



**TRABAJO PROFESIONAL INTEGRADO TPI-2**

**ESTUDIO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN EDIFICIO NOVOA  
LOCALIZADO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.**

**I.C. REINALDO BUELVAS CETAREZ  
I.C. MIGUEL ÁNGEL VILLANUEVA  
I.C. YOJAN MARTÍNEZ PINEDA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
DECANATURA DE DIVISIÓN DE EDUCACIÓN ABIERTA Y A DISTANCIA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS  
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN  
BOGOTÁ D.C.  
FEBRERO-2020**



**TRABAJO PROFESIONAL INTEGRADO TPI-2  
ESTUDIO PATOLÓGICO EDIFICIO NOVOA**

**TRABAJO PROFESIONAL INTEGRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
ESPECIALISTA EN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**DIRECTOR  
WALTER MAURICIO BARRETO CASTILLO  
ARQUITECTO MAGISTER**

**DECANATURA DE DIVISIÓN DE EDUCACIÓN ABIERTA Y A DISTANCIA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS  
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

## Tabla de Contenido

	Página
<b>Resumen</b> .....	6
<b>Introducción</b> .....	7
<b>1. Objetivos</b> .....	8
1.1. <b>Objetivo General</b> .....	8
1.2. <b>Objetivos específicos</b> .....	8
<b>2. Alcance y Limitaciones</b> .....	9
<b>3. Marco de Referencia</b> .....	9
3.1. <b>Marco Conceptual</b> .....	9
3.2. <b>Marco Legal y Normativo</b> .....	12
<b>4.1. Historia Clínica</b> .....	13
4.1.1. <b>Descripción del Paciente</b> .....	13
<b>4.2. Análisis de Vulnerabilidad Sísmica</b> .....	14
4.2.5. <b>Revisión de Avalúo de Cargas</b> .....	15
4.2.6. <b>Grado de Irregularidad de la Estructura</b> .....	16
4.2.7. <b>Matriz de Vulnerabilidad</b> .....	16
<b>4.3. Geometría del Proyecto</b> .....	18
<b>4.4. Análisis de Estabilidad del Proyecto</b> .....	19
<b>4.5. Estudio de Suelos y Cimentación del Proyecto</b> .....	19
<b>4.6. Caracterización de los Materiales</b> .....	20
<b>5. Resultados</b> .....	21
5.1. <b>Resultados de control de nivelación</b> .....	21
<b>6. Análisis y Diagnóstico</b> .....	25
<b>7. Propuesta de Intervención Edificio Novoa</b> .....	26
7.1. <b>Modelo Estructural en Desarrollo</b> .....	26
7.2. <b>Procedimiento constructivo</b> .....	33
7.3. <b>Presupuesto y Cronograma</b> .....	37
<b>Conclusiones</b> .....	39
<b>Recomendaciones</b> .....	40
<b>Bibliografía</b> .....	41
<b>Lista de Referencias</b> .....	42
<b>ANEXOS</b> .....	43

## Listado de tablas

	Página
<b>Tabla 1. Información general de la edificación.....</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 2 Valor Aa y de Av para las ciudades capitales de departamento en Colombia.....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 3 Valores del coeficiente de importancia I.....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 4 Cuadro de cargas.....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 5 Masas de los materiales.....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 6 Clasificación de los perfiles de suelo.....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 7 Control de asentamiento iniciales Edificio Novoa en 2019-06-03.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 8 Control de asentamiento Edificio Novoa en 2019-09-02 vs 2019-06-03.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 9 Cálculo de reacciones por columna.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 10 Capacidad de soporte carga (toneladas) de micro-pilotes según diámetro (m) y profundidad (m).....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 11 Cálculo de reacciones por columna.....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 12 Presupuesto propuesta de intervención.....</b>	<b>36</b>

## Listado de imágenes

	<b>Página</b>
<b>Imagen 1 Ubicación general del proyecto.....</b>	<b>16</b>
<b>Imagen 2 Control de asentamiento Edificio Novoa.....</b>	<b>23</b>
<b>Imagen 3 Modelo estructural -ETABS.....</b>	<b>25</b>
<b>Imagen 4 Esquema de reacciones por columna.....</b>	<b>27</b>
<b>Imagen 5 Propuesta de distribución de pilotes.....</b>	<b>31</b>
<b>Imagen 6 Propuesta de intervención Demolición de placa contrapiso- perfil.....</b>	<b>32</b>
<b>Imagen 7 Propuesta de intervención Detalle refuerzo anclajes y dados.....</b>	<b>32</b>
<b>Imagen 8 Propuesta de intervención Detalle refuerzo dados - planta.....</b>	<b>33</b>
<b>Imagen 9 Propuesta de intervención Etapa 1 Demolición y Retiro recebo y escombros – Perfil (Sin escala).....</b>	<b>33</b>
<b>Imagen 10 Propuesta de intervención Etapa 2 Armado de muro de anclaje – Perfil (Sin escala)...</b>	<b>34</b>
<b>Imagen 11 Propuesta de intervención Etapa 3 Vaciado muro de anclaje y dados, concreto primera fase – Planta (Sin escala).....</b>	<b>34</b>
<b>Imagen 12 Propuesta de intervención Etapa 4 Armado de pilotes – Planta (Sin escala).....</b>	<b>35</b>
<b>Imagen 13 Propuesta de intervención Etapa 5 Armado de pilotes, vaciado concreto segunda fase – Planta (Sin escala).....</b>	<b>35</b>
<b>Imagen 14 Cronograma de actividades rehabilitación por micro-pilotes.....</b>	<b>37</b>

## Resumen

El paciente seleccionado Edificio Novoa está localizado en la Carrera 13 No 85 - 65 en la ciudad de Bogotá D.C., se procede a realizar una evaluación del paciente para determinar las condiciones actuales, para lo cual se emplea las técnicas adquiridas en la Especialización de Patología de la Construcción.

En primera instancia se procede a la recolección de la información disponible con el administrador del edificio, quien suministra estudio de suelos, algunos cálculos estructurares que refieren un plano en planta. Posteriormente se procede a realizar la inspección directa en campo donde se evidencian fisuramientos múltiples en mampostería. De acuerdo a lo evidenciado se define realizar levantamiento topográfico para determinar estado de verticalidad del paciente.

Por otra parte, se propone al cliente realizar seguimiento a las fisuras mediante la instalación de fisurómetros para monitoreo durante cuatro meses para hacer el respectivo estudio e interpretación de las fisuras.

Como resultado del levantamiento topográfico inicial se encontró una diferencia máxima de seis centímetros en el punto de mayor variación después de cuatro meses, la información se materializa en un plano en planta por columnas identificándose las zonas de mayor asentamiento en los ejes D, E y F este último eje, presenta el mayor asentamiento. En el seguimiento realizado en el mes de septiembre de 2019 se evidencio variaciones insignificantes en las magnitudes de asentamiento.

Dado lo anterior se solicitó al Cliente un estudio de suelos con sus sondeos actualizados, el cual se realizó y se determinó la capacidad portante del suelo para la cimentación superficial y con esta información proponer una solución adecuada y real.

Con la información anterior se propone solución empleando micropilotes, en consecuencia se le requiere al suelista realizar el cálculo respectivo para cuadro de cargas. La propuesta presentada corresponde a la solución con la incorporación de micropilotes en el paciente, correspondiendo a la solución más eficiente y funcional desde el punto de vista técnico económico.

## **Introducción**

El desarrollo de la Ingeniería Civil a lo largo de los años se ha enfocado en gran medida en la implementación de nuevas tecnologías y procedimientos tecnificados que permitan incrementar los rendimientos de ejecución, de diseño, de solicitud de recursos y de impacto ambiental y social en el desarrollo de nuevos proyectos. Al mismo tiempo aunque en menor medida, se ha desarrollado una ciencia que busca prolongar, corregir o tomar decisiones que implican la demolición de proyectos ejecutados, con el desarrollo de una vida útil considerable, o inclusive, proyectos que se encuentren actualmente en ejecución pero que presenten serios indicios de falla, errores en la construcción de los mismos y demás evidencias que indiquen la imposibilidad de cumplimiento en lo que a requerimientos de diseños y uso se refiera. Esta breve descripción puede resumir las nociones principales de la Patología de Construcciones que es la motivación principal de la presente investigación en la cual se pretende exponer dentro del marco práctico y básico el estudio patológico de un proyecto civil.

Dentro de un marco nacional se puede determinar que el desarrollo y profundización de los conceptos patológicos nacen por la necesidad de optimización del uso de las estructuras, así como por las modificaciones que en repetidas ocasiones han traído como consecuencia la modificación en los reglamentos de construcción sismo-resistente. De igual forma, se enfrenta a las limitaciones económicas de nuestro país en donde se debe como profesional ingeniero civil hacer uso del conocimiento y experiencia, con el único objetivo de garantizar la seguridad de quienes ocupan o hacen uso de las estructuras en evaluación, objetivo que se debe complementar con el mantenimiento del equilibrio económico en cuanto a los costos de mantenimiento, reforzamiento, operación y proyección de vida útil para cada uno de los pacientes.

La presente investigación se enfoca en estudiar las patologías existentes en el EDIFICIO NOVOA localizado en la Carrera 13 No 85 - 65 en la ciudad de Bogotá D.C., debido a que es un paciente que ofrece poner en práctica los conocimientos adquiridos durante esta especialización. Así, el presente trabajo permite mostrar las condiciones en las que se encuentra el edificio, el análisis a cada una de las condiciones encontradas y las posibles soluciones a implementar para este edificio.

