLETA	UN	2.00	\$ 94,105	\$ 188,210
4.4	SALIDA TELEFONO PVC COMPLETA	UN	2.00	\$ 103,305	\$ 206,610
	SUBTOTAL				\$ 1,548,670
5 BAÑO					
5.1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN BAÑO	UN	1.00	\$ 1,269,133	\$ 1,269,133
	SUBTOTAL				\$ 1,269,133
6 CARPINTERIA					
6.1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN VENTANERIA CALIBRE 18 CON VIDRIO INCLUYE ANTICORROSIVO	M2	7.40	\$ 180,781	\$ 1,336,875
6.2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN PUERTA MADERA Y MARCO METALICO.	M2	7.36	\$ 170,971	\$ 1,258,347
	SUBTOTAL				\$ 2,595,222
7 PINTURA					
7.1	ESTUCO Y VINILO (TIPO 1) TRES MANOS BAJO PLACA	M2	76.21	\$ 12,884	\$ 981,890
	SUBTOTAL				\$ 981,890
8 VARIOS					
8.1	SUMINISTRO Y SIEMBRA CÉSPED INCLUYE TIERRA NEGRA h=0.20m	M2	21.00	\$ 49,453	\$ 1,038,513
8.2	ASEO GENERAL PARA ENTREGA	M2	100.00	\$ 5,670	\$ 567,000
	SUBTOTAL				\$ 1,605,513
SUBTOTAL COSTO DIRECTO					\$ 39,356,393
ADMINISTRACION			20.0%		\$ 7,871,279
IMPREVISTOS			5.0%		\$ 1,967,820
UTILIDADES			5.0%		\$ 1,967,820
SUB TOTAL AIU					\$ 11,806,918
TOTAL OBRA					\$ 51,163,310
INTERVENTORIA			8.0%		\$ 4,093,065

Fuente. Autores.

Observaciones, Recomendaciones Y Conclusiones

Ensayos o Pruebas De Campo

Con base en los ensayos realizados sobre los materiales que componen la estructura se puede afirmar que, desde el punto de vista de los materiales estructurales (concreto, acero de refuerzo y mampostería), no existe problemas de durabilidad en la estructura, por lo que el análisis estructural definirá las acciones a seguir para la rehabilitación de la misma.

El resultado de carbonatación de 2mm, indica que la estructura está lejos de verse comprometida por corrosión del acero de refuerzo, el cual aparece gris y sin señales de corrosión al hacer el apique de verificación.

Para este caso se tiene un pH alto (no está carbonatado el concreto) y potenciales entre -21mV y -34mV. Ausencia de cloruros y humedad alta, conduce a clasificar como despreciable el riesgo de corrosión.

Los valores de resistencias de los ladrillos que varía entre 25.9MPa y 29MPa y la resistencia del concreto grouting o de relleno de las celdas que fue de 21MPa a 29MPa, están por encima de los valores del diseño estructural.

Condiciones Geotécnicas

Basados en la exploración realizada por la firma APP CONTROL INGENEIRIA SAS mediante dos sondeos a profundidades entre 2.5 y 3.5 metros, y el estudio de suelos realizado por la firma Geotecnia e Ingeniería Ltda en el año de 1998 se definen similitudes y diferencias así:

En ambos estudios se identifica nivel freático entre 1.1 y 1.8 metros.

La estratigrafía encontrada en ambos estudios es homogénea y similar.

El sistema de cimentación recomendado por el estudio de suelos original (firma Geotecnia e Ingeniería Ltda), donde plantea cimientos en T invertida, se construyó siguiendo dicha

recomendación y se pudo identificar que se materializó a -0.58m sobre una material de mejoramiento tipo recebo.

La firma Geotecnia e ingeniería Ltda, recomienda implementar un filtro perimetral hacia la base del talud que limita con la carrera 6D para evitar que las aguas lleguen a las zonas de construcción, y de acuerdo a la inspección realizada por la firma APP CONTROL INGENIERÍA SAS, se recomienda en lo posible contemplar la construcción de un filtro perimetral tipo francés en los costados occidental y sur del edificio en estudio, profundizado a -1.5m debido a la pendiente del terreno que facilita el empozamiento de aguas, y un ancho no inferior a 0.4m, envuelto en un Geotextil Gt 150 de 2500.

