

**EVALUACIÓN DE RIESGOS E IMPACTOS DE ASPECTOS GEOTÉCNICOS EN  
CONJUNTOS HABITACIONALES. ESTUDIO DE CASO EN LA CIUDAD DE  
CALI-VALLE**

**ANDRÉS FERNANDO ARCOS LÓPEZ**



**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
FACULTA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
INGENIERÍA INDUSTRIAL  
CALI – COLOMBIA  
2020**

**EVALUACIÓN DE RIESGOS E IMPACTOS DE ASPECTOS GEOTÉCNICOS EN  
CONJUNTOS HABITACIONALES. ESTUDIO DE CASO EN LA CIUDAD DE  
CALI-VALLE**

**ANDRÉS FERNANDO ARCOS LÓPEZ**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de:  
Ingeniero Industrial**

**CONDUCTOR  
DAVID EUGENIO DAJLES LENIS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA INDUSTRIAL  
CALI  
2020**

## Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	7
2. ANTECEDENTES .....	9
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
4. OBJETIVOS .....	15
4.1 OBJETIVO GENERAL .....	15
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
5. JUSTIFICACIÓN .....	16
6. DELIMITACIÓN .....	18
6.1 Espacio: .....	18
6.2 Delimitación de tiempo para la evaluación de los riesgos .....	18
6.3 Fundamento desde la seguridad Industrial .....	18
7. MARCO REFERENCIAL .....	19
7.1 Estado del Arte .....	19
7.2 Marco conceptual .....	22
7.3 Marco teórico .....	24
7.4 Estado Actual de Patología Estructural .....	33
7.5 Recopilación y Listado de Autores relevantes .....	36
7.6 Marco Legal .....	36
7.7 Marco Teórico Referencial.....	37
8. METODOLOGIA.....	39
8.1 Registro de Pruebas .....	41
8.2 Análisis de Procesos.....	41
9. CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO .....	44
9.1 Geología Superficial (INGEOMINAS).....	44
10. DIAGNOSTICO .....	46
10.1 Recopilación de Información.....	46
10.2 Estratigrafía.....	47
Capa A:.....	47
Capa B1:.....	47
Capa B2:.....	48
Capa C:.....	49
10.3 Perfil de terreno Estratigráfico:.....	52
10.4 Propiedades de los materiales .....	54
10.5 Nivel Freático y Drenaje.....	57
10.6 Notación importante .....	57
11. PROCEDIMIENTOS.....	58
11.1 Sismicidad Regional (Fuente: OSSO-Ingeominas).....	58
12. RESULTADOS .....	59
12.1 Test de seguridad industrial desde los resultados de geotecnia .....	59
12.2 Perfil de Suelo.....	62
12.3 Licuación .....	63
12.4 potencial contracto expansivo del suelo .....	64

13. CONCLUSIONES.....	65
14. RECOMENDACIONES .....	71
15. BIBLIOGRAFIA .....	73

### **Índice de tablas**

Tabla 1 Profundidad de Sondeos.....	13
Tabla 2 Listado de Autores .....	36
Tabla 3 Espesor Capa A (Rellenos heterogéneos).....	47
Tabla 4 Profundidad capa B1.....	48
Tabla 5 Profundidad capa B2.....	49
Tabla 6 Propiedades geomecánicas por sondeo .....	51
Tabla 7 Densidad relativa y de suelos cohesivos respecto a N .....	52
Tabla 8 Consistencia de suelos cohesivos respecto a N .....	54
Tabla 9 Indicador de Resultados de geotecnia .....	61
Tabla 10 Valores del coeficiente Fa para la zona de períodos .....	62
Tabla 11 Valores del coeficiente Fv para la zona de períodos .....	62
Tabla 12 Coeficientes y parámetros diseño sísmico según EMZSC.....	63
Tabla 13 Valores de Aa, Av, Ae y Ad para la zona del proyecto.....	63
Tabla 14 Valores de referencia potencial contracto-expansivo.....	65
Tabla 15 Modulo elástico del suelo.....	70
Tabla 16 Modulo elástico del suelo.....	70
Tabla 17 Parámetros empuje de tierras y diseño elástico Capas .....	70

## **Listado de Figuras**

Figura 1 Localización del proyecto.....	9
Figura 2 Localización de Sondeos y Apiques (Google Earth).....	14
Figura 3 Código de Hammurabi.....	27
Figura 4 Diagrama de Procesos Logísticos para la prevención del riesgo en las estructuras habitacionales .....	44
Figura 5 Geología superficial zona proyecto.....	45
Figura 6 Ciénagas antiguas en Norte de Cali (OSSO).....	45
Figura 7 Perfil estratigráfico .....	53
Figura 8 Variación de Propiedades índice vs Z en P1 .....	55
Figura 9 Variación de Límites de consistencia vs Z en P2.....	55
Figura 10 Variación de Límites de consistencia vs Z en P3.....	56
Figura 11 Variación de Límites de consistencia vs Z en P4.....	56
Figura 12 Variación de Límites de consistencia vs Z en P5.....	57
Figura 13 Estado de esfuerzos-tectónica regional.....	58

## **Listado Fotográfico**

Registro Fotográfico 1 Dilataciones y desplomen entre bloques y puntos-fijos ....	11
Registro Fotográfico 2 Trabajo en Campo Sondeos .....	13
Registro Fotográfico 3 Trabajo en Campo Apiques .....	13
Registro Fotográfico 4 Capa B1.....	48

Registro Fotográfico 5 Capa B2.....	49
Registro Fotográfico 6 Capa C.....	49

## 1. INTRODUCCIÓN

En la década de los 80, la patología en la construcción carecía de argumento como existen en la actualidad, debido a los antecedentes en Colombia por efectos naturales, el sismo trascendental que impacto el eje cafetero (25 de enero de 1999) permitió identificar los riesgos que el sector de la construcción debería superar, el sismo que destruyo a gran magnitud el municipio, el gremio de la construcción con ayuda del gobierno nacional busco implementar normas constructivas propias priorizando criterios donde se demandaba fortalecer el sistema estructural para proyectos en ejecución, nace la norma sismo resistente del 98 (**NSR98**) norma colombiana donde nace todo un conjunto de criterios constructivos y una serie de capítulos referente a los comportamientos según las fallas geológicas que presenta el país en toda su extensión. Primordialmente se define sacar de circulación el acero liso en todo proceso estructural reemplazándose por el acero corrugado.

Para el Conjunto Residencial Remansos de Coomeva, se realiza una investigación geotécnica, sub suelos afectados y cimentación de cada edificio de apartamentos ubicado dentro del predio del Condominio Campo Verde localizado en la Carrera 2B 40A-75 en el Barrio Manzanares de Santiago de Cali (Valle), donde se detecta

una problemática la cual admite ser llevado al campo de la ingeniería industrial con la finalidad de incorporar un modelo para mitigar los riesgos que enfrenta la comunidad, se busca brindar acción ante la problemática desde el análisis detectado, contribuyendo con beneficios para la comunidad ante el impacto inesperado que genera el costo de los trabajos a realizar, optimizar todos los recursos posibles buscando la economía restableciendo garantías frente al impacto social que la problemática implica.

El presente documento se ordena para detectar riesgos de salud y seguridad en la industria de la construcción, se busca implementar procesos donde se integre la seguridad industrial como fundamento para garantizar un adecuado sistema de corrección de problemas debido al peligro que presentan las estructuras de concreto reforzado frente a los eventos ambientales, identificar desde la geotécnica el estudio Patológico estructural (análisis de deformaciones irregulares en las estructuras de concreto reforzado) debido al incremento de agrietamientos situadas en la cimentación por el deterioro notorio pasados 25 años desde su etapa constructiva, cabe resaltar que a la fecha no existen seguros ni prendas de garantía ante estos incidentes, los propietarios de cada inmueble afectado deberán asumir los costos que impliquen los trabajos a realizar para restaurar las condiciones de normalidad habitacional, exponiendo la vida humana lo cual hace necesario e indispensable brindar seguridad para el bien de la comunidad afectada. Ver figura No 1

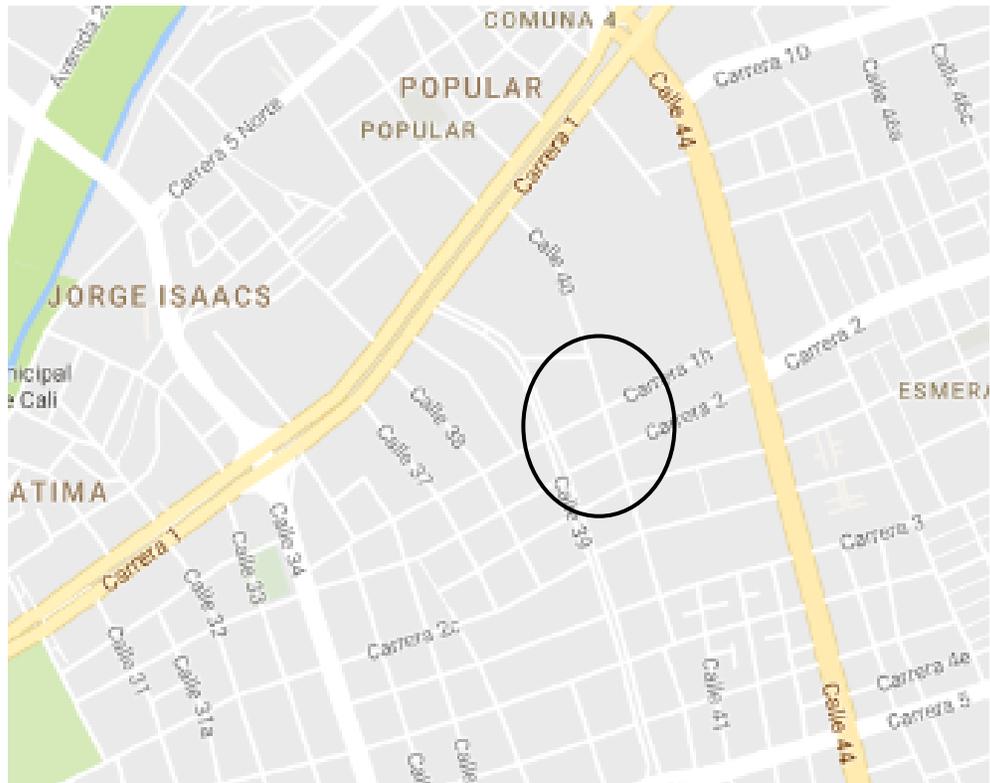


Figura 1 Localización del proyecto

## 2. ANTECEDENTES

Los estudios realizados para el caso del Conjunto Residencial Remansos de Coomeva mediante la geotecnia generan el presente documento como fuente de caracterización, los riesgos humanos e impactos de aspectos geotécnicos están ligados en el estudio de caso generando solución para los habitantes del conjunto residencial quienes aquejan la preocupación que esto genera, razón que llevo a gestionar la investigación para hallar serenidad en medio de la difícil situación que afecta las vidas humanas y por ende la calidad de los inmuebles deteriorados.

El estudio consistió, como es corriente en este tipo de investigación, la captura de información, mediante los sondeos del terreno afectado, se extraen muestras las cuales son analizadas en el laboratorio para determinar la compactación que el suelo contiene.

Desde el análisis estructural y mecanismos para el control de riesgos, se identifican herramientas útiles en la ingeniería industrial, detectando la problemática frente a la respuesta inmediata requerida, el alto nivel de vulnerabilidad, asentamientos en las edificaciones, agrietamientos al interior de los inmuebles visto desde el reconocimiento predial, registro fotográfico e inspección del suelo, indican parámetros de riesgos, lo cual permite ofrecer un elemento de respuesta inmediata ante estas afectaciones.





**Registro Fotográfico 1 Dilataciones y desplomen entre bloques y puntos-fijos**

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La hipótesis que se maneja en el Conjunto Residencial Remansos de Coomeva indica que los constructores en su etapa constructiva no se percataron de futuros problemas estructurales, los riesgos ante impactos a la salud, herramientas para la calidad de las edificaciones, desconociendo la necesidad de implementar procesos para integrar la seguridad industrial como fundamento, garantizando el adecuado sistema de corrección de problemas.

Toda eventualidad que implique peligro requiere la reducción de riesgo siendo este en la actualidad la principal complicación a enfrentar por los efectos económicos, según se indaga se desconocían las condiciones del terreno.

La presente investigación describe aspectos encaminados a riegos en impactos geotécnicos relacionados con la obtención de muestras de los distintos materiales del subsuelo y el plan de recursos necesarios para resolver la problemática, la finalidad es crear elementos que permitan hacer un adecuado diagnóstico planteando alternativas que determinen el procedimiento adecuado para el incidente que surge de la patología encontrada.

El proyecto consiste en el estudio de Patología Estructural de los edificios de las Torres C, D, E, F y G que ha presentado desplomes en los puntos fijos y torres (Ver fotografías).

La exploración radicó en cinco (5) perforaciones con equipo de percusión. Las ubicaciones de las exploraciones se localizan en las fotografías No.2 – No 3.

Su profundidad se muestra en la tabla No.1 Adicionalmente se excavaron tres (3) apiques manuales a fin de determinar tipo y profundidad de cimentación.