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo General**

Desarrollar por medio de los conceptos ingenieriles impartidos a lo largo de los módulos y un estudio patológico en el EDIFICIO NOVOA que proporcione alternativas de solución a la problemática evidenciada durante el desarrollo del ejercicio, tomando como base fundamental las diferentes metodologías aprendidas en las disciplinas de los módulos vistos, de tal forma que se entregue un trabajo orientado a la aplicación de la patología de la construcción.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Realizar inspección visual e identificar las patologías presentes en el paciente.
- Documentar las patologías evidenciadas en las visitas realizadas al paciente.
- Solicitar información existente relevante del edificio. (Estudio de suelos, planos estructurales, ensayos de concreto.)
- Requerir los ensayos destructivos y no destructivos que se consideren necesarios para determinar la patología identificada.
- Analizar la documentación recopilada, resultados de ensayos y datos tomados en las inspecciones en campo.
- Proporcionar diagnóstico de las patologías existentes en el paciente.
- Entregar una propuesta de intervención como solución viable y efectiva para tratar la patología del paciente.

## 2. Alcance y Limitaciones

Se determina en un estudio de patología el cual identifica las causas de las lesiones evidenciadas, con el fin de generar la recomendación técnica para la reparación de elementos afectados. Se tiene como limitante el acceso algunas áreas habitadas u ocupadas por lo que se tomara un tiempo considerable el poder levantar la gran mayoría de daños.

## 3. Marco de Referencia

### 3.1. Marco Conceptual

La palabra “patología” proviene del griego “*pathos*”: enfermedad, y “*logos*”: estudio; y en la construcción, enfoca el conjunto de enfermedades, de origen químico, físico, mecánico o electroquímico, y sus soluciones; mientras que la “tecnología de los materiales” trata de las técnicas para la ejecución y aplicación de esas soluciones. La relación efectiva de los conocimientos en ambas áreas, conjuntamente con los conceptos de prevención, y mantenimiento, brindarán una mayor garantía de calidad en las obras (Florentín & Granada, 2009).

Las patologías constructivas aparecen en un 75% por falla humana debido al mal diseño y mala calidad de mano de obra, lo cual se puede prevenir con capacitaciones al personal operativo, controles de calidad y el estudio del diseño para cada proyecto. El paciente objeto del presente estudio evidencio deficiencias en la cimentación de la estructura, motivo por el cual se enfoca en este contenido.

#### **Causas debidas a la propia cimentación:**

Son aquellos que se producen por fallo en el diseño en la construcción de la cimentación del edificio.

- Cimentaciones insuficientes: Se producen cuando las dimensiones del cimientto producen esfuerzos excesivos sobre el terreno. Un caso muy frecuente es el de las edificaciones antiguas en las que muchas veces los muros de carga apoyan directamente sobre el terreno.
- Cimentaciones muy distintas: Esta situación se produce cuando se utilizan sistemas de cimentación muy distintos en el mismo terreno. Un caso frecuente es el de edificios en los que el perímetro se apoya sobre una pantalla, mientras que los pilares interiores apoyan sobre zapatas aisladas.
- Degradación estructural: Se produce cuando la cimentación resulta atacada por agentes exteriores. Casos muy notables pueden producirse por la degradación de los morteros en las zapatas de mampostería o la pudrición de pilotes de madera.

- Acciones exteriores desfavorables: Se entiende que este tipo de fallos son atribuibles al diseño de la cimentación que debería ser adecuada para resistir dichas acciones.

López (2012) afirma que una clasificación de las causas que producen la patología en una edificación son:

- 1) Causas intrínsecas: Se agrupan aquí los fallos de cimentación consecuencia de la interacción entre el terreno y la propia cimentación de la construcción afectada.
- 2) Causas extrínsecas: Son las derivadas de la actividad humana a lo largo del tiempo, así que son variables por definición y difícilmente previsibles. Se engloban tanto los cambios en el propio edificio como en el entorno, y en cualquier caso, modifican sustancialmente las condiciones para las que se diseñó la cimentación.

Para López (2012), las patologías que puede sufrir una edificación ligadas a las cimentaciones son sin duda las que mayores costos demandan a la hora de subsanarlas. Por tanto es imprescindible conocer las causas por las que se producen estos problemas, para conseguirlo habrá que analizar los síntomas de la patología, básicamente son:

- Las grietas producidas en los diferentes elementos estructurales y no estructurales.
- El tipo de movimientos sufridos por el edificio (giros, asientos, desplazamientos, otros.).

Una vez conocidas las lesiones, se deduce qué mecanismo lo originó, basándose en la metodología de la patología estudiada.

Con la información obtenida, observando la cimentación existente, conociendo el comportamiento geotécnico del terreno de apoyo del paciente, se podrá deducir el origen de la patología que se ha ocasionado.

Conocida la causa, es decir el dictamen, se diseñan la(s) medida(s) reparadoras a adoptar. Éstas pueden ir desde la actuación sobre la estructura propiamente dicha, a las modificaciones de las propiedades geotécnicas del terreno (tratamientos de mejora y refuerzo), pasando por los conocidos recalces de la cimentación existente.

Una clasificación de las causas que produce la patología en una cimentación puede ser:

### **Causas intrínsecas de fallos de cimentación**

Se agrupan aquí los fallos de cimentación consecuencia de la interacción entre el terreno y la propia cimentación de la construcción afectada.

Defectos de proyecto, errores de concepción, de diseño o cálculo del proyecto. Errores previsibles por lo que si se tienen en cuenta en el diseño y cálculo de la edificación, el riesgo a provocar daños se minimiza. A continuación se enumeran algunas de las posibles causas de problemas derivadas del proyecto:

- Falta de capacidad de carga: cimentación insuficiente o capacidad de carga del suelo insuficiente;
- Esfuerzos no contemplados, por ejemplo por olvido de algunas sobrecargas de explotación;
- Conocimiento insuficiente del suelo, por escasez de reconocimientos previos del terreno, mala interpretación de los mismos, no consideración de los fenómenos de agresividad, otros. Este punto cobra importancia en terrenos con características especiales, como son:
  - Arcillas expansivas.
  - Suelos colapsables.
  - Rellenos antrópicos.
  - Suelos blandos naturales.
- Infravaloración del riesgo geotécnico, por desprecio de los efectos que produce la falta de homogeneidad de un suelo o las distintas profundidades de aparición de la roca en planta, desprecio de los efectos de la potencial expansividad o de posible subpresión o fenómenos de subsidencias, procesos de disolución, otros.

Defectos en la evaluación del terreno: asientos calculados no tolerables por la estructura, esfuerzos parásitos en pilotes (olvido del efecto de asiento de terrenos “flojos” o rellenos recientes), entre otros factores.

- Efecto grupo en pilotes: defectuosa estimación del efecto grupo en pilotes flotantes, no consideración de los esfuerzos laterales o del rozamiento negativo, etc.
- Ausencia de consideración del bulbo de tensiones de la cimentación propia, y su alcance, pero también de las cimentaciones colindantes.
- Ignorancia de las condiciones de contorno, es decir no consideración de las condiciones del entorno de la estructura proyectada: posibles socavaciones, arrastres, descalces, agotamientos, abatimientos de nivel freático, etc.
- Heterogeneidades: distribución irregular de las cargas, o excesiva excentricidad de las mismas a nivel de cimentación.

Defectos de ejecución. Normalmente responden a un deficiente control de calidad.

### **Causas extrínsecas de fallos de cimentación**

Son derivadas de la actividad humana a lo largo del tiempo, así que son variables por definición y difícilmente previsibles. Se engloban tanto los cambios en el propio paciente como en el entorno, y en cualquier caso, modifican las condiciones para las que se diseñó la cimentación.

Variaciones en las hipótesis de proyecto, modificaciones al proyecto del propio edificio que pueden afectar a la cimentación. Y esto puede ocurrir de varias formas, entre ellas:

- Aumento del número de plantas sobre rasante;
- Necesidad de profundizar la cimentación en toda o parte de la estructura, para ganar sótanos o bien fosos industriales, cámaras acorazadas, otras;
- Incrementos de sobrecargas de uso o cambios de uso. Aumento de la actividad que precise la aparición de elementos no previstos o bien un cambio de actividad y consecuentemente de las cargas. Incluso solicitaciones dinámicas de maquinaria, no previstas inicialmente;
- Cese de la actuación de fuerzas que disminuían o contrarrestaban las cargas;
- Rehabilitación o adecuación al uso sobre todo en plantas bajas. Cambio de función de la estructura que normalmente conlleva una redistribución de cargas.

### **3.2. Marco Legal y Normativo**

Para el paciente se dispone de la licencia de construcción N° 6219 del 04 de diciembre de 1973 y fue construido en el año de 1975. En aquellos años en Colombia no existía normatividad de resistencia sísmica o sismoresistencia. Solo fue hasta el año de 1984, a raíz de la ocurrencia del sismo de Popayán (31 de marzo de 1983) mediante el Decreto 1400 que se establecen las primeras pautas para el Código Colombiano de Construcciones Sismo resistentes; posteriormente se realizaron actualizaciones con las Normas NSR-98 y NSR-10.

Dado el recuento histórico anterior, se denota que el paciente fue construido en ausencia de normatividad sísmica nacional, lo que hace inferir que se diseñó bajo guías y lineamientos del exterior, en aquellas épocas en Colombia y aun hoy en día se recurre a la normatividad norteamericana.