Se difiere en el perfil de suelo identificado por ambas empresas, puesto que la firma Geotecnia e Ingeniería Ltda argumenta que el perfil de suelo explorado con base en al NSR 98 es un tipo S1, mientras que la firma APP CONTROL INGENIERÍA SAS lo determina como un S2, lo que modifica los espectros de diseño.

Verificación Del Estado Actual De La Estructura

La estructura presenta un sistema estructural de muros de carga, muros de mampostería de arcilla reforzada de bloque de perforación vertical, construido con vigencia del reglamento NSR-98 de la ley 400 de 1997 para una zona de amenaza sísmica intermedia. El sistema de entrepiso es de placa maciza unidireccional apoyada en los muros de mampostería que transfieren las cargas a la cimentación, la cimentación es superficial conformada por vigas continuas tipo T invertida. La estructuración plantea luces de 2.5m en promedio.

Para el procedimiento de evaluación se recopiló información existente acerca del diseño arquitectónico, diseño geotécnico y estructural. El estudio de suelos inicial plantea un tipo de suelo

tipo S1, los planos estructurales y las memorias de cálculo que describen un análisis por el método de la fuerza Horizontal equivalente y demás parámetros de acuerdo con la NSR-98.

La calidad del diseño y construcción de la estructura: es **BUENA** en su estado original y en su estado actual. No presenta mal comportamiento de la edificación debido a distribución irregular de la masa o la rigidez, ausencia de diafragmas, anclajes, amarres atípicos cumpliendo con lo estipulado en la NSR-98 y NSR-10.

Estado de la Estructura: es **BUENA**. No presenta daños en elementos estructurales por sismos ocurridos con anterioridad, no presenta fisuración, ajena al evento de explosión, ni por temperatura, corrosión, carbonatación, asentamientos diferenciales, reformas o deflexiones excesivas. No hubo ocurrencia de eventos extraordinarios pasados, que hayan podido afectar la integridad de la estructura. Sin embargo, esta condición se debe esencialmente a la intervención inmediata de apuntalamiento que se realizó con parales y cerchas ocurrido el evento de la explosión. Se recomienda que la intervención propuesta en el presente estudio sea inmediata, teniendo en cuenta a cabalidad las recomendaciones constructivas y la propuesta de apuntalamiento.

Evaluación Estructura Existente (Vulnerabilidad Sísmica Estructural)

La evaluación de la estructura existente obedece al cumplimiento de los requisitos del capítulo A.10 de la NSR98, mediante la obtención de los índices de sobreesfuerzo y de flexibilidad de la estructura y a partir de estos la vulnerabilidad de la misma.

El cálculo y análisis estructural está elaborado mediante software especializado EngSolution RCB con licencia N. B29576-A5997, y la verificación del diseño mediante hojas de cálculo bajo el Título D de la NSR-98 Y NSR-10, Para movimientos sísmicos para un nivel de seguridad equivalente al de una edificación nueva. Título A.10.9.2.2.

La evaluación de la estructura existente aplica para un edificio de cinco pisos de mampostería de arcilla reforzada de bloque de perforación vertical con uso residencial para la ciudad de Tunja, barrio la florida, conjunto residencial Florida Parque y sistema estructural de muros de carga.

La vulnerabilidad se realizó teniendo en cuenta el estado actual de la estructura evaluada de acuerdo con la ausencia de los muros que fallaron debido a la explosión y bajo los requisitos de la NSR-98, aplicación de título A. “Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente”, obteniéndose los siguientes resultados: En esta evaluación bajo la NSR-98 el coeficiente de capacidad de disipación de energía es: $R_o=3.5$, $\phi_a=0.9$, $\phi_p=1.0$; $R'=\phi_a \phi_p R_o = 1.0*0.9*3.5=3.15$.

Compresión Axial	0.73	$P_u / \phi P_n$	Cumple NSR-98
Axial - Flexión	2.80	$M_u / \phi M_n$	NO Cumple NSR-98
Cortante	0.50	V_u / V_n	Cumple NSR-98

- Índice de flexibilidad de la estructura: sentido X=.52% **No Cumple NSR-98**, sentido Y=.19% Cumple NSR-98.