**Registro Fotográfico 2 Trabajo en Campo Sondeos**



**Registro Fotográfico 3 Trabajo en Campo Apiques**

Perforación	Profundidad ( Mt )
PF 1	6.5 Mt
PF 2	5.0 Mt
PF 3	6.5 Mt
PF 4	9.5 Mt
PF 5	10.5 Mt

**Tabla 1 Profundidad de Sondeos**

Como se puede apreciar en la imagen satelital, se ubicaron los puntos donde se efectuaron dichos sondeos y los apiques para determinar el análisis. Ver figura No 2.

En cada PF efectuaron pruebas de penetración estándar (E.P.S) siguiendo los procedimientos de la Norma ASTM D-1586-64. Los resultados de este ensayo, relacionados con la profundidad.

Los registros estratigráficos de las exploraciones se incluyen al final.



 Sondeo

 Apique

**Figura 2 Localización de Sondeos y Apiques (Google Earth)**

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

- Determinar factores de riesgo desde métodos de seguridad industrial aplicados a los impactos de aspectos geotécnicos en proyectos habitacionales en la Ciudad de Cali.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Establecer la realidad existente desde la geotecnia con ayuda del modelo test de seguridad industrial para identificar amenazas desde la óptica del Ingeniero Industrial en el Conjunto Residencial Remansos de Coomeva.
2. Determinar condiciones de riesgo que presenta el terreno en construcciones habitacionales desde el análisis de resultados de geotecnia.
3. Identificar procesos necesarios en la búsqueda de reducir costos con el análisis de riesgo garantizando el bienestar de los habitantes del Conjunto Residencial Remansos de Coomeva.
4. Determinar un procedimiento disminuyendo riesgos a partir de información geotécnica evaluando características patológicas en inmuebles para un óptimo diagnóstico estructural.

## 5. JUSTIFICACIÓN

En la industria de la construcción se detecta la necesidad de implementar procesos donde se integre la seguridad industrial como fundamento para garantizar un adecuado sistema de corrección de problemas sin afectar el bien común y la convivencia que se puede ofrecer cuando se requiere realizar trabajos de vulnerabilidad sísmica en los conjuntos residenciales , logrando identificar beneficios económicos y de competitividad, en la búsqueda de innovar los métodos tradicionales de perforación del suelo y la entrega de resultados eficientes.

El análisis geotécnico se realiza previamente al Conjunto Residencial Remansos de Coomeva donde se detectaron una serie de problemas estructurales por asentamientos y movimientos sísmicos permitiendo incluir factores de riesgos y la seguridad.

Surge la necesidad de implementar procesos donde se integre la seguridad industrial como fundamento para garantizar un adecuado sistema de corrección de problemas, determinar un diagnóstico desde las propiedades del terreno, un método que permita integrar herramientas que se incorporen a los requerimientos exigidos en estudios de suelos.

Se busca determinar la solución óptima ante la necesidad de corregir las fallas constructivas encontradas en el estudio, es indispensable realizar un estudio de suelos es donde se determinen causas ante los riesgos que afectan la comunidad, tiempos y la serie de actividades que permitirán obtener información del terreno.

Los sistemas constructivos demandan avances estructurales e implementación de avalúos de riesgos haciendo seguimiento a los comportamientos patológicos en la

cimentación de las edificaciones, procesos encaminados a identificar incremento de agrietamientos.

Las posibles dilataciones futuras son hipotéticas, se requiere hacer correcciones a tiempo, la estructura en general presenta deterioro notable, consultando la norma sismo resistente se detecta que el proceso constructivo del Conjunto Residencial Remansos de Coomeva presenta falencias y requerimientos de sismo resistencia con los que se construye actualmente, es necesario implementar procesos donde se integre la seguridad industrial como fundamento para garantizar un adecuado sistema de corrección de problemas, toda eventualidad que implique peligro requiere la reducción de riesgo.

En la reducción de riesgo, aumenta el rendimiento de productividad economizando tiempo y recursos económicos, evadir errores y reducir esfuerzos, haciendo más eficientes los procesos implementados en la ingeniería industrial.

Dependiendo del tipo de sub suelo y sus características para recibir esfuerzos de compresión, el costo de realizar cimentaciones puede ser muy elevado si el terreno es de pobres condiciones, se hace indispensable mejorarlo y estabilizarlo según los resultados obtenidos en laboratorio para evitar fallas futuras.

En el caso de edificar un suelo de pobres condiciones será mucho más costoso superar los problemas de estabilización si la obra se afecta en la cimentación, la consecuencia de esto es que hay desperdicio de dinero en sobre reforzar la cimentación. Para evitar estos tropiezos, se implementó como requisito obligatorio por las entidades administrativas la reglamentación en la propiedad horizontal la exigencia del estudio de suelos donde se le otorga la licencia de construcción a la obra, de esta manera disminuir el impacto de casos por los asentamientos al paso de tiempo.

Las curadurías urbanas otorgan los permisos o licencias aprobando los requisitos según las condiciones de capacidad portante del terreno para soportar los esfuerzos que se le transmitirán, evitar el avance de obras que ignoran la importancia de la geotecnia.

## **6. DELIMITACIÓN**

**6.1 Espacio:** Los ensayos son efectuados en el Valle del Cauca, Municipio de Cali, localizado en la Carrera 2B 40A-75 en el Barrio Manzanares.

**6.2 Delimitación de tiempo para la evaluación de los riesgos:** Se refiere a los momentos de evaluación de los riesgos, toda eventualidad que implique peligro requiere la reducción de riesgo.

**6.3 Fundamento desde la seguridad Industrial:** La necesidad de implementar procesos donde se integre la seguridad industrial como fundamento para garantizar un adecuado sistema de corrección de problemas ante la eventualidad que implique peligro requiere la reducción de riesgo.

## 7. MARCO REFERENCIAL

- **Título:** tipificaciones estructurales y las patologías.
- **Autor:** katherin perilla morales
- **Objetivo General:** Evaluar estructuras y sus patologías.
- **Metodología:** Caracterizar patologías repetidas.
- **Conclusiones:** Las patologías descritas perturban la seguridad.

Los estudios de riesgo desde los procesos constructivos permiten identificar soluciones a tiempo evitando futuros daños que pueden ser irreparables.

### 7.1 Estado del Arte

En medio de una catástrofe, hay que resolver el incidente para mitigar sus efectos y pérdidas, se determinan tres conceptos relacionados entre sí. (Valle, 2018)

1. **Riesgo de desastres:** Posibles pérdidas tales como, integridad de vidas, circunstancias de salud, inmuebles, afectación del sector expuesto al desastre.
2. **Reducción del riesgo de desastres:** Determina la reducción de riesgos de desastres donde se gestionan causas disminuyendo el riesgo, implementándose la disminución de vulnerabilidad para las personas y los inmuebles afectados, evadiendo futuros problemas dando soluciones prontas a la comunidad. (Valle, 2018)

- 3. Gestión del riesgo de desastres:** Consiste en realizar procedimientos sistemáticos desde el enfoque administrativo, en la búsqueda de robustecer contenidos, para contrarrestar adversidades.

Toda eventualidad que implique peligro requiere la reducción de riesgo de Desastre la cual incrementa el nivel de temor en la población afectada, en indispensable implementar estudios para disminuir la probabilidad de impactos y deterioro en el ámbito constructivo. (Riesgo, 2016)

Se busca determinar e identificar la problemática para cualquier sector en la gestión de impactos naturales, un proyecto debe garantizar la similitud de operaciones, planificar permanentemente en todos los aspectos de la obra y una adecuada administración de la misma. (Ministerio de Ambiente, 2010)

La información obtenida sirve como un modelo para la gestión de riesgos en las obras civiles, específicamente para mitigar esta serie de problemas que son muy notorios en los conjuntos residenciales, donde no se hace el seguimiento suficiente por parte de la administración de estas estructuras de uso residencial. (Valle, 2018)

Para la adecuada Gestión de Riesgo de Desastre el procedimiento se encamina en detectar los factores que amenazan e impactan gradualmente las estructuras de concreto reforzado desde el entorno físico. Es la manera de proceder ante estos enemigos silenciosos que son latentes en las obras civiles, son muy notorios cuando hay movimientos sísmicos. (Riesgo, 2016)

La valoración es fundamental para la Gestión de Riesgo de Desastres, los resultados logrados desde la geotecnia son de vital importancia para diagnosticar con exactitud la debilidad que presenta un suelo, conocer sus propiedades de

capacidad para soportar los esfuerzos que transmiten estas estructuras sobre reforzadas y rigurosas estructuralmente. (Riesgo, 2016)

Para estimar el porcentaje del nivel de vulnerabilidad, se requiere analizar en entornos físicos, conocer los antecedentes en el sector, consultar información geográfica e histórica, buscar mejorar las condiciones geológicas desde modelos aplicados en la ingeniería para garantizar buena calidad estructural en las edificaciones. (Riesgo, 2016)

La norma colombiana Sismo resistente consiste en reglamentar criterios desde los estudios detectados en los problemas constructivos del país, la norma se describe parámetros en los diseños constructivos, en la actualidad las edificaciones mejoraron, disminución de cargas, estructuras livianas, innovación en el acero, barras corrugadas con elongación, gracias a este reglamento se han presentado avances muy representativos para el desarrollo en la ingeniería. (Riesgo, 2016)

El reglamento sismo resistente (NSR10) cumple rigurosamente con la aprobación del ministerio de Ambiente, ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial, como también el ministerio de Transporte y del Interior. El avance produjo como resultado el mapa de sismicidad realizado por la Red Sismológica Nacional adscrita al Ingeominas. Se identifican zonas de amenaza sísmica, determinando el grado de sismicidad, alta, intermedia o baja. (Ministerio de Ambiente, 2010)

La norma es completamente realizada por especialistas analizando los comportamientos de cada región del territorio nacional. (NSR 10).

En Colombia los antecedentes de vulnerabilidad se encaminan después del sismo registrado el 25 de enero de 1999 el cual prácticamente violento la reconstrucción del eje cafetero, específicamente el Quindío, departamento que sufrió los mayores impactos de sismo, dicho acontecimiento trajo consigo pérdidas humanas y más de 30.0000 viviendas que sufrieron el impacto natural. (Colombiano, 1999)

## 7.2 Marco conceptual

La cifra del 87% por ciento indica que la población colombiana reside en áreas de inminencia sísmica alta e intermedia, debido al antecedente la metodología implementada para construir se modificó incluyendo criterios para la aprobación de licencias de construcción y el ordenamiento territorial salvaguardando la población. (Ministerio de Ambiente, 2010)

La construcción en Colombia es amparada por la NSR10 la cual implementa exigencias para garantizar en los procesos resistencia máxima de diseño requerida según el tipo de terreno para cada región del país, además el estudio riguroso de la geotecnia ofrece recomendaciones de diseño para minimizar capacidades de carga que serán transmitidas mediante el peso de las estructuras. (Ministerio de Ambiente, 2010).

El servicio geológico colombiano es la entidad encargada de suministrar la información vital para realizar implementación de nuevos criterios constructivos en los procesos de edificaciones.

Los estudios de riesgo en Colombia, y de sus componentes de amenaza, vulnerabilidad y exposición, se han ido realizando desde la década de 1980 hasta el presente.

1984 marco la diferencia debido a la publicación del estudio General de Riesgo Sísmico de Colombia con la vigencia del Decreto 1400 de 1984, a partir de esa fecha hasta el presente se han registrado más de 50 estudios de riesgo en el país.

Para el año 1992, publican el estudio de Microzonificación sísmica, análisis efectuado al cauca, su capital Popayán, adecuándose estudios de

microzonificación sísmica en Colombia, se registra partiendo en 1996 hasta el 2016, realizándose seguidamente estudios de riesgo analizando comportamientos de cada región.

La Gestión de Riesgo de Desastres (GRD) enfatizan tres factores de vital importancia. (Riesgo, 2016)

1. Corresponde a la comunidad científica y académica con origen académico institucional (universidad de Los Andes y el Centro de Estudios Sobre Desastres y Riesgos).
2. Corresponde instituciones de nivel nacional.
3. Corresponde al gremio constructor involucrado. (Riesgo, 2016)

INGEOMINAS es la entidad relacionados con riesgos de vulnerabilidad sísmica y vulcanología.

La apreciación de consecuencias permite el análisis de riesgo sobre la población, tomándose el registro de información histórica según las eventualidades consignadas según los registros catastróficos.

Para el proceso de obras civiles, es importante detectar niveles freáticos, determinar la existencia de agua incrementa la concentración de estabilizar la cimentación de las edificaciones, las propiedades de los estudios geotécnicos contribuyen al mejoramiento de parámetros para el diseño en la cimentación estructural.

### 7.3 Marco teórico

La teoría de factores de riesgo permite identificar aspectos importantes para el desarrollo positivo en la industria de la construcción, en Santiago de Cali, existen antecedentes mínimos desde el riesgo por causas ambientales o sismos de gran magnitud, la calidad de las estructuras se ha preservado sin desconocer Cali se sitúa sobre una zona de fallas geológicas.