En consecuencia, la estructura del paciente en la actualidad no cuenta con las especificaciones mínimas de sismo resistencia definidas por la Norma NSR-10 actualmente vigente y aplicable al proyecto. Así mismo, no cuenta con las garantías definidas en la Ley 1796 del 13 de julio de 2016 correspondiente a la Ley de Vivienda Segura.

En cuanto a la caracterización sísmica definida por la Norma NSR-10, el suelo se clasifica como tipo F. El terreno se encuentra ubicado en la transición entre las Zonas Lacustre 100 y Lacustre 200 del Mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá. Según el Decreto 523 del 16 de diciembre de 2010, se debe emplear el promedio de los espectros sísmicos mencionados.

## 4. Metodología

### 4.1. Historia Clínica

Para la elaboración de la historia clínica del paciente, se crearon y diligenciaron fichas patológicas. Herramienta que permite identificar las lesiones presentadas en el paciente.

#### 4.1.1. Descripción del Paciente

El paciente corresponde a una edificación de cinco pisos, de uso residencial en una estructura aporticada en concreto reforzado, cuyo primer nivel es un semisótano destinado al uso de parqueaderos de vehículos incluyendo la zona posterior por fuera de la proyección del edificio.

Se encuentra en ese nivel el cuarto de basuras y un salón para el vigilante y baño del mismo. Los pisos de los niveles dos al cinco son utilizados como vivienda. Al primer piso se accede mediante escaleras exteriores que llegan al hall de la entrada principal, escaleras y ascensor. En cada nivel a lado y lado del hall del ascensor y escaleras existe un apartamento en cada uno de los pisos, es decir dos apartamentos por nivel.

La administradora del edificio suministró los datos básicos de la edificación, referidos a continuación en la tabla 1 Información general de la edificación:

*Tabla 2. Información general de la edificación*

<b>NOMBRE:</b>	Edificio Novoa.
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	Carrera 13 No 85 - 65 en la ciudad de Bogotá D.C
<b>NIVELES:</b>	Cinco.
<b>ÁREA:</b>	El área construida es de 1549,21 m <sup>2</sup>
<b>FECHA DE CONSTRUCCIÓN:</b>	Año 1975, transcurridos 44 años aprox. a la elaboración del presente estudio patológico.
<b>USO ACTUAL Y PREVISTO DEL SECTOR:</b>	Residencial.
<b>IMPORTANCIA DEL PACIENTE</b>	Grupo de uso I.
<b>SISTEMA ESTRUCTURAL Y CONSTRUCTIVO:</b>	La estructura diseñada contiene cuatro placas de concreto reforzado, aligeradas mediante casetón de guadua y cubierta mediante tejas de asbesto cemento (Eternit).
<b>NORMATIVA DE CONSTRUCCIÓN:</b>	Al momento de construcción no existía norma sísmoresistente en Colombia.

En la metodología empleada para describir al paciente y las lesiones evidenciadas se emplea la documentación mediante la creación de fichas patológicas ver Anexo N° 1 Fichas

Patológicas; en dichos documentos se referencia el registro fotográfico de las lesiones encontradas en el paciente, para esta caso en particular corresponden a lesiones mecánicas de fisuramientos y grietas generadas por asentamiento de la estructura. Estos fisuramientos presentan una tendencia bien definida con una inclinación aproximada de 45° respecto a la horizontal. Así, mismo se identifica la localización de cada una de las lesiones mediante un plano en planta del sector afectado, de manera similar se realiza una descripción detallada de cada una de las fotografías, se indica la sintomatología presentada y el posible tratamiento.

## 4.2. Análisis de Vulnerabilidad Sísmica

En la Norma Sismoresistente NSR-10 Tabla A.1.3-1 Procedimiento de diseño estructural para edificaciones nuevas y existentes (Ver Anexo N° 2 – NSR-10 Tabla A.1.3.-1) se especifican los aspectos que se deben para evaluar la vulnerabilidad sísmica de una edificación, los cuales se desarrollan específicamente para el paciente a continuación:

### 4.2.1. Determinación de Coeficientes de Aceleración y de Sitio

El paciente está ubicado en la ciudad de Bogotá D.C. y de acuerdo a lo definido en la Norma Sismoresistente NSR-10 Tabla A.2.3-2, el mapa de zonificación sísmica lo estipula con amenaza sísmica intermedia, se determina los coeficientes de aceleración de  $A_a$  (Aceleración pico efectiva) y  $A_v$  (velocidad pico efectiva) mostrados en la Tabla 2 Valor de  $A_a$  y de  $A_v$  para las ciudades de departamentos en Colombia; así mismo, los coeficientes de sitio  $F_a$  y  $F_v$ , y definir el coeficiente de importancia  $I$  ver Tabla 3 – Valores del coeficiente de importancia  $I$ .

*Tabla 2 - Valor  $A_a$  y de  $A_v$  para las ciudades capitales de departamento en Colombia.  
Fuente: NSR-10 Tabla A.2.3-2 fracción de la tabla*

Ciudad	$A_a$	$A_v$	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0,15	0,15	Intermedia
Armenia	0,25	0,25	Alta
Barranquilla	0,10	0,10	Baja
Bogotá D.C.	0,15	0,20	Intermedia
Bucaramanga	0,25	0,25	Alta

*Tabla 3 - Valores del coeficiente de importancia  $I$ .  
Fuente: NSR-10 Tabla A.2-5-1*

Grupo de Uso	Coficiente de Importancia, $I$
IV	1,50
III	1,25

II	1,10
I	1,00

Dado lo anterior se tiene entonces para el paciente:

$A_a = 0,15$   $A_v = 0,20$ ; para la zona de riesgo sísmico intermedio, y para el grupo de uso I (grupo de ocupación normal) el coeficiente de importancia  $I = 1,00$

#### 4.2.2. Definición del Tipo de Estructura a Evaluar

El paciente corresponde a una estructura aporticada en concreto reforzado de cinco pisos la cual contiene placas aligeradas de 0,35 m de espesor y columnas de secciones entre 0,25 x 0,25 m y 0,25 x 0,35 m, esta última la de mayor dimensión.

#### 4.2.3. Fuerzas Sísmicas de Diseño

Para la determinar las fuerzas sísmicas de diseño, es importante definir las cargas muertas de la estructura, acabados y cargas vivas, las cuales se definen durante el desarrollo del presente informe.

#### 4.2.4. Evaluación de Cargas del Proyecto

En el caso del paciente se puede evidenciar que existe un asentamiento diferencial en el edificio; por lo anterior, es indispensable establecer las cargas de diseño que se tuvieron en cuenta y relacionarlas con las cargas que establece la Norma NSR-10, con el fin de determinar las reacciones por columna y comprender el diseño de cimentación actual. Para el avalúo de cargas se remite al Título B de la norma NSR-10 y se identifica cargas vivas y muertas.

#### 4.2.5. Revisión de Avalúo de Cargas

Datos utilizados por el ingeniero calculista, ver Tabla 4 – Cuadro de cargas:

*Tabla 4 - Cuadro de cargas. Fuente: NSR-10*

<b>Cuadro de Cargas Suministradas</b>	
<b>MATERIAL</b>	<b>PESO (kg/m<sup>2</sup>)</b>
Peso del tejado	150 kg/m <sup>2</sup>
Peso propio de las placas	300 kg/m <sup>2</sup>
Carga Viva	200 kg/m <sup>2</sup>
Acabados	100 kg/m <sup>2</sup>
Peso normal de las placas	600 kg/m <sup>2</sup>

Cargas según la norma NSR-10, ver Tabla 5 – Masas de los materiales:

**Tabla 5 - Masas de los materiales. Fuente: NSR-10**

<b>TABLAS (B,3,2,1)-(B,3,4,1,3) NSR-10</b>	
<b>MATERIAL</b>	<b>PESO (kg/m<sup>2</sup>)</b>
Mampostería e=10 cm	180
Teja de arcilla	80
Cerámica	15
Madera laminada	10
Concreto Reforzado	2400

