



ESTUDIO DE

**“VULNERABILIDAD SÍSMICA Y
PATOLÓGICO DE LA INSTITUCIÓN
UNIVERSITARIA, TECNOLÓGICO DE
ANTIOQUIA”**

(T. de A.-IU)



INFORME PRESENTADO A:

**“INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA,
TECNOLÓGICO DE ANTIOQUIA”**

(T. de A.-IU)

CONTRATO INSTITUCIONAL N° 088-2010

**LABEST
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE MINAS**

SEDE MEDELLÍN

2011

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Para comprender como va interactuar y responder una estructura que estará sometida a diferentes eventos durante su vida útil, es necesario estudiar principalmente los **aspectos geológicos o naturales** que pueden afectarla, como pueden ser: ubicación cercana o lejana de fallas geológicas y la profundidad en las que se encuentren, la ubicación del terreno respecto a fuentes hídricas que puedan producir inundaciones o altos niveles freáticos, el empuje de corrientes de viento y la amplificación de las aceleraciones del terreno respecto a la aceleración en roca.

Además de estos aspectos naturales, son de vital importancia los **aspectos estructurales**, entre los cuales se destacan: el uso que se le dé al edificio, su configuración estructural, el tipo y calidad de los materiales, calidad de los diseños y el cuidado que se haya seguido durante la construcción e instalación de la edificación (Ramos, 2003).

Para poder abordar este estudio es necesario tener presentes los siguientes conceptos: Riesgo sísmico, Amenaza Sísmica y Vulnerabilidad Sísmica.

1.1.2 Riesgo Sísmico

Según Ramos (2003), se entiende por riesgo sísmico, el grado de pérdidas esperadas que sufren las estructuras durante el lapso de tiempo que permanecen expuestas a la acción sísmica. El riesgo sísmico está ligado tanto a la ocurrencia de eventos sísmicos que afecten a la estructura (amenaza sísmica) como a la respuesta de esta ante dichos movimientos del terreno (vulnerabilidad sísmica).

1.1.3 Amenaza Sísmica

La *Amenaza Sísmica*, es principalmente función de la respuesta del terreno y de la actividad sísmica en la zona (Bonnet, 2003).

1.1.4 Vulnerabilidad Sísmica

Según Bonnet (2003), la vulnerabilidad sísmica de una estructura se define como la predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño.

La vulnerabilidad sísmica se puede realizar a muchas partes de la estructura, entre las cuales sobresalen:

- Elementos estructurales
- Elementos no estructurales
- Contenidos (maquinarias, muebles, enseres y demás elementos que formen el mobiliario de la estructura).

Un estudio de vulnerabilidad sísmica no sólo atiende la vulnerabilidad de los elementos estructurales sino que también, está asociada a la organización humana y a su relación con la infraestructura. Esta relación debe considerar los distintos estados de la infraestructura para las diversas situaciones de desastre.

1.1.5 Daño Sísmico

El daño es el grado de destrucción debido a una acción externa. El daño en la estructura se evalúa tanto global como localmente. Desde el punto de vista estructural se califica el daño sísmico, a partir de la deriva de piso y de la resistencia de los elementos estructurales.

El daño sísmico sobre los elementos estructurales puede ser debido a problemas de:

- Configuración geométrica (irregularidades en planta y altura).
- Concentración de esfuerzos debido a plantas complejas.
- Efectos de columnas débiles.
- Excesiva flexibilidad estructural.
- Excesiva flexibilidad del diafragma de piso (lo que implica deformaciones laterales no uniformes).

1.1.6 Reducción de la Vulnerabilidad Sísmica

Muchas de las **edificaciones existentes** en Colombia **no cumplen** con las **normativas técnicas REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR-10)**, para que se asegure su funcionamiento después de que ocurra un desastre natural; lo que significa, que su **vulnerabilidad puede ser tan alta, que su riesgo puede exceder los niveles aceptados actualmente.** Por lo tanto es necesario que se tomen las medidas de mitigación, con base a los requisitos ingenieriles y así, reducir el riesgo.

Para una estructura altamente vulnerable, es necesario reestructurarla o rehabilitarla, con el objetivo de aumentar su resistencia, disminuir los desplazamientos, aumentar la ductilidad por curvatura y lograr una distribución adecuada de las fuerzas, entre los diferentes elementos resistentes tanto en planta como en altura.

1.2 CONSIDERACIONES GENERALES

A continuación se presenta una breve descripción del surgimiento del **Tecnológico de Antioquia-Institución Universitaria** (T. de A.-IU), que inició labores académicas en 1983, como institución pública de educación superior dedicada principalmente a la formación técnica y tecnológica. La actual IU tuvo sus orígenes en el *Centro Educacional Femenino de Antioquia -CEFA-*, el cual, en 1979, fue facultado para ofrecer programas de educación superior en la modalidad tecnológica. En diciembre de 1982, expedido por el ICFES, concedió licencia de funcionamiento a los programas de *Tecnología en Educación Especial, Educación Preescolar y Educación Básica* (Gobernación de Antioquia, 2009).

El 14 de marzo de 1983, se iniciaron las clases de estos tres programas, desarrollados combinando la metodología presencial y a distancia. Posteriormente, se implementaron otros nuevos programas: *Administración Documental y Micrografía, Secretariado Comercial y Gerontología*.

Hoy, la Institución cuenta con 26 programas, de los niveles técnico profesional, tecnológico y profesional universitario, todos ellos con registro calificado y uno (1) con acreditación de alta calidad (*Educación Preescolar*), ofrecidos por medio de cinco (5) facultades: *Educación y Ciencias Sociales, Ciencias Forenses y de la Salud, Informática, Administración y Ciencias de la Tierra y del Ambiente*. Mediante la Ordenanza 56 del 14 de diciembre de 1989 se modifica el nombre de **Instituto Central Femenino por el de Tecnológico de Antioquia**, acto administrativo que le dio identidad como una institución educativa de nivel superior (Gerencia de Comunicación, 2009).

Como otro gran paso en el proceso de crecimiento y transformación a Institución Universitaria, el entonces **Gobernador de Antioquia, Álvaro Uribe Vélez y el Rector del T. de A., Humberto Saldarriaga**, firmaron el 18 de noviembre de 1997, la escritura pública de compraventa de la actual sede, en el **Sector de Robledo**, de 37.992 metros cuadrados, la cual permitió aumentar la cobertura educativa y mejorar las condiciones académicas, administrativas y de bienestar para toda la comunidad universitaria (las labores académicas en la *Sede Central de Robledo* se iniciaron en el primer semestre de 1999).

En el 2008, la celebración de los 25 años de vida académica del T. de A.-IU, se dio a la par con la entrega y construcción de importantes obras de infraestructura, entre ellas, la *Biblioteca Tecnológica* y adecuaciones físicas en zonas aledañas, la remodelación del *Bloque 10 de Bienestar Institucional y Extensión*, la construcción del *Centro de Investigaciones Tecnológicas de Innovación y Apropiación*, el cambio de alcantarillado y la piscina semiolímpica.

Para el primer semestre de 2010, el T. de A. contó con 9.997 estudiantes, en su *Sede Central de Robledo (Medellín), Itagüí, Bello, Copacabana y en otros 49 municipios por fuera del Área Metropolitana* (Gobernación de Antioquia, 2009).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

La Universidad Nacional de Colombia y a través de la recopilación del trabajo investigativo adelantado por el grupo *“Nuevas Tendencias de los Materiales en la Construcción Civil” - GLABEST- LABEST de la Facultad de Minas*, elaborará y presentará el *“Estudio de Vulnerabilidad Sísmica y Patológico de la Sede Central del Tecnológico de Antioquia-Institución Universitaria (T. de A.–IU)”*, ubicada en la Calle 78B # 72A – 220.

De acuerdo a lo estipulado en los estudios previos, invitación y propuesta, documentos que hacen parte integral del **Contrato Interadministrativo N° 088-2010**.

Todo el estudio estará bajo las especificaciones NSR-10, que entró en vigencia a partir del 16 de Diciembre de 2010.

1.3.2. Objetivos Específicos

A continuación, se describen las actividades descritas en el **Contrato Interadministrativo N° 088-2010**.

- *Exploración de cimientos*
- *Análisis geológico del lote*
- *Estudio geotécnico del lote y estudio de suelo de toda la institución con énfasis en la zona actual del parqueadero principal por futura ampliación*
- *Verificación y actualización del levantamiento arquitectónico*
- *Levantamiento patológico (incluye fisuras y lesiones)*
- *Determinación del refuerzo en vigas y columnas mediante observación directa*
- *Determinación de la calidad del concreto mediante ensayos de esclerometría, ultrasonido y extracción de núcleos*
- *Modelamiento de la estructura*
- *Determinación del índice de rigidez, resistencia y flexibilidad.*
- *Diagnostico e informe patológico*
- *Diseño de reforzamiento*
- *Planos de construcción y plano de levantamiento topográfico con la actualización de las construcciones existentes*
- *Entrega en medio físico y magnético del estudio de vulnerabilidad sísmica y patológico del Tecnológico de Antioquia, en la sede central, ubicada en la Calle 78B # 72A – 220 de Medellín.*

1.4 ESTRUCTURA DEL INFORME

El siguiente ***Informe Final, consta de siete (7) Capítulos*** y se presenta como una recopilación de todo el trabajo investigativo adelantado por el grupo ***“Nuevas Tendencias de los Materiales en la Construcción Civil” - GLABEST- LABEST (LABEST)*** de la Facultad de Minas, para el ***T. de A. -IU*** de Medellín – Colombia.

El **primer Capítulo**, presenta algunas **generalidades** y los **objetivos** tanto generales como específicos del estudio planteado y acorde con lo esperado por los interesados.

Del **segundo Capítulo y en adelante**, se presenta el **alcance** del ***Estudio de Vulnerabilidad Sísmica y Patológico realizado en el T. de A. -IU*** y según Contrato Interadministrativo N°. 088-2010:

Capítulo 2: Estudio geológico-geotécnico
Análisis geológico del lote
Exploración de Cimentaciones

Capítulo 3: Levantamiento Arquitectónico

Capítulo 4: Patología (incluye fisuras y lesiones)
Determinación del refuerzo en vigas y columnas (observación)
Determinación de la calidad del concreto mediante ensayos de esclerometría, detección de refuerzo y extracción de núcleos, muretes
Informe Patológico

Capítulo 5: Modelo de Estructura
Determinación del índice de rigidez, resistencia y flexibilidad
Diseño de reforzamiento

Capítulo 6: Levantamiento Topográfico
Actualización de las construcciones existentes

Capítulo 7: Conclusiones y Diagnóstico del ***T. de A.-IU.***

Los resultados que se presentan en este ***Informe Final*** fueron analizados por el ***Grupo de Investigación GLABEST*** del ***LABEST de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín.*** Las normas bajo las cuales se hizo el estudio son vigentes.