#### 7.3.1 Precursores de la Investigación:

**Abraham Maslow:** Teoría del comportamiento (1950) las necesidades humanas sobre la base de una pirámide de necesidades que el hombre va satisfaciendo a medida que cumple metas.

**Ludwing von Bertalanffy:** Teoría de los sistemas (1951) los resultados que busca esta organización son la tecnificación y la agilidad de los procesos.

**Peter Drucker:** Teoría neoclásica (1954) Los aportes de esta teoría es que les asigna alta jerarquía a los conceptos clásicos de estructura, autoridad y responsabilidad.

**Charles-Augustin de Coulomb:** Nacido en Angulema, Francia, el 14 de junio de 1736. Describió matemáticamente por sus altos conocimientos en física la ley de atracción entre cargas eléctricas, en memoria del hallazgo nacen las teorías de culombio y la de torsión recta, mediante estas teorías surge el análisis del fallo del terreno dentro de la Mecánica de suelos. Fallece en París, el 23 de agosto de 1806. (Ecured, 2005)

**Carl Culmann:** Nacido el 10 de julio de 1821 en Bad Bergzabern, en la actual Alemania, Culmann padre, un pastor, le dio clases en casa antes de inscribirlo en la escuela de ingeniería militar en Metz para prepararse para el ingreso a la Escuela Politécnica. Se unió al servicio civil de Baviera en 1841 como aprendiz de mecánico en el diseño de puentes de ferrocarril. Continuando con sus estudios matemáticos, en particular bajo LC Schnürlein, desde 1849 hasta 1851, estudio los diseños comparativos de los puentes de braguero y el desarrollo de nuevas técnicas analíticas para facilitar sus investigaciones. En 1855, asumió la cátedra de ciencias de la ingeniería hasta su muerte. Culmann fue un pionero de métodos gráficos en la ingeniería, la publicación de su libro seminal sobre el tema, Die Graphische Statik (Estática Gráfica) en 1865. Él tuvo una profunda influencia sobre una generación de incluyendo ingenieros Maurice Koechlin y Otto Mohr. Murió en Zürich, Suiza. (linkfang.org, 2020).

**Karl von Terzaghi:** Nacido en Praga el 02 de octubre de 1883 trascendental Ingeniero identificado como el autor de patriarcado para los análisis de la mecánica de suelos, específicamente en el área de geotécnica, en 1925 obtuvo dicho reconocimiento, fallece en Winchester, Massachusetts USA el 25 de octubre de 1963. (Ecured, www.ecured.cu, 2005)

**Christian Otto Mohr:** Nacido en Alemania el 08 de octubre de 1835, ingeniero civil de profesión, apasionado por los métodos gráficos quien desarrolló el método para dos dimensiones conocido como círculo de Mohr útil para la resistencia de materiales, en la dinámica de esfuerzo cortante, en la búsqueda de implementar nuevas tendencias, nace el diagrama Williot-Mohr desde el concepto de armaduras y los desplazamientos, para el análisis de estructuras estáticamente indeterminadas desarrollo la teoría de Maxwell-Mohr, para la geotecnia implemento el diagnostico de mecánica de suelos cuando la muestra es sometido a esfuerzos biaxiales , Christian Otto Mohr fallece en Dresde el 02 de octubre de 1918. (Wikipedi, 2019).

**Harry Bolton Seed** Nace el 19 de agosto de 1922 Bolton, Inglaterra, este personaje es reconocido en el campo de la ingeniería donde se le otorga la licenciatura en Ingeniería Civil en 1944, consecuente con el doctorado en Ingeniería Estructural en 1947. La tesis fue meritoria basada en los conceptos no elástico y deformaciones en el hormigón. Especialista en la mecánica de suelos. Fue precursor de la ingeniería sísmica basada en el área de geotécnica, considerado como el padre fundador de ella; fallece el 23 de abril de 1989. (Ingenieros, 2020).

**Arthur Casagrande:** Nace en Austria, 28 agosto de 1902, realizo contribuciones importantes a los campos de la ingeniería geológica y de suelos. Conocido por los ensayos de suelos y exploraciones en la filtración del sub suelo, es acreditado como desarrollador de la mecánica de suelos del programa de enseñanza en la Universidad de Harvard durante la década de 1930 que desde entonces ha sido usado en muchas universidades de todo el mundo. Fallece el 06 septiembre de 1981. (ingenieria.es, 2016).

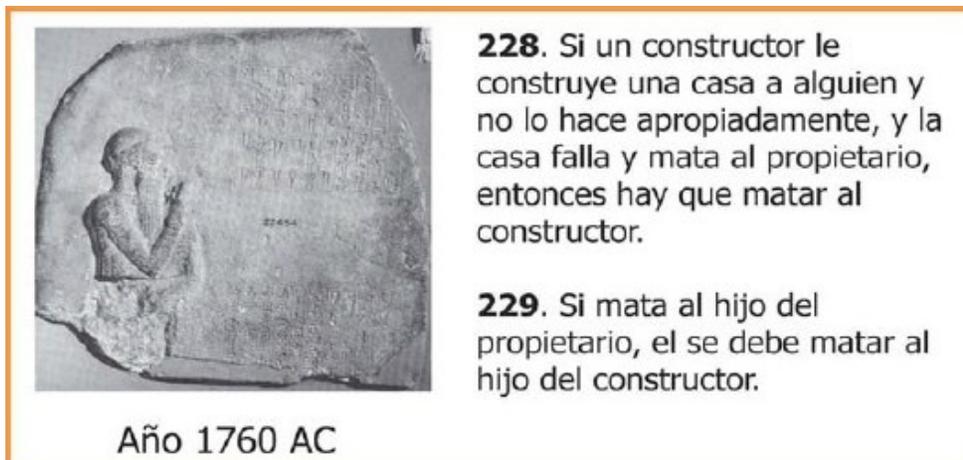
**Leonardo Zeevaert Wiechers:** Nacido en México el 27 de noviembre de 1914, en 1939 recibió el título como Ingeniero Civil, para el año de 1940 concede su maestría aplicando sus métodos como profesos de mecánica de suelos en la UNAM. Realizo hallazgos brindando soluciones para la problemática de cimentaciones, falleció el 16 de febrero del 2010. (Wikipedia, 2020).

**Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes:** Nace mediante la Ley 1400 de 1984, en la búsqueda de implementar el sistema estructural de las edificaciones en el territorio nacional, siguiendo la línea de criterios en el desarrollo tecnológico se aprueba la Ley 400 de 1997, dando origen a la norma sismo resistente 98 NSR-98, en cual reemplazo la anterior norma, partiendo del año 2010 se reglamenta la NSR-10, la cual sigue vigente.

La NSR-10 presenta cuantiosas demostraciones donde se han implementado y modificado para realizar procesos constructivos en Colombia, todo desde el criterio especializado en la ingeniería estructural, registrándose aspectos legales e implementándose jurídicamente como estatuto obligatorio en todo proceso de obras civiles. (Ingenieria, 2015)

¿qué es un código de construcción? Consiste en fortalecer las teorías constructivas donde se requiere alta exigencia para diseñar fortaleciendo las anteriores falencias que nos han dejado las catástrofes registradas en la historia de los avances en cada región donde los sismos impactaron las edificaciones.

Los códigos permiten realizar minuciosamente reglamentos para organizar procesos en la búsqueda de transformar teorías de investigaciones con argumentos, criterios y definiciones atendiendo la seguridad de las edificaciones, las recopilaciones del pasado permiten innovar actualmente la construcción de edificaciones. (Ingenieria, 2015)



**Figura 3 Código de Hammurabi**

Un riesgo se define como una estrategia para lograr el desarrollo sostenible asumiendo responsabilidades para que el sistema funcione, dentro de los riesgos

se permite observar y comparar contrastes de experiencias negativas y positivas para hacerlas aplicables hacia el futuro.

Se manifiestan adversidades que afectan la economía, exacerbando el déficit fiscal y acelerando temporalmente la formación de capital fijo. Es inevitable asumir un riesgo, así sea grande o pequeño, sin embargo, la sociedad no enfrenta el riesgo de manera consistente y sus estrategias no evidencian un gran éxito.

Las situaciones están sometidas a influencia de la suerte con relación de circunstancias, elementos, tiempo y casualidad de daño no siempre previsible. La confusión se alimenta por la baja calidad que conduce a causas, efectos y el resultado indica consecuencias directas e indirectas.

Un riesgo es la combinación entre amenaza y vulnerabilidad, la vulnerabilidad se relaciona con inestabilidad y valor económico, las amenazas pueden ser causas tales como;

**Naturales:** sismicidad, volcanismos, ciclones, fenómenos.

**Inducidas:** agravadas por actividades humanas, degradación de tierras, deslizamientos, efecto invernadero.

**Antrópicas:** originadas por el ser humano, contaminación, guerra, accidentes tecnológicos.

Las mayores amenazas se relacionan con los fenómenos naturales, entre los cuales se clasifica la geodinámica interna, es lo correspondiente al suelo, topografía, hidrodinámica y resistencia mecánica.

La geodinámica externa incluye el clima, viento, la lluvia, población y su infraestructura, también los fenómenos regionales locales.

Las causas que permiten detectar un riesgo en la construcción se relacionan con la vigilancia y el monitoreo generando la prevención y rehabilitación al mejoramiento de índices de pérdidas económicas.

Es necesario realizar un planteamiento de estrategias donde se aporte el desarrollo infraestructural para los casos donde se identifiquen riesgos, disminuyendo pérdidas humanas, garantizando confianza en la rigidez constructiva, la consecuencia es la relación beneficio – costo, donde se disminuye la inversión de reparaciones en las edificaciones.

En la mayor parte de los casos el riesgo puede ser evitable y controlable, pero el costo de la prevención puede superar el valor de lo que se desea proteger. La decisión sobre el nivel de riesgo es aceptada, no siempre depende de juicios objetivos o científicos, son más las consideraciones financieras y decisiones políticas.

Es indispensable incorporar el análisis de riesgo a lo largo del ciclo de todo proyecto.

Las desventajas en los procesos constructivos están relacionadas con factores climáticos, muchas actividades se realizan a la intemperie, obras como los acueductos, pavimentos, alcantarillados, cimentaciones, edificaciones, toma de muestras para los estudios de suelo, como se aprecia esto implica que se inicien procesos no planeados diferentes, convirtiéndose en impedimentos de la adecuada planificación de actividades, haciendo que se establezcan en cantidad de errores y problemas.

Otro factor que se genera negativamente está relacionado con los que intervienen en el proceso constructivo, no hay una integración óptima entre constructor, contratista, dueño y diseñador. El contratante prevalece sus preocupaciones en los tiempos que tardan las actividades, los costos que implican atrasos, los proyectistas ignoran aspectos constructivos, por hacer sus diseños apropiados a costos económicos, quienes ejecutan la obra buscan el mayor beneficio económico en los procesos constructivos, disminuyen costos reduciendo la calidad del proyecto, todo esto busca encontrar una adecuada planeación que someta a todas las partes en común acuerdo para lograr un proyecto que cumpla con todas las exigencias. El sector de la construcción esta vulnerable donde es muy fácil el ingreso de nuevas empresas. (Ministerio de Ambiente, 2010)

Algunas empresas constructoras desconocen la planificación durante las etapas del proyecto, como estrategia se requiere el adecuado desarrollo para las actividades, esto motiva para que el sector de la construcción genere la necesidad de mejoramiento y enfrentar exitosamente los desafíos actuales del sector, el aporte del ingeniero industrial permite entregar el diagnóstico y la evaluación de riesgos, la productividad, la eficiencia y la eficacia. (Ministerio de Ambiente, 2010)

### **7.3.2 El riesgo en la Industria de la Construcción**

En el sector de la construcción, haciendo referencia específicamente en las edificaciones superiores a 5 pisos, edificios residenciales, edificios de parqueaderos, hospitales, edificaciones académicas, coliseos deportivos, llámese edificaciones con altura superior a los 10 metros, se presenta una serie de agrietamientos producto de los asentamientos que se producen al suelo, en muchos no son notorios.

Trascurridos los años de uso y posteriores efectos ambientales, sismos, inundaciones, crecimiento de raíces de arborización, daños en las redes de alcantarillado, son algunos antecedentes posibles que afecten la cimentación de las edificaciones, incrementando el riesgo estructural, el riesgo implica un desastre, no existen estructuras anti sísmicas, el común denominador de la población utiliza esta terminología para referirse a la construcción.

La realidad es que todo proceso constructivo es denominado como sismo resistente, la forma correcta de hacer referencia al sistema estructural de una edificación, se busca preservar la vida humana ante los efectos naturales que impactan las obras civiles.

El avance en la industria de la construcción conduce al desarrollo preventivo el cual asume la reducción de catástrofes y amenazas, los comportamientos y efectos ambientales no se pueden evitar, los procesos industriales permiten mejorar la calidad de vida a la población de un sector.

Para emprender acciones de conservación preventiva hay que identificar factores de riesgo ante la exposición de efectos ambientales como los sismos, esta etapa incluye la comprensión de las causas que propician su deterioro.

A partir de este reconocimiento y diagnóstico se definen las estrategias preventivas adecuadas para mitigar dichos riesgos. Este proceso exige un trabajo interdisciplinario de personas cuyas actividades se relacionen con la protección del patrimonio, sea de forma permanente o temporal.