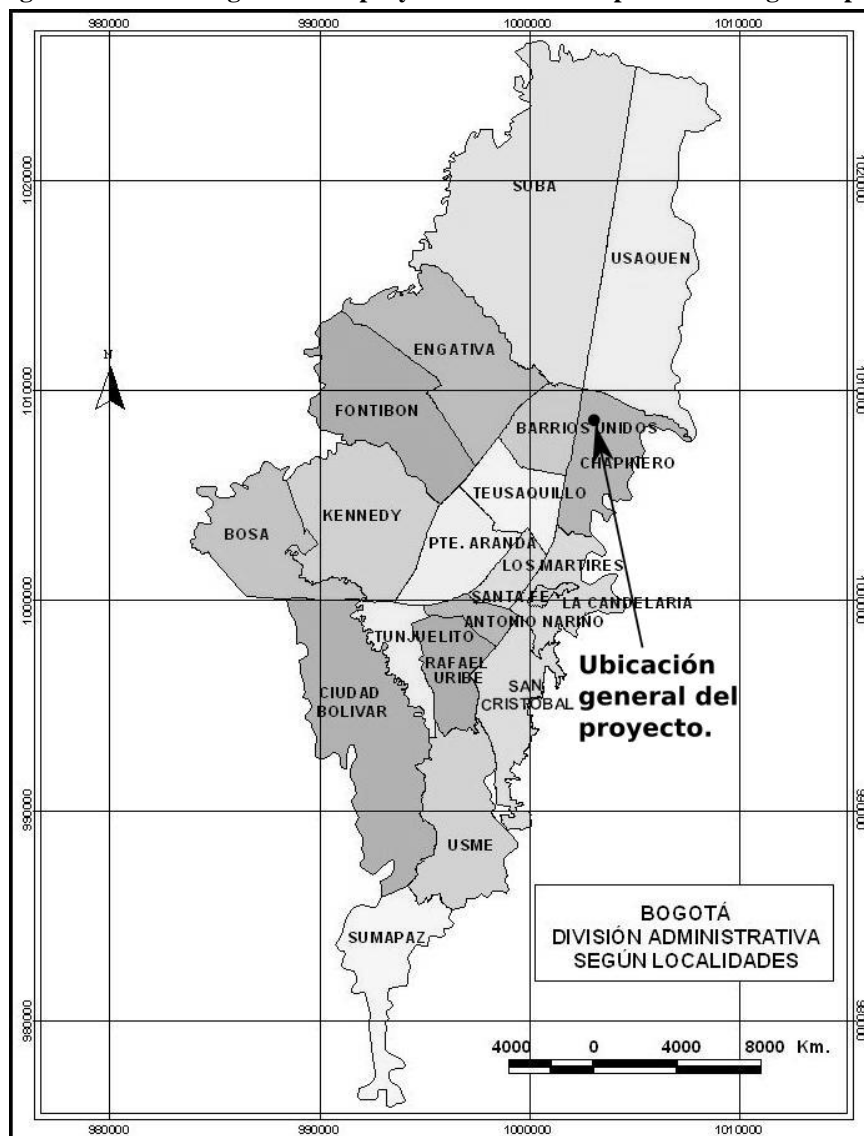
#### **4.2.6. Grado de Irregularidad de la Estructura**

- La estructura del Edificio Novoa en planta es predominantemente rectangular, sin embargo, hay presencia de algunos voladizos.
- En altura, conserva 2,75 metros como altura tipo, por lo que no genera efectos de piso flexible; por otro lado, se evidencia continuidad en las columnas y no se observan desplazamientos de los diferentes elementos.
- La configuración de los elementos estructurales en alzado es consistente, por lo que se registra que las placas son tipo, la cual minimiza efecto de piso débil.

#### **4.2.7. Matriz de Vulnerabilidad**

- a) Localización: El proyecto se ubica en la ciudad de Bogotá D.C. en la dirección Carrera 13 N° 85-65, corresponde a un edificio de uso residencial construido en la localidad de Chapinero. Ver Imagen 1 – Ubicación general del proyecto.  
Nivel de Vulnerabilidad: **MEDIO**.

Imagen 1 – Ubicación general del proyecto. Fuente: Adaptado de Google Maps por los autores



- b) Ambiental: No se evidencian riesgos por presencia de individuos arbóreos ni cuerpos de aguas contiguos al proyecto, así mismo tampoco al interior del predio. Nivel de Vulnerabilidad: **BAJO**.
- c) Suelos: De acuerdo al estudio de suelos recibido, se realizaron cuatro sondeos encontrándose una estratigrafía que contiene limo orgánico negro hasta nivel -1,70 metros; arcilla limosa habana y gris blanda hasta -15,0 metros de profundidad. Dentro de un contexto general se conoce que la zona en donde se ubica el proyecto se encuentra en una zona lacustre. Nivel de Vulnerabilidad: **MEDIO**.
- d) Materiales: La mampostería encontrada en el edificio no tiene características estructurales. Se compone de bloque de arcilla N° 4 para muros divisorios y ladrillo común para fachada. En lo referente al concreto del proyecto, no evidencio procesos de carbonatación ni lesiones en los elementos estructurales visibles a simple vista. Dado que el edificio fue construido hace más de 40 años se asume que los flejes y ganchos fueron figurados en acero liso. Nivel de Vulnerabilidad: **MEDIO**.

- e) Sistema: Teniendo en cuenta que el diseño del edificio es del año 1973, no se encuentra regulado por ninguna norma sísmica nacional, pues la primera normatividad sismo resistente en Colombia se estableció e implementó a partir del año de 1984. El edificio fue construido en sistema aporticado. El estudio de suelos recomendó la construcción de una placa de cimentación flotante, pero se construyó en un sistema de zapatas corridas. Nivel de Vulnerabilidad: **MEDIO**.
- f) Topografía: El edificio se encuentra sobre una superficie horizontal, no se presentan laderas inestables. Nivel de Vulnerabilidad: **BAJO**.
- g) Agua: Han transcurrido casi 50 años desde que fue construida la estructura, en el terreno donde se encuentra localizada la edificación se ha visto sometido al abatimiento del nivel freático generalizado en la sabana de Bogotá, lo que consecuentemente ha generado asentamiento continuo. Nivel de Vulnerabilidad: **MEDIO**.
- h) Clima: No existe riesgo por condiciones de clima extremo, como nieve, tornados, huracanes, altas temperaturas, ambiente marino, etc. Como característica general las precipitaciones que se presentan son típicas de la zona andina sin que afecten al proyecto. Nivel de Vulnerabilidad: **BAJO**.
- i) Sísmica: De acuerdo al Decreto 523 de 2010, se clasifica el proyecto localizado en suelo lacustre A (Suelo lacustre muy blando) suelos de muy baja a media capacidad portante y muy compresible. De acuerdo al numeral 5,14 del citado Decreto, el suelo se puede clasificar como Lacustre tipo F. Nivel de Vulnerabilidad: **MEDIO**.

Dado el anterior análisis de vulnerabilidad, de los nueve elementos calificados, se concluye que no se encuentra ningún aspecto con evaluación Alta, obtuvieron calificación de nivel medio seis aspectos y nivel bajo tres aspectos, se entiende entonces que el paciente muestra una tendencia de vulnerabilidad predominante media-baja.

### 4.3. Geometría del Proyecto

Edificación construida en estructura convencional de concreto reforzado, con luces entre columnas menores a cinco metros de longitud.

Edificación de cuatro niveles de apartamentos y un semisótano de parqueaderos (cinco pisos), tiene forma rectangular en todos los niveles, conservando la forma regular desde el sótano hasta el piso cinco. En términos de figura geométrica se considera como un paralelepípedo rectangular recto, base rectangular; es decir que la edificación no presenta irregularidades vista desde planta, pues todos los niveles son simétricos; en cuanto a la distribución por plantas, se observan continuidad de las columnas desde la cimentación hasta el último nivel.

La edificación no presenta irregularidades susceptibles en planta ni en alzado. El acceso peatonal y vehicular a la edificación se realiza por medio del semisótano, al cual mediante una semi-rampa se ingresa a los parqueadero y portería.

La edificación no presenta riesgos desde el punto de vista por presencia de irregularidades geométricas en pórticos.

#### **4.4. Análisis de Estabilidad del Proyecto**

Al realizar la revisión del proyecto desde el punto del análisis de estabilidad, se puede verificar que los elementos estructurales no evidencian algún tipo de compromiso estructural en términos de la posibilidad de colapso inminente, se puede apreciar continuidad en los elementos de soporte como las columnas de acuerdo a los planos suministrados. No se observan elementos estructurales como muros o fachadas con afectaciones estructurales y afectaciones graves; solo, la presencia de fisuras mínimas y grietas múltiples en la mampostería de fachadas y algunos muros divisorios internos (mampostería no estructural) en los diferentes niveles o pisos de la edificación, según el monitoreo de asentamientos efectuado es concluyente, que está inactivo los asentamientos, se encuentra estabilizada la edificación hasta el momento. En resumen, se evidencia que los fenómenos presentes no comprometen el desempeño estructural y corresponden a afectaciones menores.

#### **4.5. Estudio de Suelos y Cimentación del Proyecto**

Se cuenta con dos estudios de suelos; el primer estudio de suelos es el estudio inicial que sirvió como base para la construcción del paciente, descrito a continuación:

La información obtenida suministrada por parte de la administración del edificio, señala que el estudio de suelos fue elaborado por el Ingeniero Víctor Romero, por medio de su compañía VÍCTOR ROMERO Y CIA LTDA. Se pudo evidenciar que el estudio de suelos se realizó con base en la propuesta de construcción de un edificio de cuatro plantas y un semi-sótano, tipología que se respetó en la ejecución final del mismo.

La realización del estudio de suelos implicó la ejecución de cuatro sondeos de 15 metros de profundidad cada uno, en donde se determina la presencia de limos orgánicos negros hasta una profundidad de -1,70 metros y un segundo estrato de arcilla limosa de color habana y gris blanda hasta el nivel del sondeo final de -15,0 metros de profundidad. De igual manera, se determinó la presencia de nivel freático a una profundidad de -1.0 metro.

Las conclusiones obtenidas del estudio de suelos realizado, sugieren la ejecución para la cimentación del edificio de una losa de cimentación de 1,0 metro de espesor mínimo con una capacidad de absorción de cargas de 6,0 toneladas por metro cuadrado garantizado que el centro de gravedad de las cargas coincida con el empuje de la losa de cimentación.