Nota: Se hará entrega en medio físico y magnético del ***Estudio de Vulnerabilidad Sísmica y Patológico del T. de A. -IU*** (Sede Central, ubicada en la Calle 78B # 72A – 220 de Medellín).

CAPÍTULO 2

ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Para comprender como va interactuar y responder una estructura que estará sometida a diferentes eventos durante su vida útil, es necesario **estudiar principalmente los aspectos geológicos o naturales que pueden afectarla**, como pueden ser ubicación cercana o lejana de fallas geológicas y la profundidad en las que se encuentren, la ubicación del terreno respecto a fuentes hídricas que puedan producir inundaciones o altos niveles freáticos, el empuje de corrientes de viento y la amplificación de las aceleraciones del terreno respecto a la aceleración en roca (Molina y Osorio, 2004).

Como parte de las actividades inherentes al **Contrato N° 088-2010**, se hizo una evaluación geológico-geotécnico, la cual incluyó, según lo pactado entre la *Universidad Nacional de Colombia* y el *T. de A.-IU*, una **exploración de cimentaciones, un análisis geológico del lote y un estudio de suelos**. Adicionalmente, se hicieron algunos análisis tendientes a determinar capacidades de soporte, las cuales se consideran útiles para los análisis de tipo estructural que se requieren como parte de este estudio. Las actividades se llevaron a cabo haciendo énfasis en las zonas cuya infraestructura presenta mayores signos patológicos, tales como grietas. No obstante, **se llevaron a cabo sondeos exploratorios en otras zonas en las que se proyecta la construcción de nuevas edificaciones**.

Es importante aclarar que aunque se llevaron a cabo sondeos exploratorios y se hicieron análisis de tipo geológico geotécnico en todo el lote del T. de A.-IU, **no se puede considerar este estudio como suficiente para llevar a cabo los diseños geotécnicos necesarios para el diseño de las nuevas obras de infraestructura que se proyecta construir. Para tal efecto, se deberá llevar a cabo un estudio detallado siguiendo los lineamientos de la Norma NSR-10**, vigentes en la actualidad para diseño de estructuras sismo-resistentes en Colombia y acorde con lo establecido en el *POT* vigente para la ciudad de Medellín (Acuerdo 46 de 2006), tal como se mencionará más adelante en este informe.

Es de anotar que este estudio por el mayor detalle que implica, está por fuera del alcance del estudio contratado (Contrato N° 088-2010) con la Universidad Nacional de Colombia.

2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

En la Figura 2.12.1, se presenta la ubicación de la zona de estudio sobre el mapa del POT vigente para la ciudad de Medellín (Acuerdo 46 de 2006). Está en el sector noroccidental de la ciudad, en el Barrio Altamira de la Comuna 7 (Robledo).



Figura 2.1 Ubicación de la zona de estudio según el POT (Medellín-Acuerdo 46 de 2006)

La Figura 2.2, presenta la clasificación que de esta zona se hace en el POT mencionado, la cual está basada en la aptitud geológica del terreno. Se puede observar además, que se trata de un área con restricciones geológicas leves, lo que a la luz del POT significa que son estables dependientes y utilizables con las siguientes características:

Las zonas son relativamente estables por sus condiciones naturales, pero por su conformación geológica, geomorfológica y topográfica son susceptibles a sufrir procesos geológicos puntuales o de poca magnitud o verse afectados por el manejo inadecuado y/o evolución de sectores aledaños. Puede requerirse la realización de acciones puntuales de estabilización de carácter preventivo. Las restricciones para su desarrollo se derivan de las condiciones geotécnicas de los diferentes materiales que constituyen el subsuelo, las cuales deben ser analizadas en un estudio geológico-geotécnico o sismo-geotécnico de detalle; además requieren pautas técnicas de manejo que permitan conservar su estabilidad” (Acuerdo 46 de 2006).

2.4 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

A nivel local, los depósitos de vertiente desarrollan una morfología irregular, de vertientes suaves a moderadas, que pueden ser cruzadas por quebradas con cauces bien definidos y en algunos casos por escorrentías no tan definidas.

El depósito donde se desarrolla la construcción del T. de A.-IU, se inicia más arriba de la Carrera 80 y continúa con una pendiente suave hasta más abajo del *Hospital Pablo Tobón Uribe*. La geoforma de colina es interrumpida por las quebradas de la zona, donde el relieve que se desarrolla es más bajo y está cubierto por material aluvial removilizado por las corrientes que circundan el lote.

Para el lote en estudio se encontró que existe una quebrada muy clara en el extremo sur y a ella confluyen dos drenajes pequeños de escorrentía que circulan por el lote del T. de A.-IU (Ver Figura 2.3).

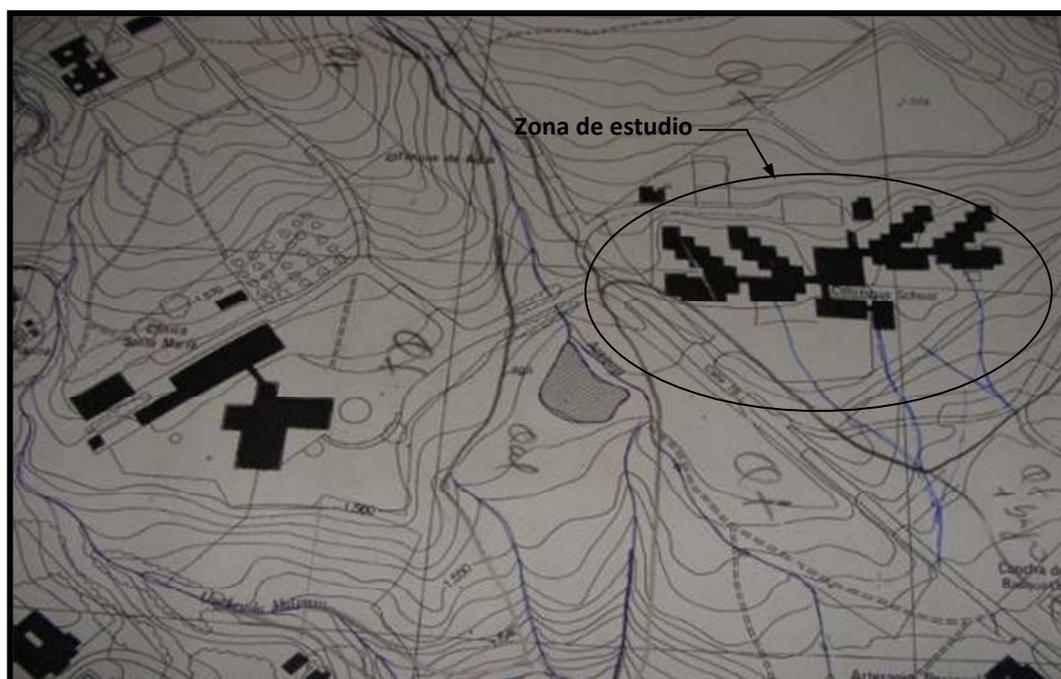


Figura 2.3 Drenajes localizados en los alrededores del T.de A.-IU
(Tomado de Cartografía IGAC del año 1972)

Es importante resaltar que *no se conoce el tratamiento dado a estas corrientes antes de la construcción.*

2.5. FOTOINTERPRETACIÓN

La zona de interés se recorrió *para determinar la presencia de procesos morfodinámicos que pudieran estar afectando las edificaciones del T. de A.-IU.* Se puede concluir que no existen procesos erosivos activos en el predio, ni regionalmente. Para complementar las observaciones hechas durante los recorridos de campo, se consultaron las fotografías aéreas 263 a 265 del Vuelo C-897 F1 del año 1983 disponibles en el Municipio de Medellín.

Con base en estas fotografías se puede determinar que efectivamente **no se tienen procesos morfodinámicos locales ni regionales, que puedan afectar al T.de A. - IU.**

2.6 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Después de haber realizado los recorridos de campo iniciales, se programaron y ejecutaron diez apiques, los cuales alcanzaron profundidades variables entre uno (1,00) m y dos y medio (2,50) m. La profundidad de cada uno de estos sondeos estuvo limitada por la presencia del nivel freático y/o por la *excavabilidad* de los materiales, que en general no permite hacer sondeos de más de dos y medio (2,50) m de profundidad.

En la Figura 2.4, se muestra la localización de los sondeos, sobre la planta general del T.de A.-IU. Los Apiques AP-1 a AP-4 se excavaron cerca del *Coliseo (Bloque 10)* con el fin de determinar las condiciones de apoyo de esta estructura, la cual es una de las más afectadas desde el punto de vista estructural. Los Apiques AP-5 y AP-6 se excavaron en la zona del parqueadero donde se proyecta la construcción de nueva infraestructura. Los Apiques AP-7 a AP-10 se excavaron cerca de las estructuras más representativas de la Institución Universitaria, con el fin primordial de determinar condiciones de apoyo de estas estructuras, es decir, tipo de fundación y material de apoyo.