La correcta realización de estas labores permite analizar y corregir desde los procedimientos para obtener avances en cada trabajo del equipo articulado.

La administración de riesgo en un proyecto está ligado al ciclo técnico y económico en todas sus etapas durante la ejecución y una vez ejecutada la obra, es indispensable realizar un plan con especificaciones técnicas para realizar los procedimientos post geotecnia, estos resultados contribuyen a la implantación de mecanismos para la correcta ejecución de correcciones estructurales.

### **7.3.3 Aspectos Relevantes de los Riesgos**

Según indicadores e investigaciones, existen diversas formas para afrontar los riesgos en la población, el factor de riesgo principal que afectan rigurosamente la humanidad se relaciona con labores en el sector de la construcción, el gobierno nacional expone planes de riego para disminuir eventualidades en diversos sectores del país, entre ellos el de la construcción, el objetivo es brindar confianza ante las calamidades que afronta un sector, implementar prácticas para analizar los desastres buscando la disminución al incidente destructor.

En la actualidad se ha logrado identificar riesgos en el sector industrial realizando gestiones sociales ante las calamidades laborales, es evidente la determinación vista desde los estudios en el mundo donde se han logrado avances para evadir la vulnerabilidad y reducir la exposición de la sociedad ante sucesos altamente catastróficos.

## **7.4 Estado Actual de Patología Estructural**

La referencia del caso es evidente en el deterioro estructural que presenta el 50 % del conjunto, por ende, se resuelve conocer las propiedades del sub suelo por medio del estudio de suelos, se identificaron las propiedades físicas y geotécnicas dando inicio al reconocimiento de posibles riesgos en la búsqueda de posibles soluciones, los deterioros estructurales están directamente relacionados con las amenazas, estructuralmente la vulnerabilidad de los inmuebles es el principal lema de la investigación.

Existen diversos factores en la patología, condiciones de origen natural y otras hipótesis por fallas inducidas, malas prácticas en procedimientos de adiciones y reformas en los inmuebles implicados afectando la conservación e integridad de los inmuebles y el sistema estructural que se trasmite al suelo.

El clima incide notablemente en la conservación estructural, las regiones húmedas aumentan el riesgo de deterioro. Igualmente, cuando las edificaciones tienen problemas de humedad debido a tuberías dañadas, goteras o filtraciones de agua por muros, cubiertas o el subsuelo, la humedad relativa en el interior aumenta, la evaluación de amenazas ambientales y de vulnerabilidad son factores de riesgo considerables.

Para la etapa de diagnóstico, es indispensable el acompañamiento desde la administración del conjunto residencial quienes se encargarán de socializar el proyecto en medio de las actividades a realizar, implementar medidas que permitan y faciliten agilizar los procesos necesarios al interior del conjunto.

Es necesario determinar e identificar las mayores causas de riesgo en una obra civil que enfrenta por las causas a las que se exponen durante el proceso de construcción, dichas causas se relacionan con:

**Causas Naturales:** sismicidad, volcanismos, ciclones, fenómenos.

**Causas Inducidas:** agravadas por actividades humanas, degradación de tierras, deslizamientos, efecto invernadero.

**Causas Antrópicas:** originadas por el ser humano, contaminación, guerra, accidentes tecnológicos.

Se estima evaluar el riesgo y determinar el porcentaje de imprevistos causados en los procesos constructivos por factores ajenos a lo estipulado dentro de contratos.

Existen indicadores financieros llamadas herramientas que permiten medir el rendimiento del proyecto dentro del contexto del negocio que desarrolla, de igual manera permite determinar cuáles son los factores claves del negocio, lo cual sirve para una proyección razonable de la situación económica y financiera futura del proyecto.

Se requiere implementar un diseño de medidas y normas para el diagnóstico de prevención del riesgo, es indispensable determinar las actividades trascendentales a realizar, disminuir el riesgo identificando las principales causas del problema, realizar seguimiento y control para descartar el riesgo en lo mínimo posible.

Los procesos constructivos en Colombia carecían de chequeos previos en la etapa de ejecución, en la década actual se han modificado los criterios debido a la implementación de NSR10, la interventoría en la realización de obra toma fuerza

para disminuir futuros riesgos, respetando los parámetros de diseño y los requerimientos cumpliéndose a cabalidad una obra civil.

Por medio de la construcción se obtiene calidad de vida, se transforma en fuente permanente laboral, exige mano de obra de manera intensiva generando dinamismo para la industria y crecimiento poblacional.

La buena práctica en el sector de la construcción incrementa la atención de inversionistas en este sector, las constructoras mejoran sus procedimientos generando efectividad y mayores ganancias logrando activar la economía del país, lo anteriormente mencionado se refleja de la siguiente manera:

**SECTOR REAL:** El sector de la construcción identifica gran parte del movimiento que permite el crecimiento del país, impulsando la economía, la inversión, el crédito hipotecario, consolidando el patrimonio de las familias en todo el territorio nacional.

**SECTOR FINANCIERO:** Las obras civiles enriquecen la nación, incrementa el desarrollo económico, el pago de impuestos, permite dinamizar otros sectores que acompañan el desarrollo de la construcción.

## 7.5 Recopilación y Listado de Autores relevantes

<b>Autor</b>	<b>Tema de Investigación</b>	<b>Síntesis</b>
(Mejía, 2013)	El Concreto y sus Patologías	Daños y deformaciones estructurales
(Vargas, 2007)	Patología Estructural	Deterioros Estructurales
(Rodriguez, 2014)	Patología Estructural	Clase de mantenimiento de estructuras
(Sismica, 2011)	Guía de patologías constructivas	Inspección de edificaciones después de un sismo
(Rodriguez V. , 2004)	Patología y Rehabilitación de Edificios	Manual de Patología de la Edificación
(Ministerio de Ambiente, 2010)	Titulo H	Estudio de Geotecnia
(Rodgers, 2000)	Reducción del Impacto	Instrumentos para identificar riesgos
(Riesgo, 2016)	Mitigación de Riesgos	Factores financieros que afectan la economía en Colombia

**Tabla 2 Listado de Autores**

Fuente Propia

## 7.6 Marco Legal

El artículo 1 bajo la ley 52 de 1993 hace referencia a los procesos constructivos, toda clase de obra civil en general, edificaciones, en el desarrollo de un proyecto,

administración, imprevistos y utilidades que se presenten durante la ejecución de la misma. (Republica, 1993).

Las obras de ingeniería deben presentar dentro del proyecto actividades de bioseguridad, en la actualidad la pandemia aqueja el sector de la construcción, para ellos la prevención del Coronavirus COVID-19 aumento las recomendaciones para desempañar actividades en cualquier obra civil. (Vivienda, 2020).

Para la implementación del Sistema de Gestión de la Seguridad existe el decreto 1443 de 2014, donde se garantiza el Sistema General de Riesgos Laborales y salud en el trabajo, se protege la integridad física de los trabajadores evitando enfermedades laborales. Dentro de la seguridad industrial, la higiene es prioritaria para el buen desarrollo laboral del empleado, la capacitación en la utilización de sus implementos como el buen desempeño para la eficiencia a beneficio de la obra.(Trabajo, 2014)

## **7.7 Marco Teórico Referencial**

Para mitigar los riesgos que enfrenta la comunidad, se busca brindar acción ante la problemática desde el análisis detectado, contribuyendo con beneficios para la comunidad ante el impacto inesperado que genera el costo de los trabajos a realizar, optimizar todos los recursos posibles buscando la economía restableciendo garantías frente al impacto social que la problemática implica.

La investigación hace énfasis en la prevención de riesgos humanos e impactos de aspectos geotécnicos, para los habitantes del conjunto residencial es sinónimo de preocupación el impacto que el problema genera, razón que llevo a gestionar el

servicio geotécnico en la búsqueda de identificar el problema, conocer el dictamen por especialistas que genere tranquilidad, el patrimonio como lo es un inmueble con afectaciones estructurales en medio de la difícil situación que los afecta.

las amenazas y el riesgo son factores de incertidumbre que agobia la población del conjunto, en medio de la problemática cae la responsabilidad en los constructores del proyecto, el modelo busca identificar con argumento desde los diseños arquitectónicos, planos estructurales, confrontar la realidad de cada inmueble afectado, descartar si los diseños y las cuantías de acero se respetaron, verificar si la patología tiene origen en la etapa de construcción o se presentó posteriormente debido a reformas que se pudieron realizar buscando la ampliación y mejorar espacios en los inmuebles, por lo anteriormente mencionado es determinante en la investigación, de esta manera se determinan los esfuerzos a compresión, todos los procesos constructivos se encaminan mitigando amenazas, la vulnerabilidad en las estructuras, afectan el sector económico. (Rodgers, 2000)

Santiago de Cali presenta zonas donde existen fallas geológicas, sectores como el oeste, los cerros, y algunos corregimientos montañosos cercanos a la ciudad, donde son frecuentes los deslizamientos, derrumbes y fluidos por vertientes naturales propiciados por la lluvias, se relacionan con problemas en la estabilidad de los suelos, la mecánica y comportamiento de los asentamientos, el nivel freático se detecta a profundidades entre los 5.0 mt y 6.5 mt lo cual requiere estabilizar el terreno con materiales que solidifiquen la superficie a construir, es la necesidad que surge para adoptar procesos constructivos y métodos capaces de reducir la vulnerabilidad como planificación, disminuyendo factores de riesgo y desastres que impactan la sociedad y la economía. (Rodgers, 2000)

## 8. METODOLOGIA

El estudio de caso identifica la problemática que agobia la comunidad del sector generando peligros internos y preocupaciones por el deterioro y agrietamientos como se ven en el registro fotográfico 1 (página 10).

El estudio consiste, como es corriente en este tipo de investigación, la búsqueda de muestras mediante trabajos de campo, localizar sondeos para la perforación del suelo, llevarlos a pruebas de laboratorio.

El análisis geotécnico es la herramienta base para el estudio de caso detectando respuesta para disminuir el alto nivel de vulnerabilidad identificado en el reconocimiento predial, registro fotográfico e inspección del suelo según parámetros geotécnicos para el estudio estructural.

Las propiedades del sub suelo que arroja el resultado de laboratorio, permite identificar mecanismos de estabilidad, el sub suelo en muchos casos es pobre y no tiene las propiedades para la estabilidad estructural, la rigidez es el concepto requerido para el desarrollo de la construcción.

Existe poca información relacionada con el estudio de riesgos desde la patología estructural, indagando y buscando fuentes no existen modelos donde se integre el proceso para mitigar el riesgo con la información que arroja un estudio de suelos, se busca establecer procedimientos ante estos casos para evitar la pérdida de vidas humanas.

La Mecánica de Suelos juega un rol de suma importancia para las siguientes actividades:

- Excavaciones superficiales, profundas y subterráneas.
- Obras civiles (construcción de edificaciones).
- Industriales (estructuras para la producción, bodegaje y almacenamiento).
- Obras Publicas (Puentes, pavimentos, acueductos, alcantarillados).
- Adecuaciones en tierra (canales hidráulicos y terraplenes).
- Obras Hidráulicas (construcciones hidroeléctricas).
- Obras Portuarias (sistema flotante de estructuras).
- Obras mineras (extracción y retiros de material de excavaciones).

La masa continental según estudios consta del 29% de la superficie total del planeta, el 71% está cubierto de agua, cabe resaltar que no toda la superficie terrestre es apta para ser edificada, los desarrollos tecnológicos, avances y métodos para mejorar las condiciones del suelo contribuyen al incremento de edificaciones donde la ingeniería hace presencia gracias al conocimiento que ofrece la geotecnia para la construcción, es determinante realizar los cálculos desde los resultados de geotecnia para el desarrollo de la mecánica de suelos. (Ecured, [www.ecured.cu](http://www.ecured.cu), 2005)

## 8.1 Registro de Pruebas

Se consigna la toma de muestras obteniendo resultados necesarios para el diagnóstico geotécnico, pruebas de representación frecuente, compuestas por gradación última que pasa por el tamiz No. 200, límites líquidos y plásticos de consistencia para clasificación según la determinación del contenido de humedad natural. Se logra la obtención de muestra real mediante los tubos de pared delgada, tubos shelby, sometidos a pruebas de compresión con estimación del peso unitario.