**Tabla 6 - Clasificación de los perfiles de suelo. Fuente: NSR-10 Tabla A.2.4-1**

Tipo de perfil	Descripción	Definición
<b>A</b>	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500$ m/s
<b>B</b>	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760$ m/s
<b>C</b>	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ , o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>D</b>	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ , o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50$ kPa ( $\approx 0.5$ kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>E</b>	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total <b>H</b> mayor de 3 m de arcillas blandas	<b>IP</b> > 20 <b>w</b> $\geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$
<b>F</b>	Los perfiles de suelo tipo <b>F</b> requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: <b>F<sub>1</sub></b> — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. <b>F<sub>2</sub></b> — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ( <b>H</b> > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). <b>F<sub>3</sub></b> — Arcillas de muy alta plasticidad ( <b>H</b> > 7.5 m con Índice de Plasticidad <b>IP</b> > 75) <b>F<sub>4</sub></b> — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ( <b>H</b> > 36 m)	

El segundo estudio de suelos, fue realizado por la copropiedad del paciente en el año 2019 y será tratado en la sección de resultados del presente documento en el cual se emplearon clasificaciones definidas en la Tabla 6 – Clasificación de los perfiles de suelo,

#### 4.6. Caracterización de los Materiales

La edificación se encuentra construida en su estructura, por el sistema de pórticos de concreto reforzado, cimentación en zapatas continuas en concreto reforzado. Placas de entepiso aligeradas mediante el empleo de casetón de guadua (propio de la época en que fue construido el edificio) y el concreto es reforzado con acero.

La cubierta está compuesta por tejas de tipo Eternit en material de asbesto cemento. La mampostería en arcilla cocida y corresponde a muros divisorios en material de bloque de arcilla extrusado (perforación horizontal y de referencia N° 5 tradicional a nivel del semisótano y nivel del primer piso, piso dos y subsiguientes, el bloque es N° 4 Tradicional) y la fachada en ladrillo recocido tipo Santafé, estas unidades son prensadas. El pañete o revoque

no presenta condiciones diferenciadoras, se encuentra en espesores aceptables que varían entre 1,0 y 2,0 centímetros.

La losa de entresijos tiene sobre-piso en mortero de un espesor de cinco centímetros y revestido o con acabado de material en plástico vinilo muy característico de la época de los años setenta.

Ventanería en material de lámina metálica con deterioro menor en sectores localizados y en algunos casos puntuales se observa intervenciones paliativas con elementos epóxicos. Al interior se encontró puntualmente un marco de ventana en aluminio, que se observa fue recientemente renovado.

## 5. Resultados

### 5.1. Resultados de control de nivelación

A continuación se presentan los resultados de las mediciones de topográficas para la comprensión del movimiento del paciente, ver Tabla 7 – Control de asentamientos iniciales Edificio Novoa en 2019-06-03 y Tabla 8 Control de asentamientos Edificio Novoa en 2019-09-02 vs 2019-06-03:

**Tabla 7 – Control de asentamiento iniciales Edificio Novoa en 2019-06-03. Fuente: Los Autores**

Eje	Eje	Cota Referencia (cm)	Cota Columna 2019-06-03 (cm)	Diferencia de Cotas (cm)
E	1	0,0	3,8	-3,8
D	1	0,0	2,9	-2,9
C	1	0,0	2,1	-2,1
B	1	0,0	1,7	-1,7
F	2	0,0	5,8	-5,8
A	2	0,0	1,1	-1,1
E	3	0,0	4,3	-4,3
D	3	0,0	3,1	-3,1
C	3	0,0	2,0	-2,0
B	3	0,0	1,7	-1,7
D	3'	0,0	2,6	-2,6
C	3'	0,0	1,8	-1,8

Trabajo Profesional Integrado TPI  
Especialización en Patología de la Construcción

F	4	0,0	6,3	-6,3
B	4	0,0	1,6	-1,6
A	4	0,0	1,4	-1,4
E	4'	0,0	4,6	-4,6
F	5	0,0	6,7	-6,7
E	5	0,0	4,9	-4,9
B	5	0,0	1,9	-1,9
A	5	0,0	1,6	-1,6

**Tabla 8 – Control de asentamiento Edificio Novoa en 2019-09-02 vs 2019-06-03. Fuente: Los Autores**

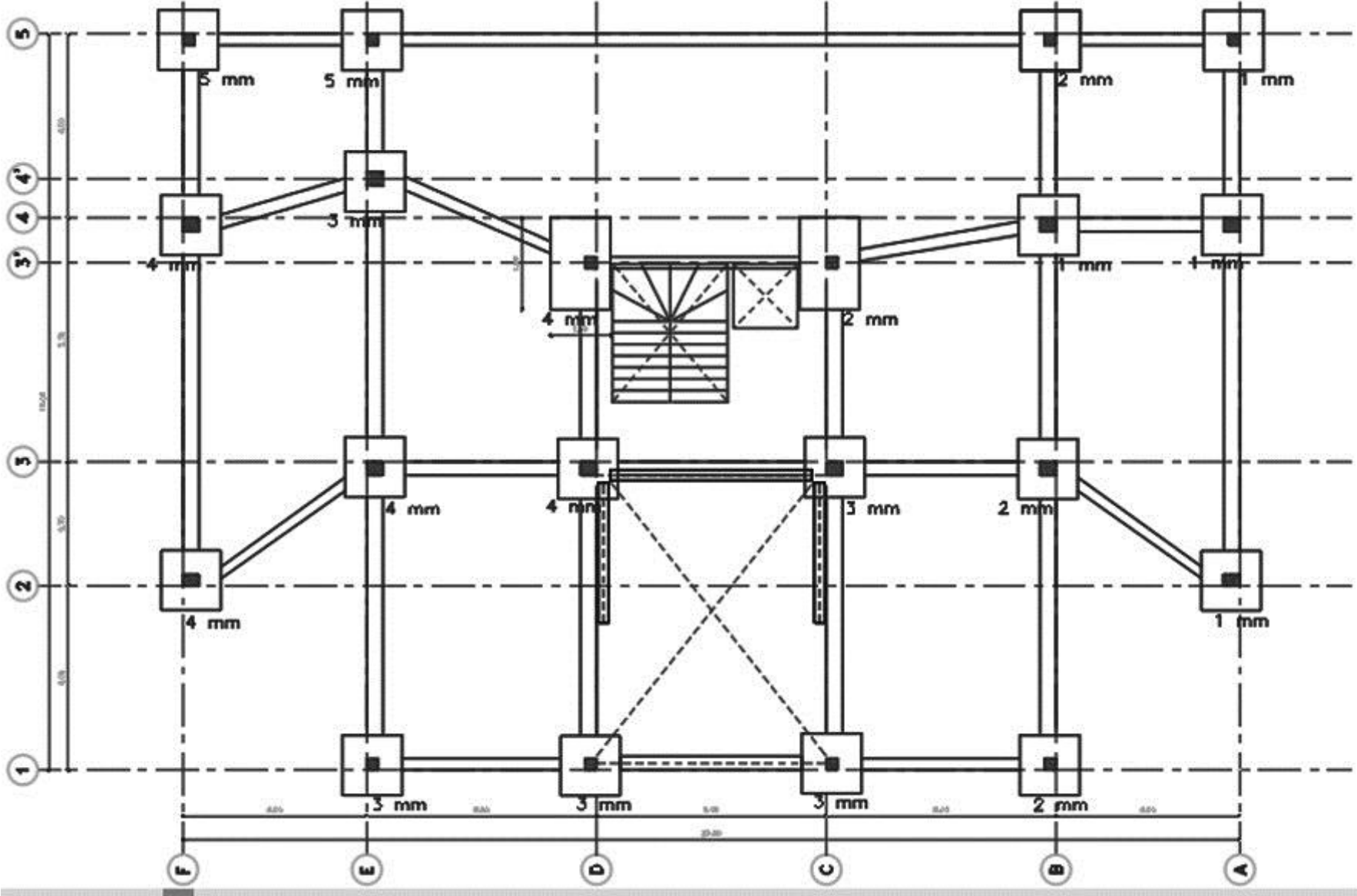
Eje	Eje	Cota Referencia (cm)	Cota Columna 2019-06-03 (cm)	Cota Columna 2019-09-02 (cm)	Diferencia de Cotas (cm)	Diferencia de Cotas (mm)
E	1	0,0	3,8	4,1	0,3	3,0
D	1	0,0	2,9	3,2	0,3	3,0
C	1	0,0	2,1	2,4	0,3	3,0
B	1	0,0	1,7	1,9	0,2	2,0
F	2	0,0	5,8	6,2	0,4	4,0
A	2	0,0	1,1	1,2	0,1	1,0
E	3	0,0	4,3	4,7	0,4	4,0
D	3	0,0	3,1	3,5	0,4	4,0
C	3	0,0	2,0	2,3	0,3	3,0
B	3	0,0	1,7	1,9	0,2	2,0
D	3'	0,0	2,6	3,0	0,4	4,0
C	3'	0,0	1,8	2,0	0,2	2,0
F	4	0,0	6,3	6,7	0,4	4,0
B	4	0,0	1,6	1,7	0,1	1,0
A	4	0,0	1,4	1,5	0,1	1,0
E	4'	0,0	4,6	4,9	0,3	3,0
F	5	0,0	6,7	7,2	0,5	5,0
E	5	0,0	4,9	5,4	0,5	5,0
B	5	0,0	1,9	2,1	0,2	2,0
A	5	0,0	1,6	1,7	0,1	1,0

Para la ejecución del control de nivelación se contrató la cuadrilla de topografía que en primera instancia tomo y marcó el nivel de referencia para todos los elementos estructurales con el objeto de dejar la primera información de entrada al estudio materializada; con posterioridad se tomaron nuevamente las lecturas de topografía confirmando las hipótesis establecida por los autores que se describe a continuación.