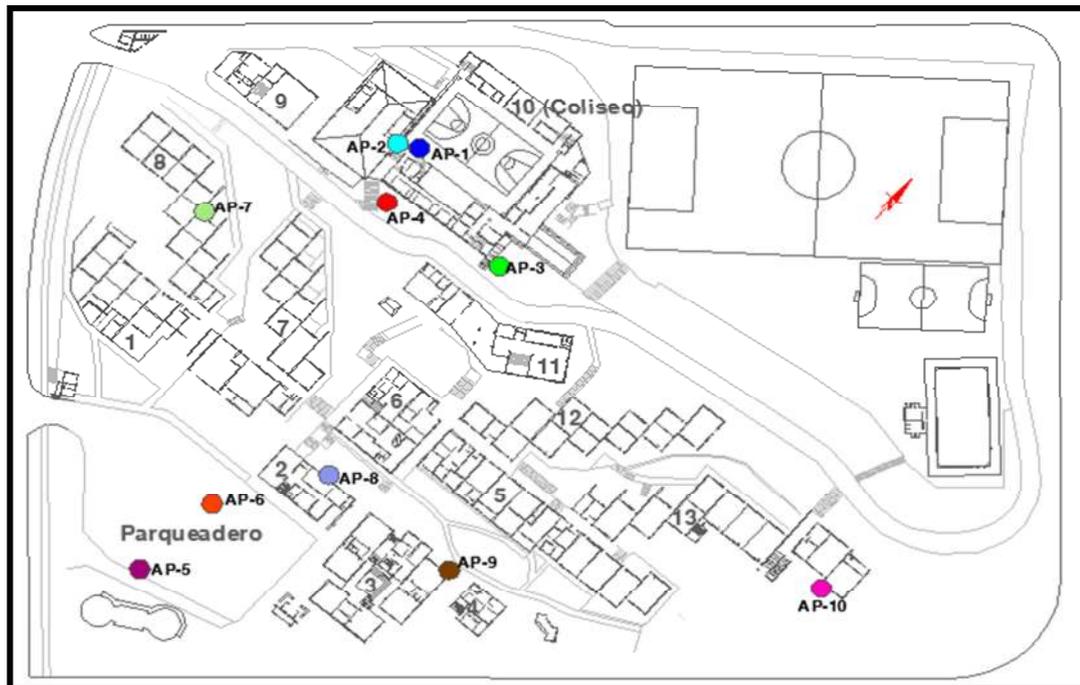


Figura 2.4 Localización de las exploraciones del subsuelo

A continuación se hace una descripción de los materiales encontrados en los apiques AP-1 a AP-6, los cuales fueron explorados con el fin primordial de determinar la estratigrafía típica de la zona de estudio tanto de la de influencia de las estructuras más afectadas desde el punto de vista estructural como de la zona de influencia de las estructuras proyectadas.

De los Apiques AP-7 a AP-10 se hablará más adelante al hacer referencia al levantamiento de las cimentaciones típicas de las estructuras del T.de A.-IU.

- ✓ En el Apique **AP-1**, localizado dentro del *Bloque 10 (Coliseo)*, se encontró hasta los dos (2,00) m de profundidad que alcanzó este sondeo un lleno antrópico variable con la profundidad (Ver Fotografía 2.1).

En *los primeros 0,55 m*, este material consta de bloques de rocas de hasta 0,50 m de diámetro, baldosas y material de mampostería, todo contenido en una matriz de suelo.

Entre *0,55 m y 1,40 m* de profundidad el material está compuesto por materia orgánica, material arcilloso combinado con gravas de aproximadamente 0,02 m hasta 0,03 m de diámetro de anfibolitas meteorizadas, nódulos de hierro y roca ígnea, basalto. Es este último lleno se forman nódulos de arcilla secos que al ser destruidos muestran la materia orgánica en el interior.

Finalmente, *entre 1,40 m y 2,90 m* de profundidad se tiene otro lleno antrópico de color café pardo a negro, con presencia de materia orgánica, abundante raíces, con bloques de basalto, anfibolitas de diámetros variables hasta de cinco (5,00) cm, en la matriz arcillosa de color amarilla parda.



Fotografía 2.1 Lleno antrópico en el Apique AP-1

- ✓ El Apique **AP-2** se ubicó en la parte externa del bloque al lado de las escaleras que comunica la primera planta con el *Coliseo*. Sólo se pudo llevar hasta *1,30 m* de profundidad porque la presencia del nivel freático a esta profundidad impidió continuar con la excavación. Se encontró a *1,30 m* de este sondeo, un lleno antrópico como se presenta en la Fotografía 2.2., conformado por arenas y cascajos sueltos de rocas de hasta 0,05 m de diámetro, de anfibolitas y basaltos. La arena presenta gran cantidad de micas.



Fotografía 2.2 Lleno antrópico en el Apique AP-2

- ✓ El Apique **AP-3** se localizó en la parte externa del *Coliseo* y la *Biblioteca* por el lado de la cafetería. Hasta los 1,50 m de profundidad se encontró una arcilla plástica de color amarillo ocre con manchas blancas, envolviendo fragmentos de roca de diámetros menores a cinco (5,00) mm (Fotografía 2.3.). La arcilla es muy plástica (permite moldearla).
- ✓ El Apique **AP-4**, ubicado en la zona de jardín a un lado de las escaleras de acceso al *Coliseo*, contiguo al *Auditorio* del T. de A.-IU. Se halló material arcilloso hasta 1,70 m con características similares al del Apique AP-3, pero con humedad más baja. Igualmente se tomaron dos muestras en tubo *Shelby* a una profundidad de 1,70 m.



Fotografía 2.3 Arcilla detectada en el Apique AP-3



Fotografía 2.4 Arcilla encontrada en el Apique AP-4

- ✓ El Apique **AP-5**, de la zona del parqueadero, mostró desde la superficie y hasta 2,50 m de profundidad una arcilla plástica de color amarillo ocre a gris con algunas manchas blancas, envolviendo fragmentos de roca metamórfica e ígnea, de diferentes grados de meteorización de diámetros menores a cinco (5,00) mm, algunos fragmentos de materia orgánica (Ver Fotografía 2.5). La arcilla es muy plástica permite moldearla.



Fotografía 2.5 Arcilla plástica encontrada en el Apique AP-5

- ✓ El Apique **AP 6** de la zona del parqueadero se localizó cerca al *Bloque 2*. Se excavó hasta una profundidad de dos y medio (2,50) m, presentando características similares al Apique **AP-5** de la zona del parqueadero.

Desde la superficie y hasta 1,00 m de profundidad se tiene un lleno de arenas y cascajos sueltos de rocas de hasta 0,07 m de diámetro, de neises y basaltos. La arena presenta mucha cantidad de micas, con materia orgánica y aglutinada de material arcilloso que envuelve gravas de aproximadamente 0,02 m hasta 0,03 m de diámetro de anfibolitas meteorizadas, nódulos de hierro, cuarzos y roca ígnea, basalto. Algunos de estos nódulos de arcilla secos que al ser destruidos muestran la materia orgánica en el interior.

De 1,00 m a 2,50 m hay un horizonte de nódulos de color café pardo a negro, recubiertos de arcillas limosas de color pardo, con bloques de basalto meteorizados de color amarillo pardo de diámetros variables hasta de cinco (5,00) cm.

A 2,50 m aflora una arcilla plástica de color amarillo ocre a gris con algunas con manchas blancas, envolviendo fragmentos de roca metamórfica e ígnea, de diferentes grados de meteorización de diámetros menores a 5,00 mm, algunos fragmentos de materia orgánica. La arcilla es muy plástica permite moldearla.



Fotografía 2.6 Material encontrado en el Apique AP-6

2.7 ENSAYOS DE LABORATORIO

Sobre las muestras recuperadas en los sondeos efectuados, se hicieron ensayos en el *Laboratorio de Suelos y Pavimentación-Facultad de Minas*, consistentes en:

- ✓ Granulometría por mallas con lavado sobre la malla N°200
- ✓ Límites de Consistencia (*Límites de Atterberg*)
- ✓ Compresión simple
- ✓ Expansión libre en probeta

En la Tabla 2.1 2.1, se presenta el resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados. Los resultados completos se presentan en el Anexo A de este informe.

Tabla 2.1. Resumen de los resultados de los ensayos de Laboratorio de Suelos y Pavimentación-Facultad de Minas

Muestra	Profundidad (m)	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)	LL (%)	IP (%)	Clasificación	Expansión (%)	γh (kN/m3)	E (kPa)	qu (kPa)
AP1 M1	1,4	0	61,3	38,7	46	18	CL - ML	65			
AP1 M2	2,0	0	30,5	69,5	66	34	CH - MH	60			
AP1 M3	2,0	0	30,3	69,7	63	30	CH - MH	85			
AP2 M1	0,6	0	95,6	4,4			SP				
AP2 M2	1,3	0	89,5	10,5			SW - SC - SM				
AP3 M2	1,9				53	17	MH	45			
AP3 M2	1,9							60			
AP4 M1	1,7				66	37	CH		18,5	261,0	356,0
AP5 M1	2,2	0	42,4	57,6	56	29	CH - MH				
AP6 M1	2,5	65	12,2	22,9	33	10	ML				

De acuerdo con los resultados de los ensayos realizados y teniendo en cuenta que las muestras fueron tomadas de puntos diferentes dentro del T. de A.-IU, se observa que el **lleno antrópico** sobre el cual se apoyan las estructuras del sector es predominantemente fino granular, específicamente limo arcillosos de alta plasticidad. Resalta el que los materiales tengan límites líquidos tan altos, mayores que el 50% y porcentajes de expansión altos.

Estas propiedades hacen que este material, el lleno antrópico, tenga parámetros de resistencia al corte muy malos, lo cual afecta su capacidad de soportar cargas. Adicionalmente, lo hace muy vulnerable a cambios de humedad por cambios en las condiciones climáticas o por daños en las redes de acueducto y alcantarillado.

2.8 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Con los resultados de los ensayos de laboratorio, se caracterizó el material predominante en la zona de estudio a nivel superficial, es decir, el lleno antrópico; y con base en los informes previos efectuados en la zona se caracterizó además el depósito de vertiente que subyace a los llenos antrópicos.

En la Tabla 2.2, se presentan los parámetros de resistencia al corte seleccionados. Se observan diferencias apreciables entre el lleno antrópico y el depósito de vertiente, siendo estos últimos de mejor resistencia y por lo tanto más aptos para soportar las cargas de las superestructuras existentes y proyectadas.

Tabla 2.2 Parámetros de resistencia al corte de los materiales

Material	Peso Unitario (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
Lleno Antrópico	18	0	18
Depósito de Vertiente	18	5	27

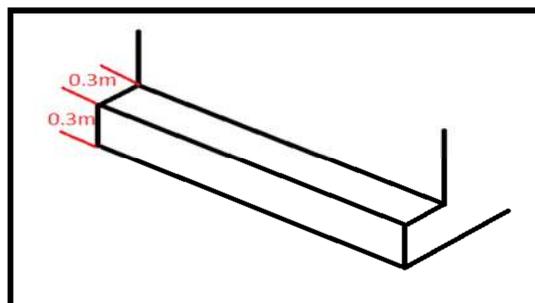
2.9 EXPLORACIÓN DE CIMENTACIONES

Para la exploración de cimentaciones de las estructuras existentes (año 2010) del T. de A.-IU, se tomó la decisión de elegir estructuras similares teniendo en cuenta la época en que fueron construidas y características de construcción. Esto con el fin de exponerlas todas y con previa consulta de la historia de construcción de la Institución Universitaria.