## 8.2 Análisis de Procesos

El diagrama de flujo permite visualizar los procesos e indicar el mecanismo para obtener el adecuado diagnóstico, el modelo test de seguridad industrial desde los resultados de geotecnia, permite identificar operaciones filtrando labores a realizar y determinando el tratamiento que se busca ante la patología en estudio:

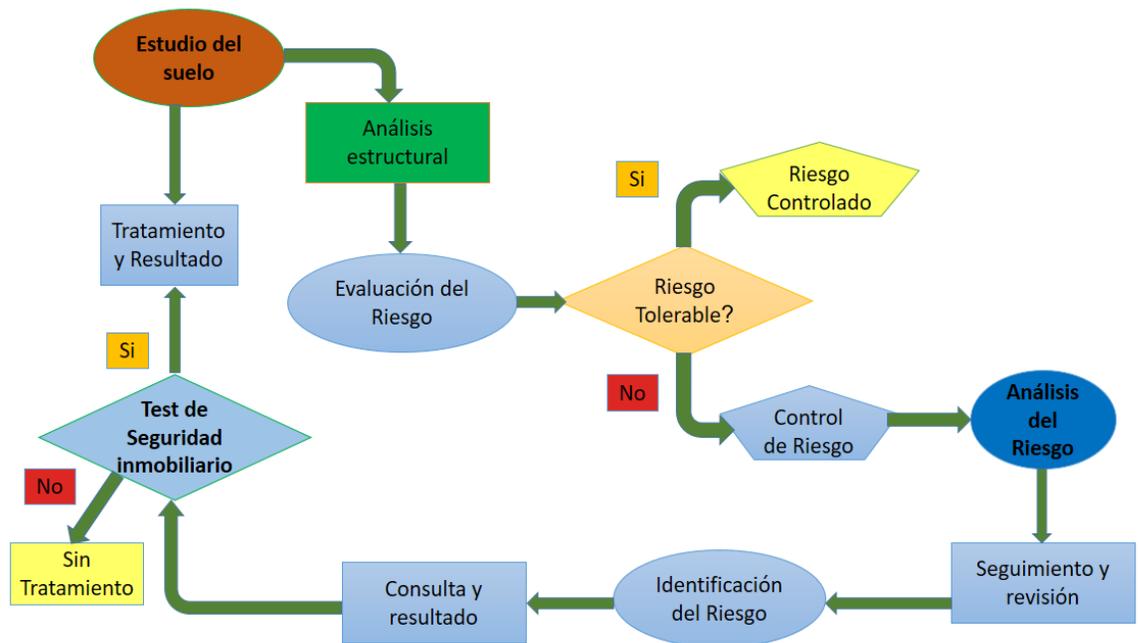
- a. **Estudio del suelo:** resultados obtenidos posteriores a las perforaciones en el sitio, llevada a laboratorio y entregadas para el análisis estructural.
- b. **Análisis estructural:** determinar el grado de afectación desde los resultados geotécnicos, resultados encaminados para la evaluación del riesgo.

- c. **Evaluación del Riesgo:** consiste en el análisis desde las pruebas de laboratorio entregadas por el equipo especialista donde se realizan una serie de recomendación en la investigación de estabilizar el suelo.
  
- d. **Tolerancia del riesgo:** consiste en determinar las pruebas obtenidas versus la escala de afectación de los inmuebles desde la óptica y procesos que se implementaran para el diagnóstico por el personal encargado en la gestión del riesgo, mediante el modelo del Análisis de Riesgo.
  
- e. **Análisis de Riesgo:** realizar inspección predial a cada inmueble en afectación para determinar el origen de vulnerabilidad, identificar causas y deterioros en la edificación, puntualizando si existe probabilidades de riesgo humano ante los daños estructurales.
  
- f. **Seguimiento y Revisión:** verificar la patología en todas las torres del conjunto, apartamentos libres de afectaciones, identificar las zonas donde se presentan mayores agrietamientos, zonas comunes, áreas de evacuación, el chequeo consiste en medir la seguridad admisible al interior del conjunto residencial.
  
- g. **Identificación del Riesgo:** determinar las mayores causas de riesgo probables, Causas Naturales (sismicidad, volcanismos, ciclones, fenómenos), Causas Inducidas (agravadas por actividades humanas, degradación de tierras, deslizamientos, efecto invernadero), Causas Antrópicas (originadas por el ser humano, contaminación, guerra, accidentes tecnológicos).
  
- h. **Consulta y Resultado:** identificadas las causas de riesgo y los factores por los cuales surgieron los agrietamientos, se procede al test de seguridad

industrial, será el elemento indicador de riesgo en el cual se busca garantizar la calidad habitacional con la que cuenta cada apartamento afectado.

- i. **Test de Seguridad inmobiliario:** permite realizar un avalúo en la totalidad del inmueble, determinando si el inmueble requiere mantenimiento o no presenta riesgo alguno. Con la captura de información se adquiere el análisis estructural detallado, donde se califica la estructura (Armazón, Muros, Cubierta) acabados principales (Fachada, Cubrimiento de Muros, Pisos) Baño y Cocina (Enchapes, Muros, Cubierta), partiendo del área total del inmueble se determina el porcentaje de área afectada, el resultado arroja un nivel de afectación (Alto, Medio, Bajo) considerándose el estado que presenta la amenaza en el inmueble (Probable, Posible, Inminente), con la información detectada se logra determinar si el inmueble presenta un riesgo elevado o pobre para ser evacuado o seguir habitado, brindando a la comunidad un parte de tranquilidad ante la amenaza que los aqueja.
  
- j. **Tratamiento y Resultado:** se determina por medio del test de seguridad los requerimientos mínimos establecidos con la solución óptima necesaria para garantizar la sana convivencia de cada integrante del conjunto, salvaguarda la integridad de cada habitante será el lema en el estudio de caso, el resultado va ligado al servicio de geotecnia, el test hará parte del nuevo portafolio de servicios el cual será entregado con los análisis de geotecnia, integrándose como parte de tranquilidad para la sana convivencia de los afectados, se busca constituir técnicas innovadoras para la seguridad industrial con los procesos de mantenimiento de obras civiles.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de procesos logísticos para la prevención del riesgo en las estructuras habitacionales:



**Figura 4 Diagrama de Procesos Logísticos para la prevención del riesgo en las estructuras habitacionales**

## 9. CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO

### 9.1 Geología Superficial (INGEOMINAS)

Los barrios La Merced, Prados del Norte, Santander, Salomia, La Base, Las Ameritas, Las Acacias, Aranjuez y Simón Bolívar se sitúan en esta zona, cuya área aproximada es de 15.7 km<sup>2</sup>. Presenta periodos fundamentales entre 1.4 – 2.0 segundos con un valor promedio de 1.7 segundos.

El predio en estudio se encuentra localizado en sobre el sub suelo de material arcilloso.



**Figura 5 Geología superficial zona proyecto**

En este caso en particular, el sector se encuentra emplazado sobre antiguas ciénagas y madrevejas del Río Cali, que fueron desecadas y rellenadas en el proceso de Urbanización del Norte de Cali. La presencia de estas ciénagas están directamente relacionadas con la patología observada. Ver figura No 5



**Figura 6 Ciénagas antiguas en Norte de Cali (OSSO)**

## **10.DIAGNOSTICO**

El proyecto presenta las siguientes etapas las cuales buscan desarrollarse de la siguiente manera:

### **10.1 Recopilación de Información**

La información se obtiene después de realizar el análisis de propiedades físicas del subsuelo, dando continuidad por el diagnostico según parámetros del test de seguridad industrial desde los resultados de geotecnia para determinar el nivel de riesgo ante la exposición humana en medio de las correcciones estructurales.

Es necesario realizar visita posterior a los inmuebles afectados e inspeccionar para reconocer el nivel de vulnerabilidad en la búsqueda de:

- Estadísticas de los predios afectados.
- Registros fotográficos.
- Entrega de diagnóstico para concluir operaciones.

Para determinar los procesos técnicos se requiere de personal experto como los son, especialistas en geología, quienes definen desde la geotecnia una serie de recomendaciones a seguir.

## 10.2 Estratigrafía

Los materiales encontrados están caracterizados por rellenos conformados en poco espesor, sobre capas de limos arcillosos de muy alta plasticidad y de consistencia media que incrementa con la profundidad, apoyados sobre materiales predominantemente granulares -gravas limo-arenosas- de compacidad muy densa. La estratigrafía se detalla a continuación:

**Capa A:** Superficialmente se encontraron rellenos heterogéneos limo-arenosos con escombros y capas de material tipo “roca-muerta”. El espesor de esta capa, en el sitio de cada sondeo se muestra en la tabla No 3.

Sondeo	Espesor ( Mt )
PR 1	0.9 Mt
PR 2	1.0 Mt
PR 3	0.6 Mt
PR 4	0.5 Mt
PR 5	0.5 Mt

**Tabla 3 Espesor Capa A (Rellenos heterogéneos)**

**Capa B1:** se detecta limos arcillosos de plasticidad muy alta, color café y gris oscuro (suelos MH del USCS). La consistencia es media a juzgar por el número de golpes (N) que osciló entre los 8 y 15 golpes/pié. La humedad natural está cercana al límite plástico. La expansión libre en probeta excede el 100%.

Sus propiedades indican una depositación lenta, que a menudo está relacionada con problemas de contracto-expansividad. La profundidad de esta capa, en el sitio de cada sondeo, se detalla en la tabla No 4, por lo que se puede deducir que la cimentación se encuentra sobre estos materiales en la mayoría de las torres.

Sondeo	Profundidad ( Mt )
PR 1	3.0 Mt
PR 2	2.5 Mt
PR 3	2.5 Mt
PR 4	1.5 Mt
PR 5	1.5 Mt

**Tabla 4 Profundidad capa B1**



**Registro Fotográfico 4 Capa B1**

**Capa B2:** A continuación, emergen limos arcillosos de plasticidad alta con trazas de arena (f), color café amarillento y amarillento oscuro (suelos MH del USCS). La consistencia es dura a juzgar por el número de golpes (N) del ensayo de penetración (SPT) que osciló entre los 11 y 49 golpes/ y su humedad natural está cercana al límite plástico, promedio ( $\omega$ ) de 1.95 T/m<sup>3</sup>. La profundidad de esta capa, en el sitio de cada sondeo, se detalla en la tabla No 5.

Sondeo	Profundidad ( Mt )
PR 1	6.0 Mt
PR 2	5.0 Mt
PR 3	5.5 Mt
PR 4	5.5 Mt
PR 5	5.0 Mt

**Tabla 5 Profundidad capa B2**



**Registro Fotográfico 5 Capa B2**

**Capa C:** Por último, aparecen gravas (g-m-f) con algo de arena (f) en matriz limo-arcillosa de plasticidad media de color amarillo grisáceo con motas café oscuro, (suelos GM y SM del USCS). La compactidad está entre densa y muy densa. Estos materiales se detectaron entre 5.0m y 9.5 m.



**Registro Fotográfico 6 Capa C**

Las propiedades geomecánicas de los materiales, en el sitio de cada sondeo, se muestra en la tabla No 6.

Proyecto:		PATOLOGIA ESTRUCTURAL APARTAMENTOS CONDOMINIO REMANSOS DE COOMEVA		Localización:		CARRERA 2B No 40A-75 CALI - ( TORRE F )				Sondeo:		P1		NF:	
Capa	Prof m	Descripción		Pasa 200 (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	HN (%)	USCS	AAHSTO	g T/m3	qu Kg/cm2	N golp/pie		
A	0,0-0,9	Relleno - Heterogeneo, Limo arcilloso organico con algo de escombros, finos medianamente plastico café amarillento oscuro.		-	-	-	-	-	MH	-	-	-	-		
B1	0,9-3,0	Limo arcilloso de alta plasticidad, y expansividad alta, color gris oscuro, consistencia media.		-	79	43	36	39	ML	-	-	-	12		
B2	3,0-6,5	Limo arcilloso con algo de arena fina, de plasticidad media, color café rojizo oscuro, vetas color gris oscuro consistencia media alta.		-	Entre 49 y 78	Entre 31 y 49	Entre 18 y 29	Entre 28 y 43	MH	-	-	-	Entre 11 y 49		

Proyecto:		PATOLOGIA ESTRUCTURAL APARTAMENTOS CONDOMINIO REMANSOS DE COOMEVA		Localización:		CARRERA 2B No 40A-75 CALI - ( TORRE F )				Sondeo:		P2		NF:	
Capa	Prof m	Descripción		Pasa 200 (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	HN (%)	USCS	AAHSTO	g T/m3	qu Kg/cm2	N golp/pie		
A	0,0-1,0	Relleno - Heterogeneo, Limo arcilloso organico con algo de escombros, finos medianamente plastico café amarillento oscuro.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
B1	1,0-2,5	Limo arcilloso de alta plasticidad, y expansividad alta, color gris oscuro, consistencia media.		-	-	-	-	-	MH	-	-	-	8		
B2	2,5-4,0	Limo con arena fina, de plasticidad media, color café rojizo oscuro, consistencia dura.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	Entre 19 y 70		

Proyecto:		PATOLOGIA ESTRUCTURAL APARTAMENTOS CONDOMINIO REMANSOS DE COOMEVA		Localización:		CARRERA 2B No 40A-75 CALI - ( TORRE F )				Sondeo:		P3		NF:	
Capa	Prof m	Descripción		Pasa 200 (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	HN (%)	USCS	AAHSTO	g T/m3	qu Kg/cm2	N golp/pie		
A	0,0-0,6	Relleno - Heterogeneo, Limo arcilloso organico con algo de escombros, finos medianamente plastico café oscuro.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
B1	0,6-2,5	Limo arcilloso de alta plasticidad, y expansividad alta, color gris oscuro, consistencia blanda.		-	-	-	-	-	MH	-	-	-	7		
B2	2,5-5,5	Limo arcilloso con algo de arena fina, de plasticidad media, color amarillo oscuro, vetas color gris oscuro consistencia media.		-	-	-	-	-	MH	-	-	-	Entre 15 y 20		
C1	5,5-6,5	Arena limo arcillosa, plasticidad media, color amarillo oscuro, consistencia dura.		-	-	-	-	-	SC	-	-	-	46		