Los resultados de topografía indica evidentemente el asentamiento del edificio profundizado en los ejes D, E y F que corresponden al 50% de la estructura del edificio y especialmente en el eje F que corresponde al costado occidental del edificio y concuerda con las características visuales expuestas en las fichas patológicas de los elementos de mampostería del paciente. Ver Imagen 2 Control de asentamiento Edificio Novoa.

El control de asentamientos por tanto confirma las hipótesis inicialmente expuestas y permite determinar el plan de acción de las medidas correctivas que permitan lograr la estabilización y recuperación del paciente.

Imagen 2 – Control de asentamiento Edificio Novoa. Fuente: Los Autores



## 6. Análisis y Diagnóstico

A partir de las fichas de patología elaboradas (ver Anexo N° 1 del presente documento) bajo el esquema del proceso de metodología de investigación, se evidencia la presencia de grietas y fisuramientos en elementos de mampostería de fachada exteriores e interiores, mampostería de muros divisorios interiores, se identifica la tendencia generalizada de fisuramientos con inclinación respecto a la horizontal de 45° aproximadamente, que denotan un comportamiento típico de asentamiento diferencial en la edificación.

Al evaluar las condiciones del semisótano, se evidencia condiciones similares de fisuración en elementos de mampostería y de concreto, con afines características y condiciones a las visualizadas en la súper estructura; de esta manera, se reafirma el concepto de la presencia de asentamientos diferenciales en el paciente estudiado.

La estructura del Edificio Novoa, con Licencia de Construcción N° 6219 del 04 de diciembre de 1973 fue construido en el año de 1975. En aquellos años en Colombia no existía normatividad de resistencia sísmica, como existe hoy en día; es decir, la estructura no tiene refuerzo antisísmico, entre otros elementos especificados por la normatividad actual vigente NSR-10, anotándose que en el transcurso desde su construcción a la fecha de hoy, no se ha realizado trabajo de repotenciación a la estructura.

En cuanto a la geotecnia, se encuentra que el edificio está cimentado sobre un suelo que se clasifica como tipo F. El terreno se encuentra ubicado en la transición entre las Zonas Lacustre 100 y Lacustre 200 del Mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá. Según el Decreto 523 del 16 de diciembre de 2010.

Adicionalmente la sabana de Bogotá se ha visto afectada en el transcurrir de los años, por asentamientos por consolidación causado por al abatimiento del nivel freático por los múltiples cultivos de la región, los cuales son abastecidos de agua por medio de bombeo de aguas subterráneas de la propia sabana. A lo anterior, sumado el efecto generado por las construcciones adyacentes cuyas excavaciones abatieron nivel freático del sector y consecuentemente procesos propios de consolidación del terreno.

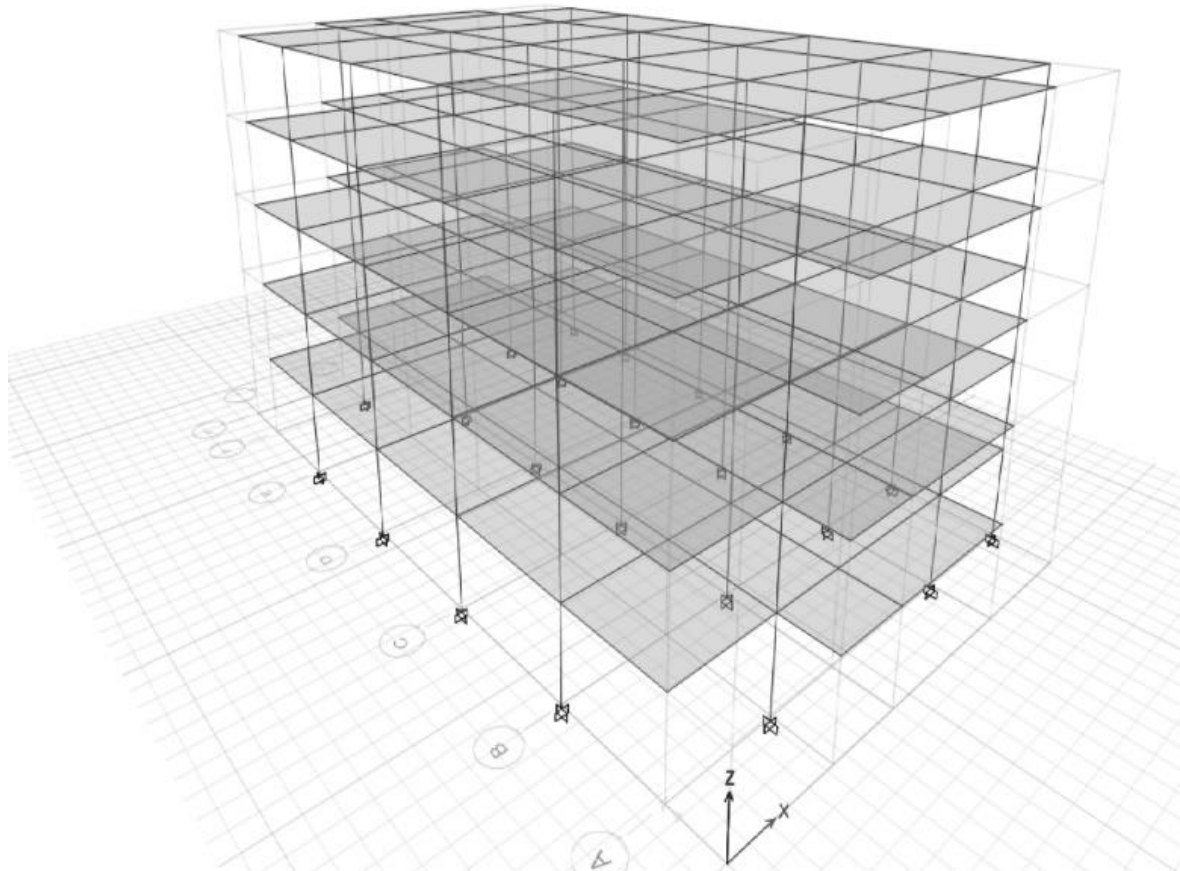
Por otra parte, se identificó con los fisurometros situados aleatoriamente sobre algunas fisuras, registraron movimientos mínimos insignificantes. Se realizó ejercicio de monitoreo topográfico donde efectivamente se observan movimientos mínimos en los puntos de control definidos específicamente para el seguimiento.

## 7. Propuesta de Intervención Edificio Novoa

Después de realizar cada uno de los pasos anteriormente descritos, se emplean las cargas estimadas del paciente (cargas muertas + cargas vivas), que constituyen las fuentes de los datos de entrada de información en el Software ETABS, con el fin de calcular las reacciones por columna que le transfieren a las zapatas actuales.