Con base en lo anterior y al lado de cada una de las estructuras seleccionadas, se excavaron apiques hasta las profundidades de desplante para determinar geometría de las fundaciones y material de apoyo.

Bloque 8 (Apique AP 7)

Este apique se realizó al lado del Salón 114. Se observó que son muros con concreto ciclópeo al igual que el *Bloque 7* y el *Bloque 1*. Al descubrir la fundación se encontró una viga de cimentación en donde se soporta la estructura, desplantada de forma muy superficial sobre lleno antrópico a 0,30 m de profundidad como se presenta en las fotografías a continuación (Ver Fotografía 2.7). En el sitio se pudo medir el ancho de 0,30 m de la cimentación por fuera del muro (Ver Figura 2.5).

**Fotografía 2.7** Registro fotográfico de la cimentación del *Bloque 8***Figura 2.5** Dimensiones de la viga de cimentación del *Bloque 8*

Bloque 2 (Apique AP 8)

Presenta el mismo tipo de cimentación del *Bloque 8*, aunque sin muro en concreto ciclópeo sobre él. En este bloque hay pocas columnas, la mayoría son internas; la fundación se desplanta a $0,70$ m de la superficie sobre lleno antrópico y la viga tiene una altura de $0,50$ m, como se presenta en la Fotografía 2.8, a continuación.



Fotografía 2.8 Registro fotográfico de la cimentación del *Bloque 2*

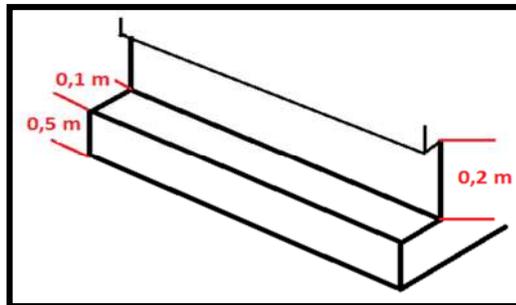


Figura 2.6 Dimensiones de la viga de cimentación del *Bloque 2*

Bloque 3 (Apique AP-9)

La exploración se hizo en la zona posterior del salón de reuniones (en una esquina). No se exploró el *Bloque 5*, debido a que está rodeado de corredores (granito) y además adosado al *Bloque 6*. Ambos bloques (5 y 6) hubiesen quedado seriamente afectados; por lo que consideró que el *Bloque 3*, es suficientemente representativo para identificar el tipo de cimentación de los mismos y del *Bloque 4* (coinciden en calculista, fechas y procesos constructivos (formatos de *Información Recopilada-Anexo B*)).

Se pudo observar el mismo tipo de cimentación del *Bloque 2*, consiste en una viga de $0,30$ m de altura, desplantada a un $1,00$ m desde la superficie sobre lleno antrópico, como en el *Bloque 4* (Ver Fotografía 2.9).



Fotografía 2.9 Registro fotográfico de la cimentación del *Bloque 3*

Bloque 9

La estructura principal consta de dos pisos como se presenta en la Fotografía 2.10 y presenta unas columnas (seis (6) principales) con zapatas cuadradas de 1,40 m x 1,40 m. Al lado del bloque está ubicado el *Almacén* (Ver Anexo B).



Fotografía 2.10 *Bloque 9*

Bloque 10 (Coliseo, Cafetería Principal y Bienestar Universitario)

El sistema de fundaciones está conformado por seis tipos diferentes de zapatas, además de vigas de amarre en los lados posterior y principal del *Coliseo*; como se observa en el *Plano del Sistema de Fundaciones 10.1*, suministrado por el T. de A.-IU y que se relaciona en el Formato de *Información Recopilada* (Ver Anexo B).



Fotografía 2.11 *Bloque 10*

Bloque 13 (Apique AP-10)

La exploración se realizó al lado del Salón 207 (*Bloque 13*). Se encontró la zapata de la columna a 1,10 m de profundidad sobre lleno antrópico y una viga de amarre superficial de 0,30 m de altura empotrada en la columna (Fotografía 2.12). Similar al tipo de cimentación de los bloques 9 y 12 (Figura 2.7).



Fotografía 2.12 Registro fotográfico de la cimentación del *Bloque 13*

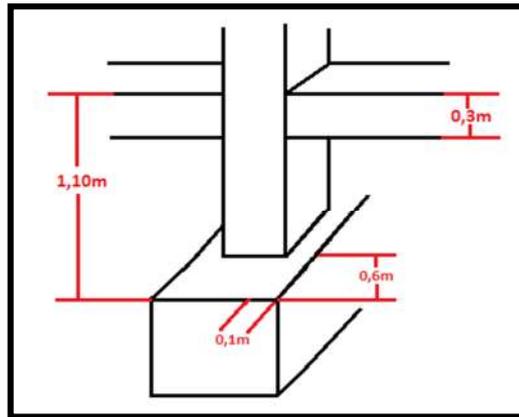


Figura 2.7 Dimensiones de la viga de cimentación del *Bloque 13*

Se puede establecer con base en las inspecciones efectuadas que el material sobre el cual están apoyadas las cimentaciones corresponde a llenos antrópicos, ya que en cada uno de los sondeos se halló este material.

Específicamente por lo encontrado en los apiques cercanos al *Coliseo* este lleno es particularmente especial por cuanto cuenta con bolsas de arcilla expansible.

2.10 CÁLCULO DE CAPACIDADES DE SOPORTE

De acuerdo con la exploración de las cimentaciones que se pudo adelantar, se logró determinar que las estructuras se encuentran apoyadas sobre el lleno antrópico detectado en superficie por medio de zapatas corridas a profundidades menores de uno (1,00) m.

Considerando los parámetros de resistencia al corte estimados para este material se calcularon las capacidades de soporte de acuerdo con la *Teoría de Terzaghi* (Figura 2.8), las cuales pueden tenerse en cuenta para los análisis de tipo estructural.

Se ha supuesto por debajo de la profundidad de desplante, que el suelo se encuentra saturado; con el fin de tener en cuenta, una condición conservadora en la que la presencia en la zona de drenajes, de los cuales no conocemos el manejo dado durante la construcción, puedan tender a la recarga con agua de la zona, por lo menos de forma temporal.

Se observa además, que se trata de capacidades de soporte bajas, de unos 20 kPa para zapatas corridas desplantadas a 0.5 m de profundidad y de 40 kPa para zapatas a un (1,00) m de profundidad.

Estos valores tienden a ser más bajos inclusive por efectos de la deformabilidad de los materiales de apoyo, la cual es especialmente problemática para las estructuras del T. de A.-IU por tratarse de llenos antrópicos heterogéneos.

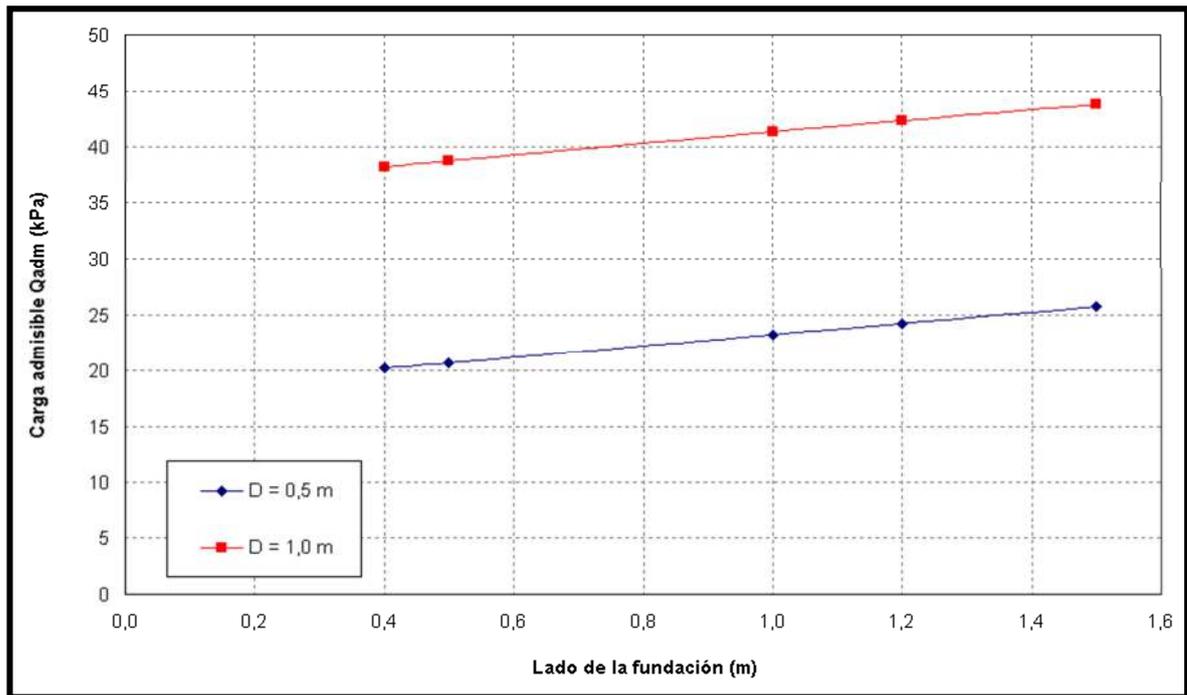


Figura 2.8 Variación de la capacidad de soporte para zapatas corridas

CAPÍTULO 3

LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO

3.1 GENERALIDADES

El levantamiento arquitectónico consiste en **tomar medidas de una construcción con el objeto de dibujar los planos de acuerdo al estado actual de la misma.**

Dicho levantamiento se dividió en cuatro (4) cuerpos (*Administrativo, Deportes y dos (2) de Aulas*), y en atención a las prioridades planteadas por el Señor Rector del T. de A.-IU. Incluye (Ver Anexo C):

- Tomar medidas
- Dibujo de plantas, cortes y la fachada principal
- Entrega de los planos impresos y en medio magnético y el archivo en formato *dwg* de *AutoCAD*.