Diseño De Intervención NSR-10

La propuesta de intervención y alternativa de refuerzo sísmico se evaluó de acuerdo con la NSR-10, y consiste en restaurar los muros de mampostería que fallaron a causa de la explosión, obteniéndose los siguientes resultados:

En esta evaluación bajo la NSR-10 el coeficiente de capacidad de disipación de energía es: $R_o=2.5$, $\phi_a=0.9$, $\phi_p=1.0$, $\phi_r=1.0$, $R'=\phi_a \phi_p \phi_r R_o = 0.9*1.0*1.0*2.5=2.25$

- Índice de sobreesfuerzo de la estructura:

Compresión Axial	0.95	$P_u / \phi P_n$	Cumple NSR-10
Axial - Flexión	0.84	$M_u / \phi M_n$	Cumple NSR-10
Cortante	0.49	V_u / V_n	Cumple NSR-10

- Índice de flexibilidad de la estructura: sentido X=.39% sentido Y=.13%, cumple NSR-10

Recomendaciones Constructivas De Intervención De Las Actividades Relevantes

Dadas las condiciones en que se encuentra la edificación (apuntalamiento), debe seguirse de manera rigurosa las recomendaciones constructivas estructurales, pues el no tenerlo en cuenta puede afectar la estabilidad global de la edificación. El orden de ejecución de las actividades se formula con base en las actividades definidas en el presupuesto de mayor relevancia.

Apuntalamiento estructural de la edificación.

Se debe mantener el apuntalamiento existente reforzándolo en los sitios donde se adelanten tareas de reparación y/o reforzamiento de la estructura. El apuntalamiento se propone con cerchas y paraleles debidamente arriostrados en dirección norte-sur o paralelo a los ejes alfabéticos.

Cuando se vaya a intervenir un muro para reforzar, o en este caso, para sustituirlo se propone: permitir el paso de la cercha a lado y lado del muro al menos 0.80m perpendicular a la dirección del muro, rompiendo el muro en las zonas de pases de la cercha separadas máximo cada 0.60m, para posteriormente retirar el muro afectado por tramos no mayores a 2.5m. Cabe resaltar, que el contratista está en la obligación de calcular la estructura de apuntalamiento para establecer su dimensionamiento y capacidad resistente.

Reparación placa entrepiso.

Una vez esté debidamente apuntalada la estructura de la edificación, se procede a reparar la placa de entrepiso localizada en el eje 19 entre H-J. Esta reparación consiste en retirar con maceta y puntero o martillo pequeño el espesor de concreto por debajo de la placa, hasta llegar al acero de refuerzo, dejándolo al menos la mitad de diámetro expuesto; posteriormente se refuerza la placa con varillas #3 de longitud de 1.0m, desde el borde de la placa incluidas o ancladas por dentro de la viga desde el borde, separadas cada 0.15m en toda la zona afectada. Para el anclaje de las varillas

puede emplearse Sika Anchor Fix4 o similar. Luego se reconforma la sección de la losa, previa limpieza de polvo y grasa, utilizar epóxico de puente de adherencia entre concreto viejo y concreto o mortero nuevo de reparación, se puede emplear SikaDur 32 o similar. Como mortero de reparación puede emplearse Sikatop 122 o similar, o concreto de reparación Sika Concrelisto-RE5000 o similar si el espesor de reparación es superior a 0.05m. Para el uso de cada producto Sika o similar, debe seguirse las recomendaciones de cada ficha técnica.

Reconstrucción y sustitución de muros estructurales en mampostería.

Reparada la placa de entpiso se procede a la intervención de los muros estructurales de mampostería, que garantice propiedades y características similares a la mampostería existente. Se propone un orden de intervención de los muros estructurales. El orden debe ser: 1-Muro eje 16 (H-I), 2-Muro eje 16 (I-K), 3-Muro eje H (16-19), 4-Muro eje 19 (G-I), 5-Muro eje J (17-19), 6-Muro eje 19 (J-L), 7-Muro eje 18-N (18-19), 8-Muro eje 19 (N-N') y 9-Muro eje 19 (N'-M).