### 7.1. Modelo Estructural en Desarrollo

*Imagen 3 - Modelo estructural -ETABS. Fuente: Autores.*

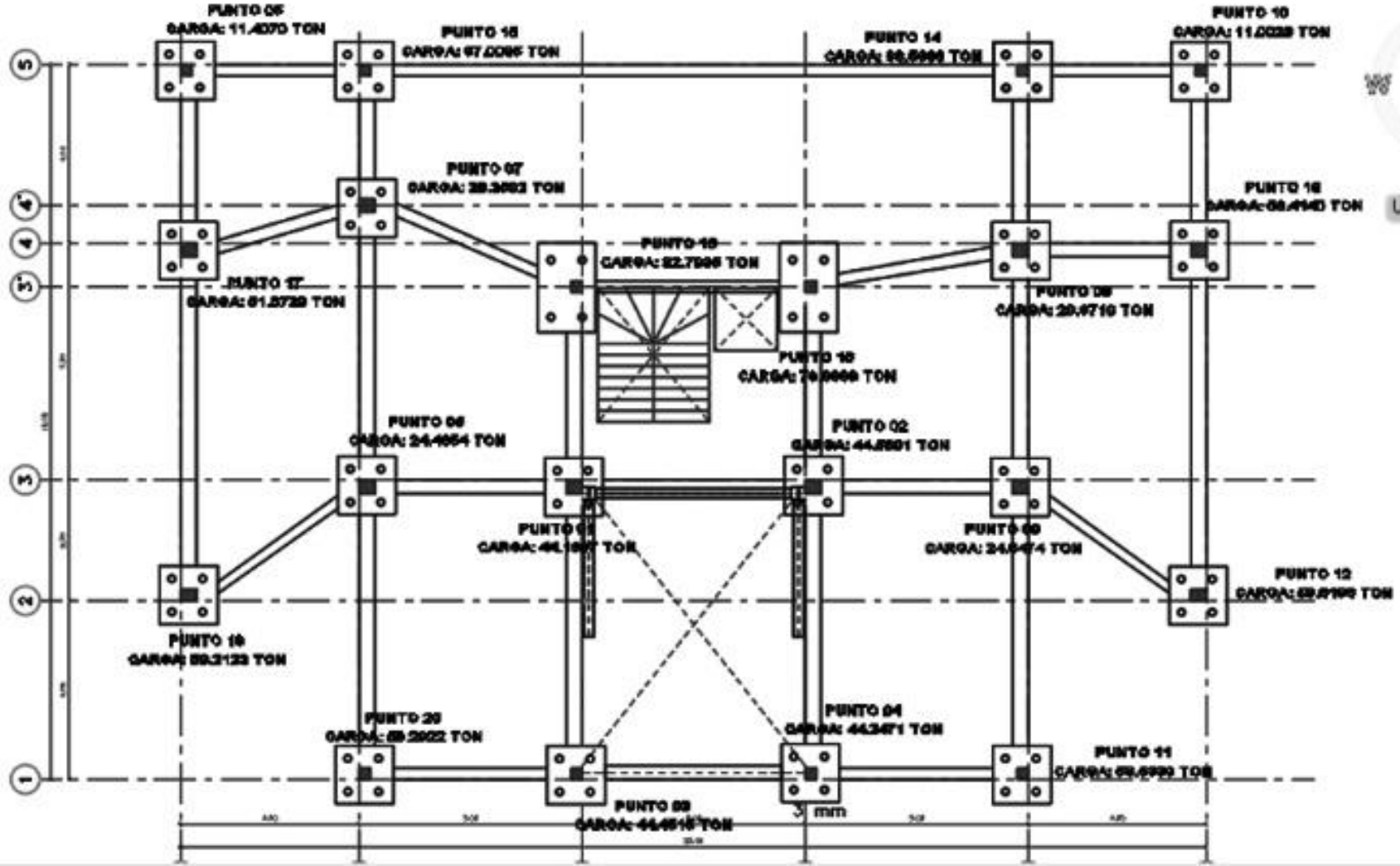


Se obtiene como resultado del ejercicio de la incorporación de la información de la estructura ver Imagen 3 Modelo estructural ETABS, la información que se indica en la Tabla 9 – Cálculo de reacciones por columna. Así mismo se referencia gráficamente en la Imagen 4 esquema de reacciones por columna sobre el plano en planta.

**Tabla 9 – Cálculo de reacciones por columna. Fuente: Tomado del software ETABS por los Autores.**

TABLE: Joint Reactions									
Story	Joint Label	Unique Name	Load Case/Combo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
				tonf	tonf	tonf	kN-m	kN-m	kN-m
Base			Dead	0,54	0,11	30,65	-1,0	5,12	0,00
Base	1	1	D+L	0,8824	0,1326	44,1397	-1,2471	8,1891	0,001
Base	2	7	D+L	1,2463	-0,0106	44,5601	0,0253	11,426	0,001
Base	3	13	D+L	1,2439	0,0359	44,4515	-0,3879	11,4105	0,001
Base	4	19	D+L	0,8712	-0,1296	44,2471	1,0817	8,1049	0,001
Base	5	25	D+L	-0,0634	0,1358	11,407	-1,2913	-0,1925	0,001
Base	6	31	D+L	-0,192	0,0756	24,4654	-0,7568	-1,3392	0,001
Base	7	37	D+L	-0,2614	0,0084	28,3592	-0,1596	-1,9604	0,001
Base	8	43	D+L	-0,2623	0,0191	28,371	-0,2548	-1,9734	0,001
Base	9	49	D+L	-0,1957	-0,0467	24,6474	0,3293	-1,3875	0,001
Base	10	55	D+L	-0,0565	-0,1168	11,0023	0,9525	-0,1549	0,001
Base	11	61	D+L	-0,0282	0,0247	58,5339	-0,3001	0,1112	0,001
Base	12	67	D+L	-0,0295	0,0039	58,6186	-0,116	0,0944	0,001
Base	13	73	D+L	-0,2587	-0,326	82,7935	2,6968	-1,0652	0,0027
Base	14	79	D+L	-0,8044	0,0636	86,5886	-0,7457	-5,8733	0,0027
Base	15	85	D+L	-0,8101	-0,0003	87,0095	-0,1807	-5,9393	0,0027
Base	16	91	D+L	-0,3372	0,1677	79,8889	-1,6653	-1,8043	0,0027
Base	17	97	D+L	-1,0619	0,4777	61,6729	-4,4166	-8,1802	0,0027
Base	18	103	D+L	-0,1146	-0,1975	58,414	1,5487	0,1504	0,0027
Base	19	109	D+L	-0,8472	-0,5055	59,2123	4,2697	-6,219	0,0027
Base	20	115	D+L	-0,1334	0,24	58,2922	-2,3165	0,0349	0,0027
Base	F-2	121	D+L	0,7664	0,1183	74,2845	-1,1528	7,6818	0,0018
Base	A-2	127	D+L	0,4462	-0,1703	70,7805	1,4099	4,9332	0,0018

Imagen 4 – Esquema de reacciones por columna. Fuente: Los Autores



Dando que se conoce la carga por cada columna y los resultados del estudio de suelos ejecutado por la copropiedad del paciente, se realiza reunión con el especialista encargado en geotecnia; reunión en donde se propone como solución más viable, la ejecución de micro-pilotes, indicando que se asigna el 100% de las cargas a los pilotes nuevos para garantizar la estabilidad de la estructura, y previendo futuras afectaciones por nuevas construcciones que puedan desarrollarse en los lotes colindantes; en consecuencia el producto de la reunión conjunta con el suelista, este entrega el cálculo de capacidad de soporte de los micropilotes discriminados por diámetro y longitud. Ver Tabla 10 – Capacidad de soporte carga (toneladas) de micro-pilotes según diámetro. Por tanto, se define que los micro-pilotes es la opción más viable técnica y económicamente ejecutable.

**Tabla 10 – Capacidad de soporte carga (toneladas) de micro-pilotes según diámetro (m) y profundidad (m). Fuente: LFO Ingenieros de Suelos SAS.**

Capacidad de Soporte de micropilotes (toneladas)			
Profundidad (m)	Diámetro de micropilotes		
	0,15 m	0,20 m	0,25 m
20,0	11,20	19,00	26,70
21,0	12,40	20,20	27,90
22,0	13,60	21,40	29,10
23,0	14,80	22,60	30,30
24,0	16,00	23,80	31,50
25,0	17,20	25,00	32,70
26,0	18,50	26,30	34,00
27,0	19,80	27,60	35,30
28,0	21,10	28,90	36,60
29,0	22,40	30,20	37,90
30,0	23,70	31,50	39,20
31,0	25,10	33,30	41,50
32,0	26,50	35,10	43,70
33,0	27,90	37,00	46,10
34,0	29,30	38,90	48,40
35,0	30,80	40,90	50,90
36,0	32,30	42,90	53,40
37,0	33,80	44,90	55,90
38,0	35,40	47,00	58,50

39,0	37,00	49,10	61,20
40,0	38,60	51,30	63,90

Para el cálculo de los micro-pilotes se tiene en cuenta la columna con carga más crítica, que este caso tiene una reacción de 87 toneladas, en consecuencia se obtienen cuatro pilotes de 20 metros lineales y diámetro de 0,25 m cada uno y una capacidad de carga de 26.70 ton / unidad, en conjunto proporcionan una capacidad de soporte total de 107 toneladas, con un factor de seguridad FS = 3 de acuerdo al estudio de suelos LFO Ingenieros de Suelos SAS. Ver Tabla 11 – Calculo de reacciones por columnas e Imagen 5 – Propuesta de distribución de pilotes. Con esta solución se resuelven los asentamientos y se garantiza la estabilización del edificio.

Con el objetivo de optimizar en costos y rendimientos la ejecución de la propuesta de mejoramiento, se propone la combinación de diámetros y cantidad de pilotes para cada nudo de cimentación generando la tabla de propuesta de solución descrita a continuación:

**Tabla 11 – Cálculo de reacciones por columna. Fuente: Los Autores**

Propuesta de Intervención mediante micropilotes					
Punto de Control	Carga por asumir	Diámetro Micropilote	Profundidad Micropilote	Capacidad de carga micropilote	Cantidad de Micropilote
N°	(Toneladas)	(m)	(m)	(Toneladas)	(Unidad)
1	44,14	0,25	20,00	26,70	2
2	44,56	0,25	20,00	26,70	2
3	44,45	0,25	20,00	26,70	2
4	44,25	0,25	20,00	26,70	2
5	11,41	0,25	20,00	26,70	1
6	24,47	0,25	20,00	26,70	1
7	28,35	0,25	20,00	26,70	2
8	28,36	0,25	20,00	26,70	2
9	24,65	0,25	20,00	26,70	1
10	11,01	0,25	20,00	26,70	1
11	58,53	0,25	20,00	26,70	3
12	58,62	0,25	20,00	26,70	3
13	82,76	0,25	20,00	26,70	4