3.1.1 Reconocimiento de bloques y demás estructuras

Se hicieron varias visitas al T. de A.-IU, con el fin de realizar un reconocimiento total, tanto de los bloques como de las demás estructuras (cafeterías, kioscos y porterías).

3.1.2 Verificación de planos existentes

En la primera parte del proyecto se realizó la recopilación de información (Ver Anexo B), obteniendo como resultado la consecución de algunos planos e informes tanto arquitectónicos como estructurales. A partir de los planos suministrados, se procedió a ejecutar la verificación de planos, haciendo visitas a la *Institución Universitaria (IU)* y comparando las estructuras existentes con los planos más actualizados.

Al existir una información incompleta y desactualizada, se tomó la decisión de realizar un nuevo **levantamiento arquitectónico y estructural**, verificando las medidas existentes de los planos actuales y corrigiendo las inconsistencias presentadas.

CAPÍTULO 4

PATOLOGÍA

4.1 GENERALIDADES

El *Estudio de la Patología* de una estructura, tiene como propósito evaluar de manera inicial o preliminar las condiciones en que se encuentra una edificación; fundamentada en la observación, para formarse una idea clara y precisa del estado general y determinar qué tipo de problemas la afectan.

El personal adscrito al *LABEST de la Facultad de Minas*, tiene una amplia experiencia en los temas de patología de edificaciones, que en la mayoría de los casos, permite describir de manera general el estado del inmueble. Puede ocurrir sin embargo, que en la inspección no resulte fácil definir una metodología expresa y única para realizar la evaluación y diagnóstico contrario a lo que se sucede por ejemplo en el caso del diseño estructural de una edificación nueva, donde se sigue un flujo coherente y sistemático con mayor o menor énfasis en algunas etapas dependiendo de las características propias del edificio en particular.

Para la evaluación de patologías en estructuras de concreto y mampostería, **no resulta fácil señalar una indicación única para la interpretación de un deterioro en particular ya sea por la presencia de una fisura, deterioro, mancha o anormalidad** (Muñoz, 2001)

Una misma manifestación de daño en un caso, puede interpretarse asociada a una causa que puede variar en circunstancias diferentes dentro de la mecánica estructural; por ejemplo, **una fisura asociada a la flexión puede en un caso significar falta de acero de refuerzo por diseño deficiente**, aunque en **otros casos puede asociarse a la presencia de una sobrecarga**. La inapropiada interpretación del funcionamiento estructural puede llevar a un equivocado diagnóstico y por lo mismo a unos inadecuados procesos de intervención.

Para casos de gran cantidad de inmuebles, edificaciones, obras públicas, etc., pueden elaborarse formatos que soporten la *Inspección Preliminar*, los cuales se utilizan para evaluar de forma rutinaria el estado en que se encuentren, con el fin de establecer procedimientos sistemáticos de observación a partir de los cuales se realicen labores de mantenimiento y conservación.

En el caso particular del ***estudio patológico del T. de A.-IU***, el primer paso para la evaluación de las edificaciones, consistió en la **recopilación de toda la información** (escrita, dibujada o esquematizada relativa al proyecto), **verificación de la información y elaboración de formatos** (Ver Anexo D), donde se respetó el propuesto por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín- Facultad de Minas, “ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO DEL TECNOLÓGICO DE ANTIOQUIA 2010 – 2011-ESTADO ACTUAL DE LA ESTRUCTURA”, con su respectivo registro fotográfico.

También se inspeccionó el **refuerzo existente en vigas y columnas** (mediante observación visual en la mayoría de los casos y directa en algunos), la **calidad del concreto** (mediante ensayos de esclerometría, detección de refuerzo y extracción de núcleos) y el comportamiento de la mampostería con la elaboración de modelos ensayados en el *LABEST*.

En este Capítulo 4. y a continuación, se presenta el ***Estudio Patológico*** y los resultados obtenidos; teniendo en cuenta que estos ***no constituyen, un determinante en el diagnóstico de la Institución Universitaria***; pues el levantamiento arquitectónico, el estudio geológico- geotécnico, el modelamiento estructural, etc., sin descartar los antecedentes; son un buen material, para dar un diagnóstico coherente y real del **estado actual de las estructuras**.

4.2 FISURAS Y LESIONES

En la Sede Central del T. de A.-IU, se realizó el levantamiento de **fisuras y grietas** existentes en todas las aulas y oficinas; para tal fin, se definen a continuación los parámetros a considerar para diferenciarlas (grietas y fisuras) según ASOCRETO (2001).

El Anexo D, contiene todos los formatos diligenciados en lo pertinente al estado actual de la Institución Universitaria, además de su registro fotográfico.

4.2.1 Fisura: “Se denomina fisura la separación incompleta entre dos (2) o más partes con o sin espacio entre ellas, afecta la superficie del elemento o su acabado superficial. Su identificación se realizará según su dirección, ancho y profundidad utilizando los siguientes adjetivos: longitudinal, transversal, vertical, diagonal, o aleatoria”.

Los rangos de los anchos de acuerdo con el ACI son los siguientes (ASOCRETO 2001):

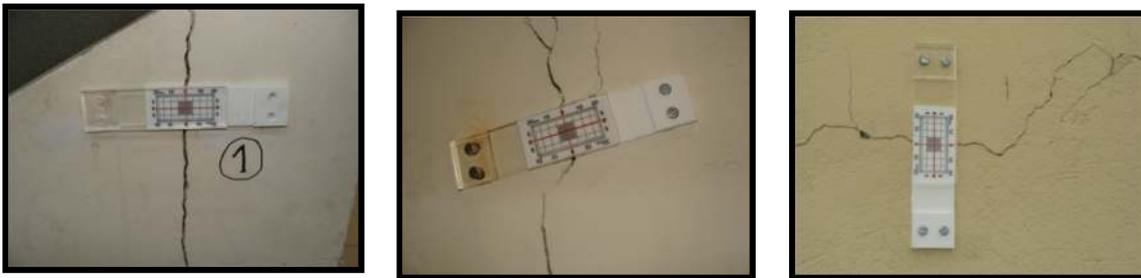
TIPO	MEDIDA
Fina	Menos de 1 mm
Media	Entre 1 y 2 mm
Ancha	Más de 2 mm

4.2.2 Grieta: “Abertura incontrolada que afecta a todo el espesor del muro”.

Una fisura o una grieta puede tener múltiples orígenes, en este informe técnico algunas de las causas más comunes de dichas patologías fueron:

- a) Deficiencia en los procesos y técnicas constructivas
- b) Acciones mecánicas externas (cargas y asentamientos diferenciales del terreno)
- c) Construcciones nuevas y adosadas a las existentes sin control

En el sector del *Coliseo*, se instalaron Medidores de Deformación (Ver Fotografía 4.1) para analizar la estructura, a fin de conocer el estado actual de las grietas. Las mediciones “*in-situ*”, permiten identificar las deformaciones y desplazamientos que puedan ocurrir en daños de la estructura (tanto en elementos estructurales como no estructurales).



Fotografía 4.1 Medidores de Deformación (*Coliseo*)

4.3 DETERMINACIÓN DE REFUERZO EN VIGAS Y COLUMNAS

Una parte importante en el **estudio de vulnerabilidad sísmica y patológico** de la *Sede Central* del T. de A.-IU, incluye la inspección directa e indirecta del acero de refuerzo que poseen los distintos elementos estructurales. Con el fin de conocer la distribución del refuerzo dentro de los elementos y con base en el **REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE (NSR-10)**, poder dar un veredicto sobre la **correcta o incorrecta** instalación y utilización de dicho acero.

En primer lugar se comenzó con los lugares donde claramente se podía apreciar el acero a simple vista gracias a que el recubrimiento que originalmente poseía ya no se encontraba en su lugar (Ver Fotografía 4.2); ya fuese por acciones del *intemperismo* y mala calidad de los materiales utilizados para dicho recubrimiento o porque había sido retirado, debido a malas prácticas constructivas.

El acero se ve sometido a procesos de oxidación que generan el deterioro del material y la pérdida de su capacidad para resistir las fuerzas a las que están siendo sometidas.



Fotografía 4.2 Sitios y estructuras deterioradas (refuerzo a la vista T. de A.-IU)

En lugares donde la estructura conserva su recubrimiento, fue necesaria la utilización de un detector de refuerzo para lograr conocer la ubicación y tamaño del refuerzo (Ver Fotografía 4.3)



Fotografía 4.3 Detección de Refuerzo

Se pudo observar mediante inspección directa, que el acero de refuerzo utilizado en la mayoría de las estructuras para resistir la flexión, son barras lisas (ver Fotografía 4.4), lo que según las especificaciones NSR-10, no es permitido.



Fotografía 4.4 Barra de Refuerzo Lisa

En el caso del refuerzo transversal o estribos, no existía como se presenta en la Fotografía 4.5; por lo que se puede concluir que ***no cumple con lo exigido*** por el código anteriormente mencionado (Numeral **C.7.10.5.1**)



Fotografía 4.5 Elementos estructurales sin estribos

Se puede evidenciar que **en la mayoría de los elementos estructurales, no se está cumpliendo con los recubrimientos mínimos exigidos las especificaciones (NSR-10)**, en lo referente al espesor del recubrimiento (Ver Fotografía 4.6).



a) Refuerzo a la vista



b) Falta de recubrimiento



c) Descascaramiento del concreto



d) Deterioro del refuerzo

Fotografía 4.6 Recubrimiento de los elementos estructurales

En el *Bloque 13*, como refuerzo fue utilizada una cercha que no posee el recubrimiento suficiente; por lo que se ve afectada por procesos de oxidación, como se presenta en la Fotografía 4.7. Cabe anotar que esta cercha al interior del aula no tiene ningún tipo de recubrimiento.



Fotografía 4.7 Cercha *Bloque 13*

Como se puede observar en la siguiente Fotografía 4.8, se puede concluir que no se tuvo ningún control de calidad al hacer la mezcla de concreto para los vaciados; pues quedaron embebidos materiales inadecuados (p.e. tamaño de árido mayor) y oquedades en el concreto endurecido (efecto de una mala compactación).