Proyecto:		PATOLOGIA ESTRUCTURAL APARTAMENTOS CONDominio REMANSOS DE COOMEVA		Localización:		CARRERA 2B No 40A-75 CALI - ( TORRE F )				Sondeo:	P4	NF:	
Capa	Prof m	Descripción		Pasa 200 (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	HN (%)	USCS	AAHSTO	g T/m3	qu Kg/cm2	N golp/pie
A	0,0-0,5	Relleno - Heterogeneo, Limo arcilloso organico con algo de escombros.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B1	0,5-1,5	Limo arcilloso de alta plasticidad, y expansividad alta, color café oscuro, consistencia dura.		-	-	-	-	-	MH	-	-	-	-
B2	1,5-3,0	Arcilla con algo de arena fina, de plasticidad media, medianamente expansivo, color café amarillento oscuro, consistencia media.		-	-	-	-	-	CH	-	-	-	16
C1	3,0-4,5	Grava, finos no plasticos, grano meteorizado, color café amarillento vetas grises oscura, medianamente humedo.		-	-	-	-	-	GM	-	-	-	10
B2	4,5-5,5	Arcilla limosa con arena, plasticidad media, color amarillo oscuro, vetas color gris oscuro consistencia dura.		-	-	-	-	-	CL	-	-	-	35
C1	5,5-8,0	Grava, finos plasticos, grano meteorizado, color café amarillento vetas cafes oscura, compacidad media.		-	-	-	-	-	GC	-	-	-	21

Proyecto:		PATOLOGIA ESTRUCTURAL APARTAMENTOS CONDominio REMANSOS DE COOMEVA		Localización:		CARRERA 2B No 40A-75 CALI - ( TORRE F )				Sondeo:	P5	NF:	
Capa	Prof m	Descripción		Pasa 200 (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	HN (%)	USCS	AAHSTO	g T/m3	qu Kg/cm2	N golp/pie
A	0,0-0,5	Relleno - Heterogeneo, Limo arcilloso organico con algo de escombros.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B1	0,5-1,5	Limo arcilloso de alta plasticidad, y expansividad alta, color café oscuro, consistencia blanda.		-	-	-	-	-	MH	-	-	-	10
B2	1,5-5,0	Limo arcilloso con algo de arena fina, de plasticidad media, medianamente expansiva, color café amarillento oscuro, consistencia media dura.		-	-	-	-	-	CH	-	-	-	Entre 19 y 44
C1	5,0-9,5	Grava con finos plasticos y no plasticos, grano meteorizado, color café amarillento vetas café oscuras, compacidad media firme, medianamente humedo.		-	-	-	-	-	GC-GM	-	-	-	Entre 21 y 80

**Tabla 6 Propiedades geomecánicas por sondeo**

En las tablas Numeradas 6 y 7 se dan valores de referencia para la consistencia y densidad de suelos cohesivos y granulares.

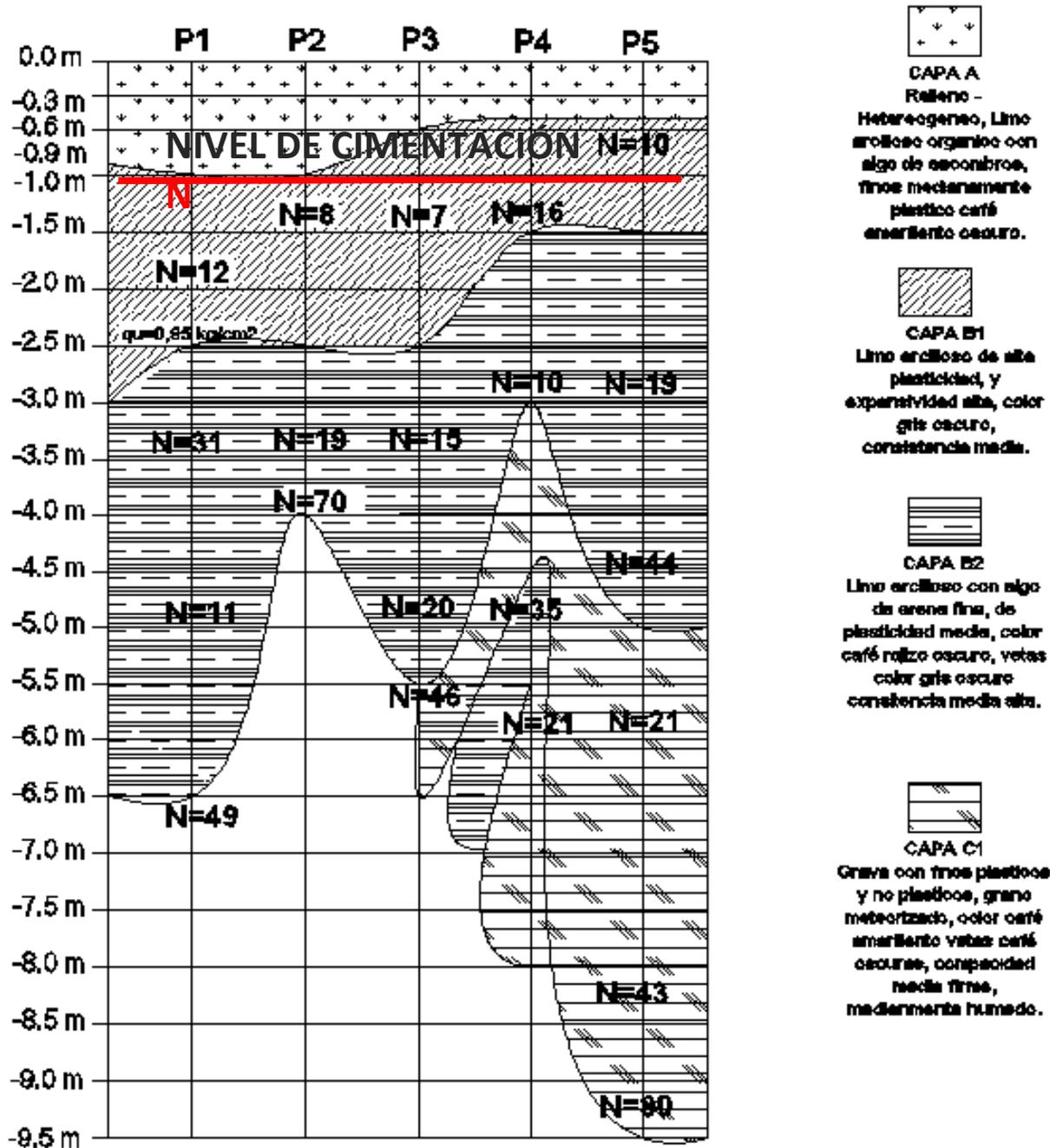
N. Número de Golpes (SPT.)	Descripción relativa de la arena en cuanto al tamaño del grano	Estado relativo de densidad	Angulo de fricción del suelo
1-2	Fina	Muy suelta	26-28
2-3	Media		27-28
3-6	Gruesa		28-30
3-6	Fina	Suelta	25-40
4-7	Media		
5-9	Gruesa		

7-15	Fina	Media	40-50
8-20	Media		
10-25	Gruesa		
16-30	Fina	Densa	50-60
21-40	Media		
26-45	Gruesa		
>45	Fina	Muy densa	50-70
	Media		
	Gruesa		

**Tabla 7 Densidad relativa y de suelos cohesivos respecto a N**

### **10.3 Perfil de terreno Estratigráfico:**

El perfil estratigráfico del subsuelo del proyecto determina el tipo de capas que se encuentra al realizar las exploraciones mediante las perforaciones en la toma de muestras, como se indica y se aprecia en la figura No 7.



<b>N. Número de Golpes (SPT.)</b>	<b>Consistencia</b>	<b>(Qu). Resistencia a la Compresión</b>
0-2	Muy blanda	0-25
2-5	Blanda	25-50
5-10	Medio firme	50-100
10-20	Firme	100-200
20-30	Muy firme	200-400
>30	Dura	>400

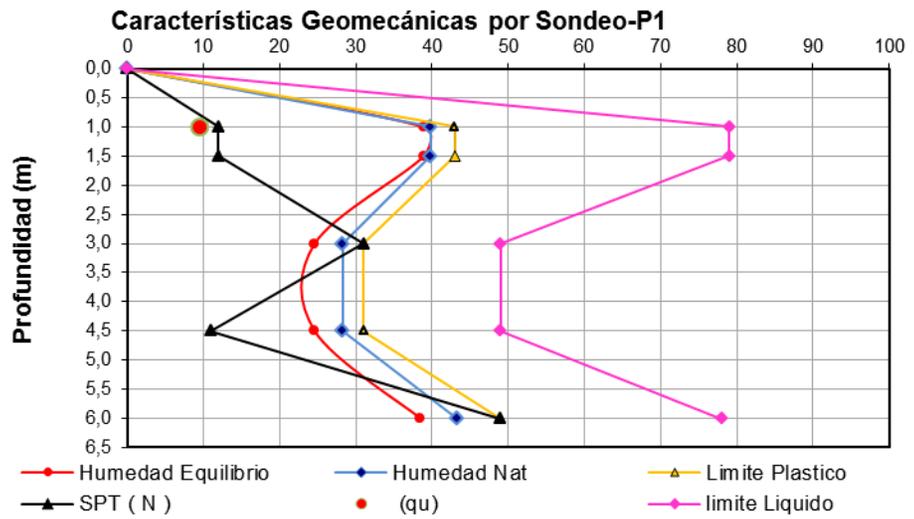
**Tabla 8 Consistencia para suelos cohesivos respecto a N**

#### **10.4 Propiedades de los materiales**

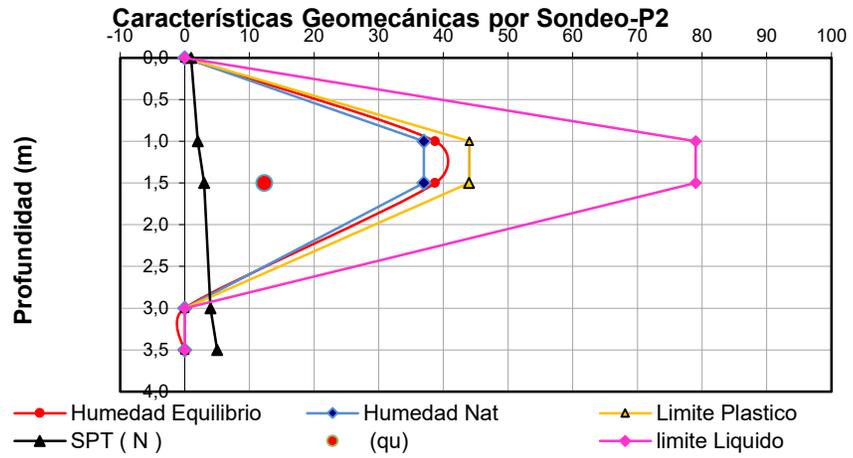
Los materiales corresponden a sedimentos normalmente consolidados, compuestos por capas superficiales de limos arcillosos de alta plasticidad distribuidas en espesor variable sobre gravas limosas densas.

La consistencia de los materiales de apoyo está entre media y muy dura.

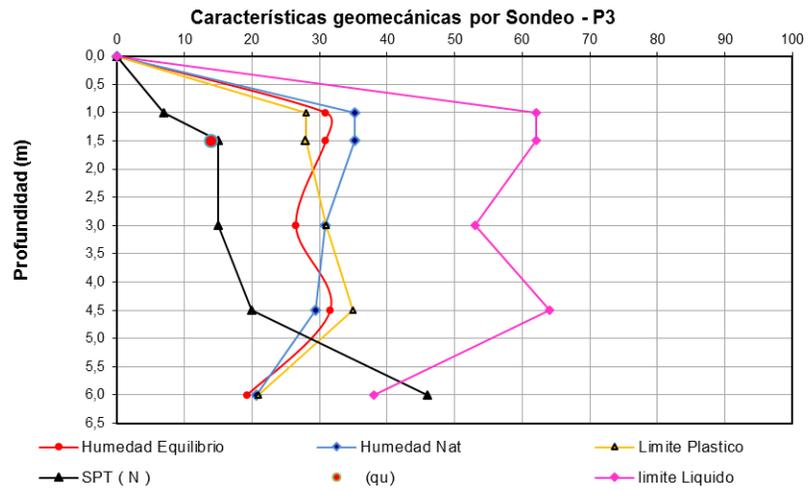
La plasticidad de los materiales superficiales es muy alta. La humedad natural es baja y por debajo de la humedad de equilibrio e incluso del límite plástico.