Se propone la intervención de los muros de la siguiente manera: Se retira y limpia la zona de construcción del muro hasta el nivel de placa de contrapiso o hasta la viga de cimentación, dependiendo del estado de la mampostería. Luego se anclan las varillas del diseño de la mampostería en la viga de amarre, si aplica; se empieza las hiladas de mampostería colocando los refuerzos horizontales cada cinco hiladas correspondiente a 2#2, se colocan los refuerzos verticales para cada muro de acuerdo al detalle del diseño de intervención; el mortero de pega debe ser un mortero de reparación tipo Sika 122 o similar de baja contracción y para la última hilada utilizar mortero grouting tipo SikaGrout 200 de cero contracción. Para el lleno de las celdas o dovelas emplear concreto tipo Sika Concrelisto-RE5000.

Reconstrucción muros no estructurales en mampostería.

Corresponde a los muros antepechos como muros no estructurales; se propone su construcción en mampostería de perforación vertical con refuerzos en acero #4 vertical en elementos de borde y acero horizontal con 2#2 cada cinco hiladas. No requiere de tratamiento especial.

Las demás actividades pueden desarrollarse en distinto orden previo ejecución de las anteriores y las que se requieran para incorporar instalaciones en la mampostería.

Las cerchas utilizadas como apuntalamiento se deben retirar una vez se alcance la resistencia final del mortero y/o concreto y ésta se logra a los 28 días, para lo cual se puede utilizar aditivos acelerantes a la mezcla para que se pueda reducir el tiempo de retiro de cerchas al menos en 15 días. El retiro de las cerchas debe ser por sectores y con intervalos mínimo de un día.

Recomendaciones Para la Intervención.

El sistema de apuntalamiento instalado, ocurrido el evento de la explosión, mantiene temporalmente la estabilidad de la estructura retardando un incremento significativo de daños en todos los elementos estructurales.

Debe tenerse en cuenta a cabalidad la recomendación constructiva de intervención propuesta en el presente estudio y hacerse de forma inmediata. Además, los elementos de apuntalamiento actual no son garantía de estabilidad estructural del edificio, más aún cuando pueda ocurrir un evento sísmico. Es de vital importancia llevar a cabo esta recomendación.

Para realizar la intervención propuesta se requiere de personal calificado en este tipo de actividades. Sólo podrá modificarse la recomendación constructiva de intervención, si las condiciones de equipos y materiales a emplear permiten una mejor propuesta de intervención; esto previo consentimiento expreso del consultor del presente estudio.

Hasta tanto no se haya realizado la intervención constructiva propuesta, el edificio no podrá ser ocupado por sus residentes, pues existe riesgo de colapso al estar comprometida la estabilidad estructural de la edificación.

Presupuesto.

El costo total estimado para la intervención a causa de la explosión para recuperar el estado de la estructura y cumplir con los requisitos de la NSR-10 es de (\$55'256.3750) cincuenta y cinco millones doscientos cincuenta y seis mil trescientos setenta y cinco pesos.

Referencias

- Argos. (2018). *Mampostería Estructural*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/mamposteria-estructural>
- Argos. (2018). *Tecnología del Concreto - Sistema Estructural Muros de Carga*. Obtenido de 360 en Concreto: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/sistema-de-muros-de-carga-para-edificaciones>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (1998). *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR98* (Vol. N.1). Bogotá, Colombia.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2017). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10*. Bogotá, Colombia.
- CYTED. (1997). *Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión de Estructuras de Hormigón armado*. Rio de Janeiro.
- García Reyes, L. E. (1998). En *Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico* (pág. 13). Bogotá: Uniandes.
- Ladrillera-Santafé. (2018). *Ladrillo Portante 30 Terracota*. Obtenido de <https://www.santafe.com.co/estructurales/ladrillo-portante-30-terracota/>
- Luccioni, B. M., Ambrosini, D., & Danesi, R. (Noviembre de 2003). *Colapso Estructural Bajo Cargas Explosivas - CONICET, Instituto de Estructuras, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina*. Obtenido de <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/706/668>
- Roballo Díaz, H. A. (2016). *Pasantía en la obra Andria Casas: Construcción en Mampostería Estructural - Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. Recuperado el 2018, de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3190/1/HenryAlfonsoRoballoDiaz.pdf>
- Rochel Awad, R. (2012). En *Análisis y diseño Sísmico de edificios* (págs. 28-29). Medellín: EAFIT.