Fotografía 4.8 Refuerzo expuesto, árido inadecuado y mala compactación

4.4 CALIDAD DEL CONCRETO

Para examinar la calidad de los concretos, se utilizaron varias formas de inspección para determinar el estado de este material en las diferentes estructuras, y además poder encontrar su resistencia. Los métodos utilizados en este caso fueron la inspección visual para determinar la calidad de los materiales utilizados en la mezcla, la extracción de núcleos de hormigón para determinar la resistencia mecánica del mismo cuando es sometido a compresión y el ensayo con martillo de rebote o esclerómetro para determinar la resistencia del concreto sin tener la necesidad de extraer muestras para ser analizadas en el laboratorio.

En medio de la inspección visual se pudo ver claramente que los materiales utilizados en la mezcla no fueron los más adecuados, esto debido a que las partículas del agregado grueso claramente están por encima de los tamaños máximos permitidos, lo que deriva en una mala adherencia del concreto con el refuerzo y en muchas de los casos termina con el desprendimiento del material, dejando al descubierto el refuerzo, por lo cual este último no cumple la función.

Para estimar la calidad del concreto en la Sede Central del T. de A.-IU, se realizaron ensayos con el **Martillo de Rebote (esclerómetro), Detección de Refuerzo y Extracción de Núcleos,** en las estructuras más representativas.

4.4.1 Ensayo con el Martillo de Rebote (Esclerómetro)

Para definir la resistencia de los materiales con los que fueron construidas las edificaciones del T. de A.-IU, se utilizó el equipo de prueba *Esclerómetro* marca *CONTROLS C 181-N*, del LABEST de la Facultad de Minas.

Las mediciones se realizaron en columnas de los bloques **2, 3, 5, 13** y **entre los bloques 2 y 5** (Ver Fotografía 4.9), para evaluar la uniformidad superficial del concreto o para delimitar zonas o áreas de diferentes resistencias. Este método, dentro de sus limitaciones, se puede emplear para evaluar comparativamente la resistencia del concreto y no debe ser utilizado como una alternativa única, para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto endurecido.

En las columnas, se tomaron mínimo 10 datos para obtener un valor promedio. A continuación, se presentan los resultados (en el Anexo E, se presentan los datos):

- **Columna *Bloque 2*:**



Fotografía 4.9 Ensayo con el Martillo de Rebote (Esclerómetro)- Columna B2

Tabla 4.1 Resultados, Martillo de Rebote (Esclerómetro)- Columna B2

Punto	Estado superficie	Edad del Hormigón (días)	Inclinación Esclerómetro (°)	Número de rebote promedio	Resistencia a compresión (MPa)
Columna B2	seca	>28	0	32	23

- **Columna *Bloque 3*:**



Fotografía 4.10 Ensayo con el Martillo de Rebote (Esclerómetro)- Columna B3

Tabla 4.2 Resultados, Martillo de Rebote (Esclerómetro)- Columna B3

Punto	Estado superficie	Edad del Hormigón (días)	Inclinación Esclerómetro (°)	Número de rebote promedio	Resistencia a compresión (MPa)
Columna B3	seca	>28	0	25	15

- **Columna Bloque 5:**

**Fotografía 4.11** Ensayo con el Martillo de Rebote (Esclerómetro)- Columna B5**Tabla 4.3** Resultados, Martillo de Rebote (Esclerómetro)- Columna B5

Punto	Estado superficie	Edad del Hormigón (días)	Inclinación Esclerómetro (°)	Número de rebote promedio	Resistencia a compresión (MPa)
Columna B5	seca	>28	0	27	16

- **Columna Bloque 13:**

**Fotografía 4.12** Ensayo con el Martillo de Rebote (Esclerómetro)- Columna B13**Tabla 4.4** Resultados, Martillo de Rebote (Esclerómetro)- Columna B13

Punto	Estado superficie	Edad del Hormigón (días)	Inclinación Esclerómetro (°)	Número de rebote promedio	Resistencia a compresión (MPa)
Columna B13	seca	>28	0	21	12

- **Columna entre *Bloque 2 y Bloque 5*:**



Fotografía 4.13 Ensayo con el Martillo de Rebote (Esclerómetro)- Columna B2-B5

Tabla 4.5 Resultados, Martillo de Rebote (Esclerómetro)- Columna B2-B5

Punto	Estado superficie	Edad del Hormigón (días)	Inclinación Esclerómetro (°)	Número de rebote promedio	Resistencia a compresión (MPa)
Columna entre B2 y B5	seca	>28	0	29	19

4.4.2 Detección de Refuerzo y Extracción de Núcleos

Otro de los métodos utilizados para determinar la calidad del concreto fue la *Extracción de Núcleos*, que posteriormente fueron sometidos a compresión simple en el LABEST de la Universidad Nacional.

Para la realización de este ensayo **fue necesario utilizar además** del extractor de núcleos, un **detector de refuerzo** (Ver Fotografía 4.3) que nos permitió asegurar que al momento de realizar la extracción, sólo se cortara en el lugar donde no se encontraba refuerzo.

Como se puede observar en el *Numeral 4.3* de este capítulo, las condiciones actuales de ***la mayoría de las estructuras existentes en el T. de A.-IU***, se encuentran ***deterioradas y corroídas, refuerzos a la vista con alto grado de oxidación, ausencia de refuerzo y estribos en algunos elementos*** y además el ***descascamiento de revoque y fachadas en otros*** (Ver Fotografía 4.9); de ahí que se tomara la decisión de hacer la *Extracción de Núcleos* en puntos que no comprometieran la estabilidad de las mismas.

En la Fotografía 4.2 (diferentes sitios y en diferentes estructuras deterioradas) a continuación, se evidencia el alto deterioro de muchas de las estructuras la *Institución Universitaria*.

En la Fotografía 4.14, se puede observar el procedimiento para hacer la extracción de los núcleos.



a) Ubicación Extractor de Núcleos



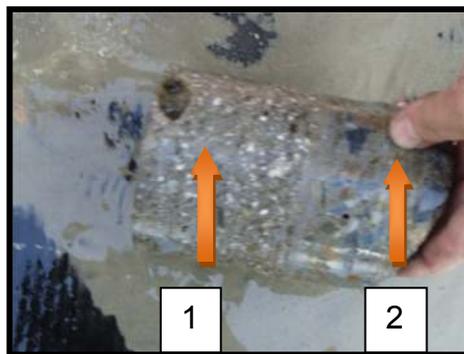
b) Extracción

c) Núcleo extraído

d) Terminación

Fotografía 4.14 Extracción de Núcleos

Después de realizada la extracción, se observó claramente que los núcleos extraídos estaban conformados por dos (2) partes con una separación muy bien definida; lo que permite deducir, que los dos (2) vaciados fueron completamente diferentes (Ver Fotografía 4.15). Por tal motivo, al no ser un elemento monolítico y al no poseer los mismo materiales, el comportamiento mecánico de este concreto es completamente diferente al comportamiento esperado; lo que se pudo comprobar al momento de realizar los ensayos en el LABEST (Ver Anexo D).

**Fotografía 4.15** Concretos diferentes

4.4.2.1 Resultados de Resistencia de los Núcleos Extraídos

El promedio de la *Resistencia a la Compresión de los Núcleos Extraídos* (NTC-3658-673) es de **14,59 MPa** (entregados por el LABEST-Facultad de Minas- Anexo F, (Ver Fotografía 4.16).

El resultado obtenido comparado con el promedio de la resistencia medida con el *Martillo de Rebote* (Numeral 4.4.1), presenta una diferencia de dos (2,00) MPa.



a) Núcleo extraído



b) Preparación de superficie



c) Montaje en la Prensa de 100t



d) Núcleo después de la falla (en la Prensa de 100t)

Fotografía 4.16 Resistencia a la Compresión de los Núcleos Extraídos (NTC-3658-673)

4.4.3 Muretes

En este numeral se presentan los resultados de los ***ensayos a muretes*** elaborados en el LABEST de la Facultad de Minas, como parte del estudio de vulnerabilidad sísmica de la *Sede Central* del T. de A.-IU, con el fin de identificar el comportamiento estructural de los muros de mampostería de la misma.

Es de suma importancia aclarar que según el ***Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)*** y en el capítulo **A.2** y sección **A.2.5**, se define el grupo de uso y el coeficiente de importancia de la edificación; y de acuerdo al Numeral **A.2.5.1.2** podemos ubicar al T. de A.-IU, dentro del **“Grupo III”** **“Edificaciones de atención a la comunidad”**.

“Este grupo debe comprender aquellas edificaciones y sus accesos, que son indispensables después de un temblor para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas; se deben incluir guarderías, escuelas, colegios, universidades y otros centros de enseñanza”.

Según las especificaciones **NSR-10**, la zona de amenaza sísmica (de acuerdo con la figura A.2.3-1) en la que se encuentra la *Institución Universitaria*, es de **Amenaza Sísmica Intermedia**.

Posterior a esta aclaración debemos proceder también de acuerdo a lo establecido en el NSR-10 y en su *Capítulo D-1*, y con lo observado en la institución objeto del estudio, se pueden clasificar en su mayoría (p.e. 1A, 1B, 2, adición del Bloque 9), como sistemas estructurales de **Mampostería No Reforzada**, cuya definición es (D.2.1.4): “... construcción con base en piezas de mampostería unidad por medio de mortero que no cumple con las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada. Este sistema estructural se clasifica, para de disipación de energía en el rango inelástico (DMI)”.

En las fotografías a continuación (Ver Fotografía 4.17), se presenta la secuencia en la elaboración, montaje y falla de los muretes en el LABEST, **sometidos a compresión simple** para determinar su resistencia.



a) Elaboración de Muretes b) Montaje en la Prensa (LABEST)



c) Calibración del Montaje d) Ensayo



e) Tipo de Falla

Fotografía 4.17 Muretes ensayados en el LABEST

La mampostería no reforzada según NSR-10 (Capítulo A.3), indica la capacidad mínima de disipación de energía y su uso está limitado de acuerdo con la Tabla 4.6 (extraída de la *tabla A.3-1 de la NSR-10*).

Tabla 4.6 Capacidad mínima de disipación de energía (extraída de la *tabla A.3-1 de la NSR-10*)

ZONA DE AMENAZA SISMICA					
ALTA		INTERMEDIA		BAJA	
USO	ALTURA (máx.)	USO	ALTURA (máx.)	USO	ALTURA (máx.)
No se permite		No se permite		Grupo I	2 pisos

El **grupo de uso I**, indica que solo se permite el uso de la mampostería no reforzada en edificaciones tipo vivienda, con la restricción adicional de que solo puede utilizarse en zonas de amenaza sísmica baja.