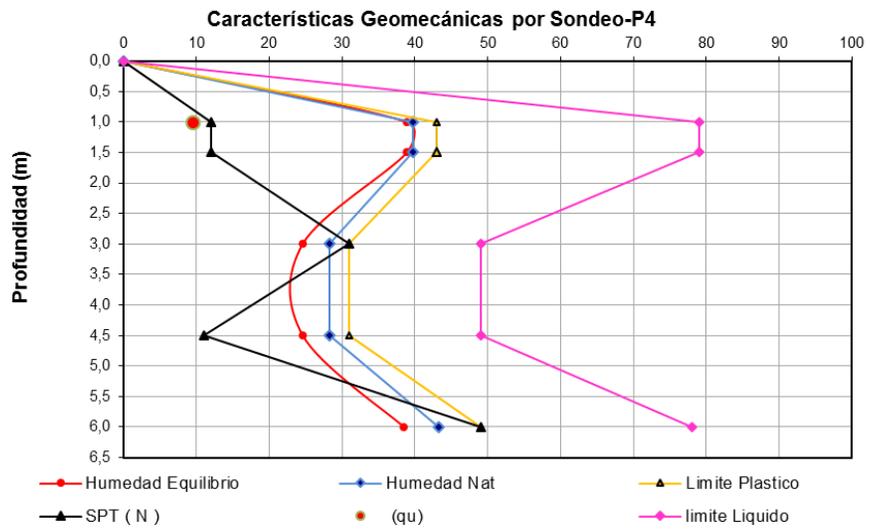
**Figura 8 Variación de Propiedades índice vs Z en P1**



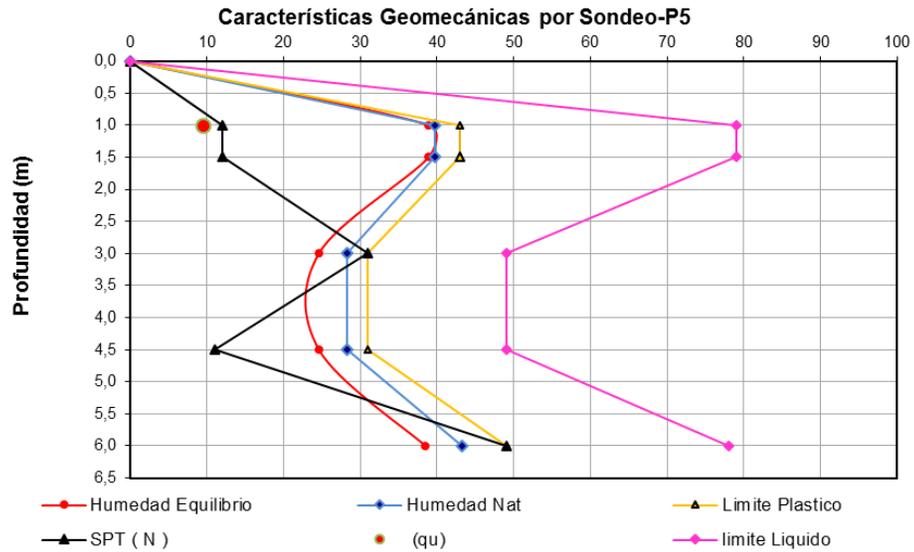
**Figura 9 Variación de Límites de consistencia vs Z en P2**



**Figura 10 Variación de Límites de consistencia vs Z en P3**



**Figura 11 Variación de Límites de consistencia vs Z en P4**



**Figura 12 Variación de Límites de consistencia vs Z en P5**

### 10.5 Nivel Freático y Drenaje

se detectó hasta las profundidades exploradas (-6,0 m). Dados los niveles proyectados de excavación, no se anticipan mayores inconvenientes ocasionados por el agua de infiltración, en la excavación del sótano.

### 10.6 Notación importante

la ausencia del nivel freático genera suelos parcialmente saturados, susceptibles de moverse con los cambios de humedad.

## 11.PROCEDIMIENTOS

### 11.1Sismicidad Regional (Fuente: OSSO-Ingeominas)

Toda la región andina de Colombia está determinada, en términos de fallas geológicas y sismos, por la convergencia de dos grandes placas tectónicas, la de Nazca (oceánica) y la de Sudamérica (continental).

Entre estas dos, el llamado "Bloque Norandino" se ha desarrollado como una microplaca, con movimiento en dirección NNE.

Regionalmente se presentan esfuerzos derivados por la fricción entre estas placas, resaltan tres tipos de fuentes sísmicas importantes:

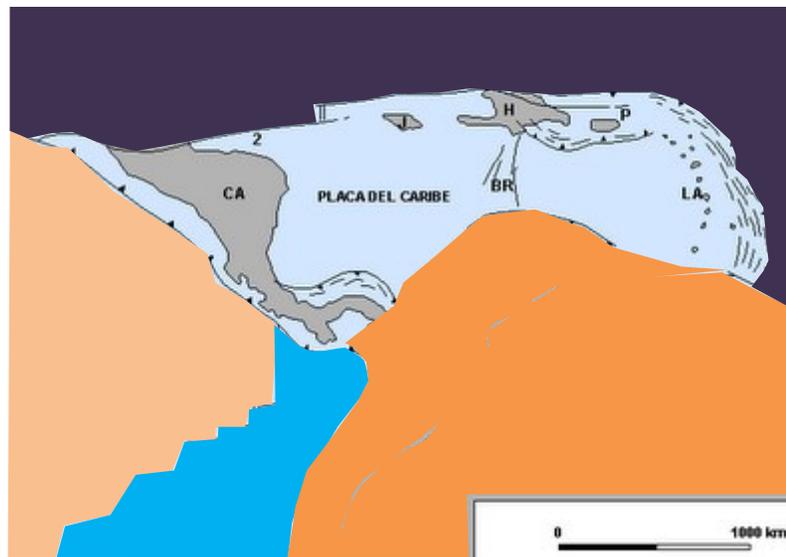


Figura 13 Estado de esfuerzos-tectónica regional

- a. Zona de Subducción: sismicidad superficial hasta profundidades de 40 Km, aproximadamente.
- b. Zona de Wadati-Benioff: sismicidad es la más profunda de la región, hasta más de 100 Km.
- c. Intraplaca: pertenecen fallas del sistema que atraviesa el País de Sur a Norte, generan sismos cercanos a la ciudad.

## **12.RESULTADOS**

Según el planteamiento expuesto en los objetivos específicos se implementa un modelo para evaluar la edificación según las condiciones actuales de afectación, también se determina mediante este modelo el riesgo de exposición que se presenta en los inmuebles más vulnerables en la problemática.

### **12.1 Test de seguridad industrial desde los resultados de geotecnia**

El siguiente formato permite caracterizar el riesgo en cada inmueble con la finalidad de plantear el diagnóstico que será muy útil en la comunidad una vez se realice la entrega de resultados de geotecnia.

Test de seguridad industrial desde los resultados de geotecnia										
Cara 1	Nombre o dirección del Predio	Barrio	Depto.	Municipio	Tipo	Sector	Manzana	Predio	Propiedad Horizontal	

Cara 2	Nivel de Afectación			Uso del Suelo						
	Alto	Medio	Bajo	Habitacional	Comercial	Religioso	Industrial	Publico	Educativo	

Cara 3	Superficie Afectada (m <sub>2</sub> )	Riesgo			Amenaza			Evacuar		
		Alto	Medio	Bajo	Probable	Posible	Inminente	Si	No	

<b>Cara 4</b>	<b>Estructura</b>		<b>Acabados Principales</b>		<b>Baño</b>		<b>Cocina</b>		<b>Totales</b>	
	Armazón		Fachada		Enchape		Enchape		Habitaciones	
	Malo		Malo		Malo		Malo			
	Regular		Regular		Regular		Regular			
	Bueno		Bueno		Bueno		Bueno		Baños	
	Muros		Cubrimiento de Muros		Piso		Piso			
	Malo		Malo		Malo		Malo			
	Regular		Regular		Regular		Regular		Locales	
	Bueno		Bueno		Bueno		Bueno			
	Cubierta		Pisos		Cubierta		Cubierta			
	Malo		Malo		Malo		Malo		Número de Pisos	
	Regular		Regular		Regular		Regular			
	Bueno		Bueno		Bueno		Bueno			
	Conservación		Conservación		Conservación		Conservación			
	Malo		Malo		Malo		Malo		Año de Construcción	
	Regular		Regular		Regular		Regular			
Bueno		Bueno		Bueno		Bueno				

**Tabla 9 Indicador de Resultados de geotecnia**

La Tabla anterior permite identificar factores en la búsqueda de mejorar la evaluación los cuales determinar los procesos requeridos:

- Identificar causas naturales de afectación.
- Vulnerabilidad de inmueble.
- Vulnerabilidad estructural.
- Vulnerabilidad Física de cada inmueble.

## 12.2 Perfil de Suelo

La Norma (NSR-2010) se determina:

Siguiendo lo estipulado en el título A de la NSR 2010, el perfil es tipo E como se ilustra en la tabla 10 y 11.

Tipo de perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
<b>A</b>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<b>B</b>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<b>C</b>	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
<b>D</b>	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1
<b>F</b>	nota	nota	nota	nota	nota

nota: debe realizarse una investigación geotécnica para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda.

**Tabla 10 Valores del coeficiente  $F_a$  para la zona de períodos**

Tipo de perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
<b>A</b>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<b>B</b>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<b>C</b>	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
<b>D</b>	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
<b>F</b>	nota	nota	nota	nota	nota

nota: debe realizarse una investigación geotécnica para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda.

**Tabla 11 Valores del coeficiente  $F_v$  para la zona de períodos**

De acuerdo al estudio de Micro-zonificación sísmica (Ingeominas 2006), la zona correspondiente a la respuesta sísmica es la **zona 4B (Abanico Distal Cali - Menga)**. Ver tabla No 12.

Unidad	Id	Periodo Elástico seg	PGA Ao	T	Diseño				Máximos				Seguridad Limitada				Umbral Dado			
					Aa-0.25		Av-0.25		Aa-0.25		Av-0.25		Ae-0.15				Ad-0.09		Tbd-0.25	
					Tc	Fa	Tl	Fv	Tc	Fa	Tl	Fv	Tc	Fa	Tl	Fv	Fv	S	Tcd	Tld
Abanico Distal Cali-Menga	4b	1.00-1.50	0.28	Tc	0.70	1.04	2.50	1.52	0.50	0.96	2.50	1.00	0.70	1.04	2.50	1.52	2.67	3.34	1.67	2.50
				Tl	1.60	0.80	2.50	1.67	1.50	0.72	2.50	2.25	1.60	0.80	2.50	1.67				

**Tabla 12 Coeficientes y parámetros diseño sísmico según EMZSC**

En la tabla No 13, se muestra la zona de amenaza y los parámetros de diseño sísmico para la Ciudad de Cali.

Municipio	Código Municipio	A <sub>a</sub>	A <sub>v</sub>	Zona de Amenaza Sísmica	A <sub>e</sub>	A <sub>d</sub>
Cali	76001	0.25	0.25	Alta	0.15	0.09

**Tabla 13 Valores de A<sub>a</sub>, A<sub>v</sub>, A<sub>e</sub> y A<sub>d</sub> para la zona del proyecto**

### 12.3 Licuación

La licuación de suelos, es un fenómeno en el que, el incremento de la presión del agua intersticial de los suelos, hace que la fricción entre los granos se pierda, reduciendo la resistencia al corte al mínimo, al punto de no poder soportar su propio peso y mucho menos, el de las cargas impuestas., comportándose mecánicamente el suelo, como un líquido.

En las capas del suelo capa B1, B2 y C1 es nula la posibilidad de licuación. Adicionalmente se revisó el potencial de licuación de la estratigrafía específica encontrada en el predio, utilizando el método de las “tensiones totales” (principalmente de los estudios de Seed&Idriss además de otros autores), en el

que se comparan los esfuerzos de corte inducidos por sismos hipotéticos de distintas magnitudes, vs los que generarían una relación de tensión en los depósitos del sitio, y que inducirían incrementos críticos en la presión intersticial. Ver memorias de cálculo.

Este análisis permite concluir que, los materiales de apoyo, en la Capa B **NO son susceptibles de sufrir licuación**, y presentan Factores de Seguridad (en términos de esfuerzos) entre 2.19 para sismos de magnitud 6.0 y 2.14 para sismos de magnitud 8.0. También se estimó un factor de seguridad de 3.0 para daño en superficie (Método de Ishihara).

#### **12.4 potencial contracto expansivo del suelo**

Los suelos pueden contener minerales arcillosos que, dada su composición química, pueden causar reacciones físico-químicas al contacto con moléculas de agua.

En este caso, los materiales indican condiciones potencialmente aptas para asumir esfuerzos, por lo que hay que tomar medidas preventivas planteadas en el siguiente capítulo.

Existe humedad de equilibrio se encuentra por encima de la humedad natural, lo que puede indicar una tendencia del suelo a absorber agua e hincharse, o un estado desecado por la presencia de árboles y raíces.

Esto se ratifica con la coincidencia entre los fenómenos de asentamientos y la vecindad a las zonas verdes.

Potencial de expansión	Expansión (%) medida en consolidometro bajo presión vertical de 0.07 Kgf/cm2	Limite líquido LL, en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de plasticidad IP, en (%)	Porcentaje de partículas menores de una micra	Expansión libre EL, en (%), medida en probeta
Muy alto	>30	>63	<10	>32	>37	>100
Alto	20-30	50-63	6-12	23-45	18-37	>100
Medio	10-20	39-50	8-18	12-34	12-27	50-100
Bajo	<10	<39	>13	<20	<17	<50

**Tabla 14 Valores de referencia potencial contrato-expansivo.**

### 13. CONCLUSIONES

- Los objetivos específicos expuestos se cumplen seguidas las instrucciones que se plantean como procedimiento.
- Los riesgos son el factor determinante para el estudio de caso, se logra identificar desde el modelo test de seguridad industrial el origen de las causas que generar la problemática.