Con base en lo anterior, el sistema estructural de las edificaciones de la ***Institución Universitaria, no cumplen con las restricciones del Código para los grupos de uso ni para la zona de amenaza sísmica.***

A continuación y en la Tabla 4.7, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos realizados en LABEST de la Universidad Nacional sobre los muretes construidos, para determinar sus propiedades mecánicas.

Tabla 4.7 Resultados muretes sometidos a compresión simple

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN								
PRUEBA	FECHA	B	H	t	Peso	Densidad	Carga última	Resistencia
		(cm)	(cm)	(cm)	(Kg)	(Kg/m ³)	Fu(Kg)	(Kg/cm ²)
1	12/01/2011	78,00	52,50	18,00	79,09	1072,99	15230	10,85
2	12/01/2011	78,30	53,00	18,00	80,00	1070,98	14800	10,50
3	12/01/2011	78,20	53,00	18,00	79,56	1066,45	15150	10,76

CAPÍTULO 5

MODELO DE ESTRUCTURA

5.1 GENERALIDADES

El *Modelamiento Estructural*, se basó en el *Método de Análisis Dinámico Modal*, utilizando el Software de *Análisis Estructural SAP 2000*.

Para obtener el *Modelo de Estructura*, se siguieron los pasos siguientes:

- Caracterización de los Materiales
- Levantamiento Arquitectónico
- Levantamiento Estructural
- Exploración de Cimentaciones
- Asesoría Técnica y profesional del Ingeniero Calculista, Gonzalo Jiménez Cálad

Con el estudio, se obtuvo los *Índices de Flexibilidad y Sobre-Esfuerzo*, que exigen las especificaciones vigentes NSR-10, en su *Capítulo A 10*, para evaluar la *Vulnerabilidad Sísmica de las Estructuras del T. de A.-IU*.

En el Anexo H, del presente informe se recopila la información correspondiente al *Modelo de Estructura*, de las **edificaciones de la IU** y consta de:

- Informe de Vulnerabilidad Sísmica
- Archivo Magnético del *Modelo Estructural en SAP 2000*

CAPÍTULO 6

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

6.1 GENERALIDADES

Con el presente informe se adjunta el *Levantamiento Topográfico* del T. de A.-IU, que incluye la siguiente información:

- 1) Cartera de Campo
- 2) Esquema e información digital para cálculo correspondiente al *Amarre de la Poligonal*
- 3) Planos correspondientes

Vale la pena señalar que el ***Levantamiento Topográfico del T. de A.-IU***, quedó **radicado con el Número 201000012555**, ante el Departamento Administrativo de Planeación.

Toda la Información se encuentra en el Anexo G, de este informe.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y DIAGNÓSTICO DEL T. de A.-IU

7.1 COMPONENTE GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

- Con base en el **estudio geológico geotécnico** efectuado, **se pudo determinar que como formación superficial predominante en la zona de estudio se tienen depósitos de vertiente del tipo flujo de lodos y/o escombros maduros.** Estos materiales están conformados por bloques rocosos heterométricos de composición predominante de anfibolitas, poseen un **grado de meteorización de moderado a alto**, presentando sus bordes saprolitizados y el núcleo relativamente fresco y los fragmentos más pequeños están prácticamente alterados en su totalidad. La **matriz que los envuelve posee características de un material arcillo limoso de baja plasticidad y de colores claros.**
- En el **sector de las edificaciones** en estudio se puede definir, por las investigaciones del subsuelo, que estos **depósitos están cubiertos por llenos antrópicos, al menos de dos (2,00) m de espesor. Sobre estos llenos parecen estar cimentadas la mayor parte de las estructuras que hacen parte del Tecnológico de Antioquia (Institución Universitaria).**

- Los llenos poseen **materiales con muy malas características geotécnicas y bastante heterogéneos en su composición**. Esta última característica hace que las estructuras apoyadas sobre ellos sean muy susceptibles de sufrir asentamientos diferenciales.
- Con los resultados de los ensayos de laboratorio, se encontró que los llenos presentan lentes de arcillas expansibles que son muy vulnerables a los cambios de humedad. En temporadas secas se contraen y en temporadas lluviosas se expanden. Adicionalmente, los cambios de humedad pueden darse por rompimientos de las redes de acueducto y alcantarillado.
- La alta capacidad de expansión de los materiales que conforman el lleno de apoyo de las estructuras se considera la causa de la problemática presente en algunas ellas, consistentes en grietas que aumentan y disminuyen su espesor dependiendo de las condiciones climáticas.
- Desde el punto de vista geológico geotécnico se recomienda que en caso de optarse por la recuperación estructural de los edificios, se lleve a cabo una recimentación de los mismos apoyándolos mediante zapatas superficiales en el depósito de vertiente tipo flujo de lodos y/o escombros maduros presente en el sitio. Este material se considera de mejor resistencia y por lo tanto más apto para soportar las estructuras.
- Para efectos de diseño se puede considerar una capacidad de soporte admisible para cargas estáticas del orden de 150 kPa, si se consideran zapatas aisladas.
- En consecuencia con la recomendación anterior, este material y el depósito de vertiente, puede encontrarse a profundidades del orden de los tres (3,00) m. Si se tiene en cuenta el estudio efectuado en la zona la firma Suelo y Ambiente, se puede decir que en algunas zonas puede estar incluso a uno y medio (1,50) m de profundidad. En cada caso se tendrían que hacer las excavaciones pertinentes para encontrar este material, el cual se considera el adecuado para soportar las cargas de las superestructuras.
- En cuanto a los primeros pisos de las estructuras que sean repotenciadas, no se recomienda el apoyo directo de estos sobre los llenos de la zona por cuanto se verían sometidos a procesos continuos de levantamientos y hundimientos. Esto por la presencia de materiales expansivos.
- Finalmente, se recomienda en la ejecución de los estudios necesarios para el diseño de las estructuras a repotenciar o a reconstruir, una investigación detallada y enfocada específicamente a determinar el manejo que se dio durante la etapa constructiva inicial de las edificaciones a los drenajes cercanos a la institución.

7.2 COMPONENTE ARQUITECTÓNICO

- Al existir una información incompleta y desactualizada, se tomó la decisión de realizar un nuevo levantamiento arquitectónico y estructural, verificando las medidas existentes de los planos actuales y corrigiendo las inconsistencias presentadas.
- Con base en la anterior conclusión, se elaboraron los planos actualizados del T. de A.-IU, que se presentan en el Anexo C de este informe.

7.3 COMPONENTE PATOLÓGICO

- El aspecto de **algunos de los elementos estructurales** de las edificaciones del T. de A.-IU, **a simple vista presentaban unas adecuadas condiciones en cuanto al concreto, pero el conjunto o sistemas estructurales no cumplen con las condiciones de funcionalidad y seguridad, exigidos por la reglamentación vigente (NSR-10).**
- Las **adecuaciones y cambio de uso de muchas de las estructuras**, sin control de calidad en los procesos (según se evidencia) y sin control técnico, no garantizan la seguridad y funcionalidad que debe tener una *Institución Universitaria*, que alberga tanto personal.
- Los resultados obtenidos en el *Estudio Patológico* del T. de A.-IU, evidencian que la **vulnerabilidad de las edificaciones puede ser tan alta, que su riesgo puede exceder los niveles aceptados actualmente.** Por lo tanto es necesario que se tomen las medidas de mitigación, con base a los requisitos ingenieriles y así, reducir el riesgo.
- Con base en la apreciación anterior, es necesario **reestructurarlas o rehabilitarlas**, con el objetivo de aumentar su resistencia, disminuir los desplazamientos, aumentar la ductilidad por curvatura y lograr una distribución adecuada de las fuerzas, entre los diferentes elementos resistentes tanto en planta como en altura.

7.4 COMPONENTE ESTRUCTURAL

- En el *Bloque 1* los muros no presentan confinamiento ni reforzamiento estructural, por tanto se recomienda realizar su debido repotenciamiento.
- En el *Bloque 2* se recomienda demoler la estructura, porque **no cumple con las características que exige la norma NSR-10**, con respecto a los sistemas estructurales prescritos en el Capítulo A.3 del mismo reglamento (Ver AnexoH).
- El *Bloque 3* en general, **no presenta signos de lesiones locales ni afectación importante en su integridad estructural** (ni en las estructuras que lo componen). Vale la pena señalar, que **esta apreciación es hasta el 11 de Enero de 2011** (en el informe anexo, no se encuentran las modificaciones que se hicieron después de haber realizado el levantamiento arquitectónico, estructural y su posterior modelamiento).

- El *Bloque 6*, debe ser repotenciado según la norma **NSR-10**; por corresponder a un *Sistema Estructural Reticular Celulado*, que **prohíbe tajantemente el mismo reglamento en su Tabla A.3-3**. Además se define como una estructura del Tipo *Capacidad de Disipación Mínima de Energía-DMI*, que no son permitidas por la NSR-10, en lugares de Amenaza Sísmica Intermedia, como lo es la Ciudad de Medellín.
- En el *Bloque 9*, se recomienda construir elementos *rigidizadores* que conecten adecuadamente la mampostería adyacente a las escaleras; haciendo el cerramiento total del pódico existente.
- Según las especificaciones **NSR-10** en su **Numeral A.10.6** (tipos de modificación permitidos), se escogió el definido en A.10.6.2 y que según el literal A.10.9.2.1, sugiere intervenir la estructura, con el fin de lograr un nivel de seguridad equivalente al de una edificación nueva.
- Partiendo de la información obtenida en el Paso 9, **Índice de Flexibilidad**, se tiene que el **valor máximo permitido para un desplazamiento, es del 1% de la altura entre pisos (para este caso es 3,15 cm)**, y según la información que se obtuvo con el modelamiento en *SAP 2000*, se tiene un desplazamiento de dos (2,00) cm, el cual es un valor permitido.
- Con base en la apreciación anterior, se sugiere que el muro de mampostería (fachada lateral izquierda) sea intervenido, con el fin de mejorar su configuración estructural; reduciendo la amenaza sobre este *bloque*, como para la edificación del Almacén (aledaña y que no tiene ninguna configuración estructural que cumpla con los requisitos sismoresistentes).
- La estructura tipo cercha del Coliseo (Bloque 10), **requiere cambio de perlines**, por otros de mayor resistencia y rigidez que soporten las cargas que considera las especificaciones NSR-10.
- *En el Bloque 10*, se recomienda reforzar las cerchas transversales con pletinas (Ver Plano Cerchas *Bloque 10* - ANEXO H).
- Cambiar las tejas (*asbesto-cemento*- se calienta en exceso, muy pesado y productor de partículas cancerígenas); por otro material más liviano y transparente.
- En el *Bloque 10*, **se recomienda demoler urgentemente el muro ubicado en la esquina sur-oriental**; debido a las lesiones locales que presentan los elementos mampostería y de concreto, que están afectando el sistema estructural original para el cual fue concebido (pódicos resistente a momentos).

- El *Bloque 11 (Biblioteca,)* no fue modelado, aunque se verificó que los planos estructurales suministrado por el T de A- IU, corresponden a la construcción existente, y que además cumplierse (como se comprobó) con los criterios que exigía la NSR-98. Lo cual permite según la NSR-10, garantizar la funcionalidad de la estructura.
- El *Modelo Estructural de Bloque 13*, **corresponde también a la modelación de los bloques 7, 8 y 12 por las similitudes que poseen entre sí** (en términos de la configuración estructural, las fechas de construcción y las lesiones que presentan). Se escogió como referente el *Bloque 13*; debido a que presentaba las condiciones más desfavorables (ver informes Anexo H).
- Según las especificaciones **NSR-10** en su **Numeral A.10.6** (tipos de modificación permitidos), **se escogió el definido en A.10.6.2, para el Bloque 13** y que según el **literal A.10.9.2.1**, sugiere intervenir la estructura, con el fin de lograr un nivel de seguridad equivalente al de una edificación nueva.
- El desplazamiento en las vigas es excesivo, por lo que se sugiere colocar *rigidizadores*, que le aumenten la estabilidad. Las columnas no tienen problema.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	2
1.1 GENERALIDADES	2
1.1.2 Riesgo Sísmico	2
1.1.3 Amenaza Sísmica	3
1.1.4 Vulnerabilidad Sísmica	3
1.1.5 Daño Sísmico	3
1.1.6 Reducción de la Vulnerabilidad Sísmica	3
1.2 CONSIDERACIONES GENERALES	4
1.3 OBJETIVOS	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 ESTRUCTURA DEL INFORME	6
CAPÍTULO 2 ESTUDIO GELÓGICO GEOTÉCNICO	7
2.1 CONSIDERACIONES GENERALES	7
2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	8
2.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS	9
2.4 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	10
2.5 FOTOINTERPRETACIÓN	10
2.6 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	11
2.7 ENSAYOS DE LABORATORIO	14
2.8 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	15
2.9 EXPLORACIÓN DE CIMENTACIONES	16
2.10 CÁLCULO DE CAPACIDADES DE SOPORTE	19
CAPÍTULO 3 LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO	21
3.1 GENERALIDADES	21
3.1.1 Reconocimiento de Bloques y demás estructuras	21
3.1.2 Verificación de planos existentes	21
CAPÍTULO 4 PATOLOGÍA	22
4.1 GENERALIDADES	22
4.2 FISURAS Y LESIONES	23
4.2.1 Fisura	23
4.2.2 Grieta	24
4.3 DETERMINACIÓN DE REFUERZO EN VIGAS Y COLUMNAS	24
4.4 CALIDAD DEL CONCRETO	27
4.4.1 Ensayo con el Martillo de Rebote (Esclerómetro)	28
4.4.2 Detección de Refuerzo y Extracción de Núcleos	30
4.4.2.1 Resultados de Resistencia de los Núcleos Extraídos	31
4.4.3 Muretes	32

CAPÍTULO 5 MODELO DE ESTRUCTURA	35
5.1 GENERALIDADES	35
CAPÍTULO 6 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	
6.1 GENERALIDADES	
CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES Y DIAGNÓSTICO DEL T. de A.-IU	
7.1 COMPONENTE GEOLÓGICO GEOTÉCNICO	37
7.2 COMPONENTE ARQUITECTÓNICO	39
7.3 COMPONENTE PATOLÓGICO	39
7.4 COMPONENTE ESTRUCTURAL	39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1 Resumen de los resultados de los ensayos de Laboratorio de Suelos y Pavimentación- Facultad de Minas	15
TABLA 2.2 Parámetros de Resistencia al corte de los materiales	16
TABLA 4.1 Resultados, Martillo de Rebote (Esclerómetro) Columna B2	28
TABLA 4.2 Resultados, Martillo de Rebote (Esclerómetro) Columna B3	29
TABLA 4.3 Resultados, Martillo de Rebote (Esclerómetro) Columna B5	29
TABLA 4.4 Resultados, Martillo de Rebote (Esclerómetro) Columna B13	29
TABLA 4.5 Resultados, Martillo de Rebote (Esclerómetro) Columna B2-B5	30
TABLA 4.6 Capacidad mínima de disipación de energía (extraída de la Tabla A.3-1 de la NSR-10)	34
TABLA 4.7 Resultados muretes sometidos a compresión simple	34

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 2.1	Lleno antrópico en el Apique AP-1	12
FOTOGRAFÍA 2.2	Lleno antrópico en el Apique AP-2	12
FOTOGRAFÍA 2.3	Lleno antrópico en el Apique AP-3	13
FOTOGRAFÍA 2.4	Lleno antrópico en el Apique AP-4	13
FOTOGRAFÍA 2.5	Lleno antrópico en el Apique AP-5	13
FOTOGRAFÍA 2.6	Lleno antrópico en el Apique AP-6	14
FOTOGRAFÍA 2.7	Registro fotográfico de la cimentación del Bloque 8	16
FOTOGRAFÍA 2.8	Registro fotográfico de la cimentación del Bloque 2	17
FOTOGRAFÍA 2.9	Registro fotográfico de la cimentación del Bloque 3	17
FOTOGRAFÍA 2.10	Bloque 9	18
FOTOGRAFÍA 2.11	Bloque 10	18
FOTOGRAFÍA 2.12	Registro fotográfico de la cimentación del Bloque 13	18
FOTOGRAFÍA 4.1	Medidores de Deformación (Coliseo)	24
FOTOGRAFÍA 4.2	Sitios y estructuras deterioradas (Refuerzo a la vista T. de A.-IU)	25
FOTOGRAFÍA 4.3	Detección de Refuerzo	25
FOTOGRAFÍA 4.4	Barra de Refuerzo Lisa	25
FOTOGRAFÍA 4.5	Elementos estructurales sin estribos	26
FOTOGRAFÍA 4.6	Recubrimiento de los elementos estructurales	26
FOTOGRAFÍA 4.7	Cercha Bloque 13	27
FOTOGRAFÍA 4.8	Refuerzo expuesto, árido inadecuado y mala compactación	27
FOTOGRAFÍA 4.9	Ensayo con el Martillo de Rebote (Esclerómetro)-Columna B2	28
FOTOGRAFÍA 4.10	Ensayo con el Martillo de Rebote (Esclerómetro)-Columna B3	28
FOTOGRAFÍA 4.11	Ensayo con el Martillo de Rebote (Esclerómetro)-Columna B5	29
FOTOGRAFÍA 4.12	Ensayo con el Martillo de Rebote (Esclerómetro)-Columna B13	29
FOTOGRAFÍA 4.13	Ensayo con el Martillo de Rebote (Esclerómetro)-Columna B2-B5	30
FOTOGRAFÍA 4.14	Extracción de Núcleos	31
FOTOGRAFÍA 4.15	Concretos diferentes	31
FOTOGRAFÍA 4.16	Resistencia a la Compresión de Núcleos Extraídos (NTC-3658-673)	32
FOTOGRAFÍA 4.17	Muretes ensayados en el LABEST	33

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 Ubicación de la zona de estudio según el POT (Medellín-Acuerdo 46 de 2006)	8
FIGURA 2.2 Clasificación de la zona de estudio según el POT (Acuerdo 46 de 2006)	9
FIGURA 2.3 Drenajes localizados en los alrededores del T. de A.-IU (Tomado de Cartografía del IGAC del año 1972)	10
FIGURA 2.4 Localización de las exploraciones del subsuelo	11
FIGURA 2.5 Dimensiones de la viga de cimentación del Bloque 8	16
FIGURA 2.6 Dimensiones de la viga de cimentación del Bloque 2	17
FIGURA 2.7 Dimensiones de la viga de cimentación del Bloque 13	19
FIGURA 2.8 Variación de la capacidad de soporte de zapatas corridas	20

ANEXOS

ANEXO A. RESULTADOS LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTACIÓN

ANEXO B. INFORMACIÓN RECOPIADA

ANEXO C. LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO

ANEXO D. PATOLOGÍAS

ANEXO E. MARTILLO DE REBOTE

ANEXO F. EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS

ANEXO G. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

ANEXO H. MODELO DE ESTRUCTURA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASOCRETO- INSTITUTO DEL CONCRETO- , “*Seminario Evaluación y Diagnóstico de la Estructuras en Concreto*” – Harold Alberto Muñoz M., Bogotá D.C. , Noviembre 22 y 23 de 2001

Bonett, Ricardo. Universidad Politécnica de Cataluña. “*VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO DE EDIFICIOS. APLICACIÓN A ENTORNOS URBANOS EN ZONAS DE AMENAZA ALTA Y MODERADA*”. Tesis Doctoral, 2003

Cartografía IGAC, del año 1972

FOTOINTERPRETACIÓN, *Vuelo C-897 del Año 1983- Municipio de Medellín*

Gobernación de Antioquia. Medellín, “*Antioquia para todos*” - Gerencia de Comunicación. DIRECCIÓN DE INFORMACIÓN Y PRENSA. Mayo 12 de 2009

Molina V. Juan Camilo y Osorio N. “ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL BLOQUE M1”. FACULTAD DE MINAS, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN, 2004

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS - NTC, “Método de Ensayo para medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido – NTC-3692

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS - NTC, “Ensayo de Resistencia a la Compresión y Tracción Indirecta de núcleos de Hormigón”– NTC-889

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS - NTC, “Método de Ensayo para medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido – NTC-3692

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE MEDELLÍN, ACUERDO 46 DEL 2006

Ramos Q., Julio. “*ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL EDIFICIO CENTRAL BLOQUE NORTE DE LA UNIVERSIDAD DE CALDAS*”, 2003

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE -NSR-10
–

SAP 2000