- La seguridad en los procesos de vulnerabilidad estructural se logra identificar disminuyendo amenazas por medio del modelo que se implementara para el avalúo de riesgos en los inmuebles.
- Con los resultados obtenidos se plantearon una serie de recomendaciones y probables soluciones para mitigar el riesgo de la población que hace parte de estas estructuras.
- Los materiales encontrados están caracterizados por rellenos conformados en poco espesor, sobre capas de limos arcillosos de muy alta plasticidad y de consistencia media que incrementa con la profundidad, apoyados sobre materiales predominantemente granulares -gravas limo-arenosas- de compacidad muy densa.
- Teniendo en cuenta el código colombiano se deben de realizar como mínimo 5 perforaciones, de acuerdo a la profundidad de cada perforación como se indica en la tabla 3.1 de sondeos, se puede clasificar el trabajo realizado, este proceso únicamente permite evaluar las condiciones geomecánicas del sub suelo.
- La seguridad en las estructuras, es la garantía para la calidad de vida, una edificación es sinónimo de estabilidad ante los efectos naturales, sismos y asentamientos.
- Las edificaciones están apoyadas sobre materiales de la Capa B1, conformados por limos arcillosos de alta plasticidad, consistencia media.
- El riesgo es probable mitigarlo mediante adecuadas técnicas para la captura de información con la metodología adecuada.

- Para el diagnóstico patológico estructural se requiere de personal especializado, se busca detectar fallas realizando un plan de correctivos mediante la geotecnia.
- El potencial contracto-expansivo de los materiales es alto, según la clasificación de Holtz y Gibbs.
- La humedad de equilibrio y el límite líquido de estos materiales se encuentran por encima de la humedad natural, lo que indica cierta “resequedad” del suelo.
- Los materiales no presentan susceptibilidad a la licuación.
- La no presencia del nivel freático
- a profundidades exploradas, es un factor negativo ya que profundiza más la capa susceptible de sufrir cambios de humedad (suelos parcialmente saturados).
- La revisión de la variación de los límites de consistencia vs humedades naturales de equilibrio y/o naturales, permite asumir que a unos 5.0 m de profundidad, los materiales no sufrirían de cambios de humedad drásticos, siempre y cuando se adelanten actividades tendientes a conservar la humedad natural actual.
- El estado “desechado” del suelo se deriva del poco ingreso de humedad al mismo debido a la prolongada temporada de verano y la presencia de zonas verdes aledañas al edificio, con presencia de especies de árboles con gran capacidad de succión en su sistema radicular.

- El suelo pierde agua, por ende, disminuye su volumen y las edificaciones con apoyo sobre estos materiales se asientan.
- Esta patología es relativamente normal para sectores con este tipo de suelos y recurrente con temporadas secas largas (como la actual). A nuestro modo de ver, no compromete la estabilidad estructural, sin embargo, este concepto no está es el alcance de la presente investigación.
- La sospecha de que el predio está localizado sobre antiguos humedales, fue corroborada con los ensayos de laboratorio analizados, además, la coloración oscura indica una depositación lenta, la expansión libre en probeta de los materiales superficiales, supera el 100%.
- La experiencia en proyectos previos desarrollados en la zona, apunta a la presencia de suelos de características especiales, con potencial contracto-expansivo alto.
- La cimentación detectada en los apiques indica que consta de una cimentación corrida tipo “viga T invertida” de altura 0.7 m, un ancho de alma de 0.3 m y un ancho de ala de 0.9 m, sobre un relleno en material tipo “rocamuerta” de espesor 1.0 m.
- Esta cimentación superficial ha sido suficiente para soportar las cargas de las edificaciones, además su rigidez se ha sumado a la rigidez del sistema estructural y ha impedido que internamente la edificación sufra daños internos por asentamientos diferenciales.
- Los asentamientos diferenciales no solo son ocasionados por deformación en la cimentación, son debidos a los movimientos estacionales del subsuelo.

- Estos movimientos estacionales son causados por las variaciones de humedad, sobre todo tras períodos largos de verano (como los de años pasados).
- A esta susceptibilidad, se adiciona la presencia en la zona de influencia de la edificación de árboles de gran altura y con muy buena capacidad de succión en su sistema radicular. Por esta razón, el problema se manifiesta con mayor severidad hacia las zonas verdes.
- En algunas perforaciones se detectó un nivel freático “colgado”, que puede indicar una fuga en redes o en tanques de almacenamiento.
- Para tal fin, se deberán utilizar micro-pilotes integrados a la cimentación actual, llevados a una profundidad de -6.0 m.
- La porción superior de los micro-pilotes deberá separarse del terreno natural en sus primeros 2.0 m, mediante una camisa en PVC.
- Durante la excavación de los apiques para determinar tipo y profundidad de cimentación, se detectaron tuberías en arcilla cocida o “gress”. Este tipo de tubería es rígido y no puede asumir los movimientos del suelo (principalmente los de la Capa B, de alto contenido orgánico y plasticidad muy alta).
- Algunos parámetros para diseño de estructuras enterradas se muestran en la tabla No 15. Estos valores deberán ser chequeados cuando se tengan los valores definitivos de carga y momentos impuestos por la súper-estructura.

PARAMETROS DE DISEÑO SUELO	Capa B1: Limos arcillosos medios a duros		
Parámetro	Símbolo	Valor	Unid
Cohesión no drenada	Cu	0,70	Kg/cm2
Peso unitario húmedo	$\gamma$	1,90	T/m3
Angulo de fricción interna	$\phi$	28	°
Coefficiente empuje activo	Ka	0,36	Adim
Coefficiente empuje pasivo	Kp	2,77	Adim
Coefficiente de reposo	Ko	0,53	Adim
Angulo fricción suelo-concreto	$\mu$	20	°
Módulo de elasticidad	Es	185,3	MPa
Módulo de Poisson	$\nu$	0,30	Adim

**Tabla 15 Modulo elástico del suelo**

PARAMETROS DE DISEÑO SUELO	Capa B2 : Limos arcillosos duros		
Parámetro	Símbolo	Valor	Unid
Cohesión no drenada	Cu	0,85	Kg/cm2
Peso unitario húmedo	$\gamma$	1,90	T/m3
Angulo de fricción interna	$\phi$	32	°
Coefficiente empuje activo	Ka	0,31	Adim
Coefficiente empuje pasivo	Kp	3,25	Adim
Coefficiente de reposo	Ko	0,47	Adim
Angulo fricción suelo-concreto	$\mu$	22	°
Módulo de elasticidad	Es	305	MPa
Módulo de Poisson	$\nu$	0,30	Adim

**Tabla 16 Modulo elástico del suelo**

PARAMETROS DE DISEÑO SUELO	Capa C1 : Gravas limo arenosas densas		
Parámetro	Símbolo	Valor	Unid
Cohesión no drenada	Cu	0,2	T/m2
Peso unitario húmedo	$\gamma$	2,1	T/m3
Angulo de fricción interna	$\phi$	35	°
Coefficiente empuje activo	Ka	0,27	Adim
Coefficiente empuje pasivo	Kp	3,69	Adim
Coefficiente empuje reposo	Ko	0,43	Adim
Angulo fricción suelo-concreto	$\mu$	25	°
Módulo de elasticidad	Es	325	MPa
Módulo de Poisson	$\nu$	0,25	Adim

**Tabla 17 Parámetros empuje de tierras y diseño elástico Capas**

- Para el diagnóstico estructural, se indica que el mayor porcentaje de la consolidación se estabilizó por la capacidad portante del terreno descartando posibles asentamientos de cargas. En la tabla No 12 y 13 se indican elementos para la modelación y evaluación estructural, así como los refuerzos de los elementos no-estructurales comprometidos.

#### **14.RECOMENDACIONES**

- El riesgo disminuye implementándose entrega de planos estructurales para identificar muros sólidos, no se pueden demoler para preservar la estabilidad estructural en cada edificio del conjunto.
- La seguridad en los inmuebles consiste en respetar los parámetros constructivos, evitar la ampliación de espacios internos en las edificaciones para disminuir nuevos agrietamientos y deformaciones estructurales.
- Con base en la información recopilada, es posible determinar procesos orientados a la solución de problemas geotécnicos identificados según los resultados de laboratorio.
- El diagnóstico puede ser optimista a medida que se tomen las medidas de prevención ante la problemática, las edificaciones son recuperables, no hay riesgo de demoliciones.
- El diagnóstico puede ser pesimista si persisten en remodelaciones afectando la calidad estructural.

- Se deberá proceder a controlar la afectación de los árboles de las zonas verdes: phycus, boladecañón, limón swinglea, etc. La solución definitiva consiste en la tala de los especímenes (solicitando los respectivos permisos ante el DAGMA) y una arborización compensatoria. Para su selección se debe acudir a la Guía de Árboles Urbanos del DAGMA, disponible en la página web del mismo.
- La cimentación actual deberá llevarse más allá de los suelos susceptibles de moverse estacionalmente, que, en este caso, alcanzan profundidades entre 5.0 y 6.0 m, donde se detectan gravas limosas de compacidad densa.
- La segunda opción es suspender la influencia de las raíces en el sector aledaño a la edificación, construyendo una barrera en concreto o mampostería, enterrada por lo menos 1.0 m por debajo del nivel de cimentación (que en este caso es del orden de los 1.5 m).
- La tercera medida de mitigación y control, se estipula para las redes hidro-sanitarias y los tanques de almacenamiento a fin de detectar fugas que puedan estar aportando agua en exceso al sub-suelo.
- Se recomienda la inspección de la red de acueducto y alcantarillado, y considerar su reemplazo por tuberías en PVC con uniones flexibles.

## 15. BIBLIOGRAFIA

- Ecured. (2005). *www.ecured.cu*. Obtenido de [https://www.ecured.cu/Charles Augustin de Coulomb](https://www.ecured.cu/Charles_Augustin_de_Coulomb)
- Ecured. (31 de Enero de 2011). *www.ecured.cu*. Obtenido de [https://www.ecured.cu/Karl von Terzaghi](https://www.ecured.cu/Karl_von_Terzaghi)
- Ingenieria, R. d. (158 de Febrero de 2015). *uniandes.edu.co*. Obtenido de <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista%20/article%20/vi ew/785/938>
- ingenieria.es. (2016). *www.ingenieria.es*. Obtenido de <https://www.ingenieria.es/arthur-casagrande-mecanica-suelos/>
- Ingenieros, S. A. (2020). *www.asce.org*. Obtenido de <https://www.asce.org/templates/person-bio-detail.aspx?id=11209>
- linkfang.org. (05 de Mayo de 2020). *de.linkfang.org*. Obtenido de [https://de.linkfang.org/wiki/Carl Culmann](https://de.linkfang.org/wiki/Carl_Culmann)
- Mejia, S. A. (2013). *Causas de daños en Concreto*.
- Ministerio de Ambiente, V. y. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente*. Obtenido de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/titulo-a-nsr-100.pdf>
- Republica, C. d. (9 de junio de 1993). *www.minsalud.gov.co*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Le y-0052-DE-1993.pdf>
- Riesgo, U. N. (17 de Septiembre de 2016). *gestiondelriesgo.gov.co*. Obtenido de <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/20745/Estado-del-arte-modelacion-probabilista-del-riesgo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodgers, K. P. (28 de Abril de 2000). *www.oas.org*. Obtenido de <https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea57s/oea57s.pdf>
- Rodriguez, I. F. (2014). *Clase de mantenimiento de estructuras*.

- Rodriguez, V. (2004). *Patología y Rehabilitación de Edificios*. Madrid.
- Sismica, A. C. (2011). *Guía de Patologías Constructivas*.
- Trabajo, M. d. (2014). *www.mintrabajo.gov.co*. Obtenido de <https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/51963/Decreto+1443.pdf/e87e2187-2152-a5d7-fd1d-7354558d661e>
- Valle, G. d. (05 de Julio de 2018). *www.valledelcauca.gov.co*. Obtenido de <https://www.valledelcauca.gov.co/riesgo/publicaciones/60439/glosario---gestion-del-riesgo/>
- Vargas, I. M. (2007). *Patología de las Estructuras*. Oruro.
- Vivienda, M. d. (11 de Abril de 2020). *www.minsalud.gov.co*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/RID/circular-conjunta-001-abril-2020.pdf>
- Wikipedi. (18 de Noviembre de 2019). *wikipedia.org*. Obtenido de [https://en.wikipedia.org/wiki/Christian\\_Otto\\_Mohr](https://en.wikipedia.org/wiki/Christian_Otto_Mohr)
- Wikipedia. (17 de Abril de 2020). *es.wikipedia.org*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Leonardo\\_Zeevaert](https://es.wikipedia.org/wiki/Leonardo_Zeevaert)
- Colombiano, S. G. (25 de Enero de 1999). *sish.sgc.gov.co*. Obtenido de <http://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irAInfoDetallada&idSismo=62>