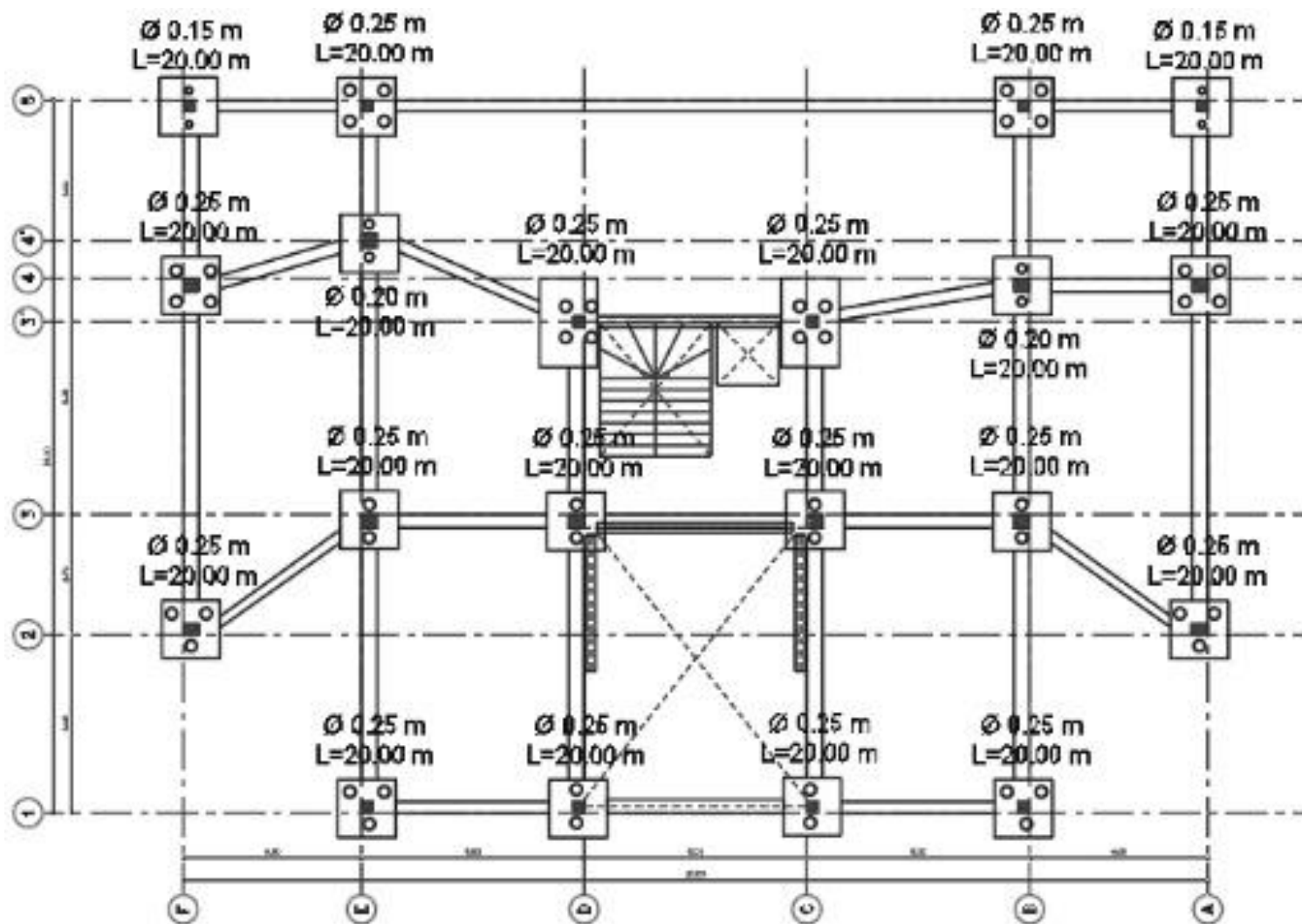
Trabajo Profesional Integrado TPI  
Especialización en Patología de la Construcción

---

14	86,59	0,25	20,00	26,70	4
15	87,01	0,25	20,00	26,70	3
16	79,89	0,25	20,00	26,70	3
17	61,67	0,25	20,00	26,70	3
18	58,41	0,25	20,00	26,70	3
19	59,21	0,25	20,00	26,70	3
20	58,29	0,25	20,00	26,70	3

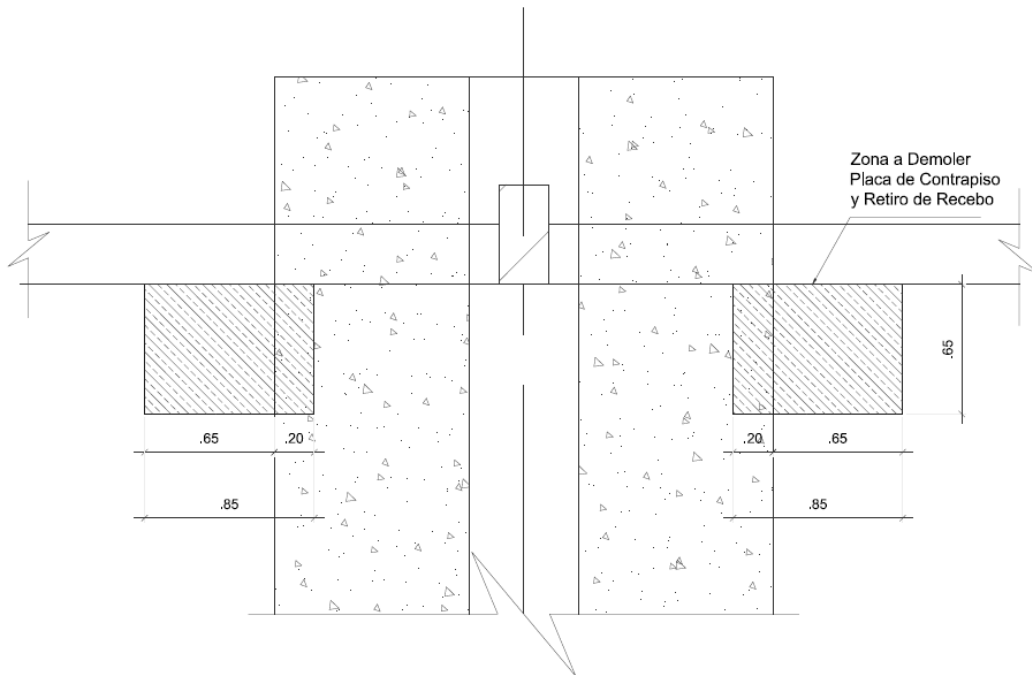
---

Imagen 5 – Propuesta de distribución de pilotes. Fuente: Los Autores



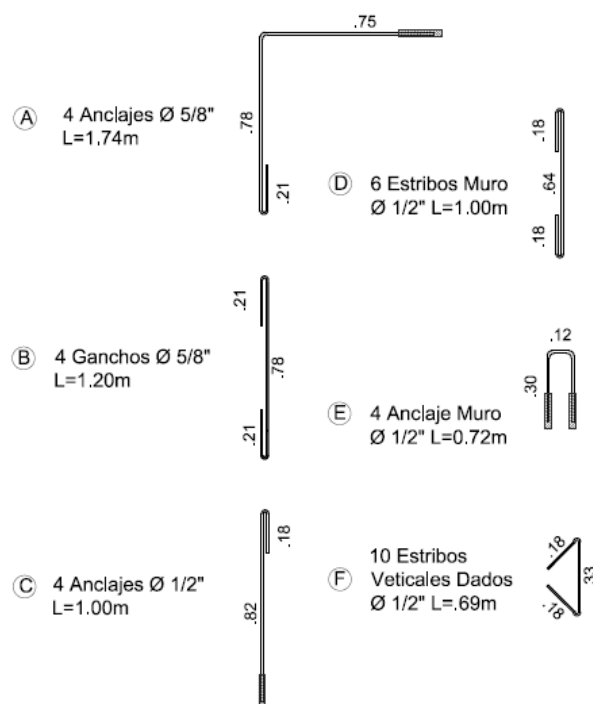
## 7.2. Procedimiento constructivo

Imagen 6 – Propuesta de intervención Demolición de placa contrapiso- perfil. Fuente: Los Autores



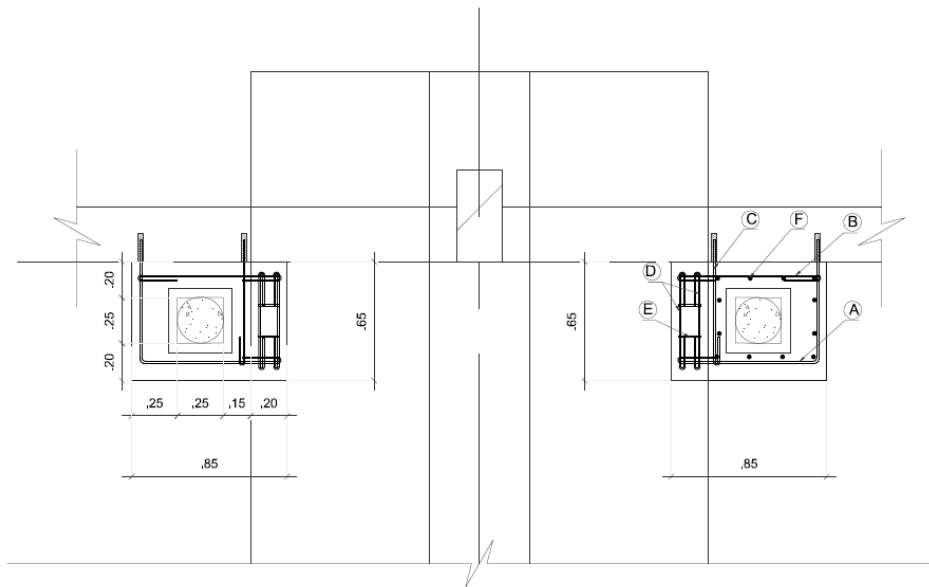
Se iniciará el procedimiento de ejecución con la demolición de las zonas de placas de contrapiso y retiro de materiales de lleno que se encuentren adjuntas a cada uno de las zapatas de cimentación. Al ejecutar dicha actividad se controlará de manera visual la integridad y continuidad de las zapatas de cimentación existentes. Ver Imagen 6 – Propuesta de intervención Demolición de placa contrapiso – perfil.

Imagen 7 – Propuesta de intervención Detalle refuerzo anclajes y dados. Fuente: Los Autores.



Se presenta el listado de acero de refuerzo para cada uno de los recalces y nueva construcción de ampliación de zapatas con los respectivos diámetros y secciones para figuración del refuerzo. Ver Imagen 7 – Propuesta de intervención Detalle refuerzo anclajes y dados.

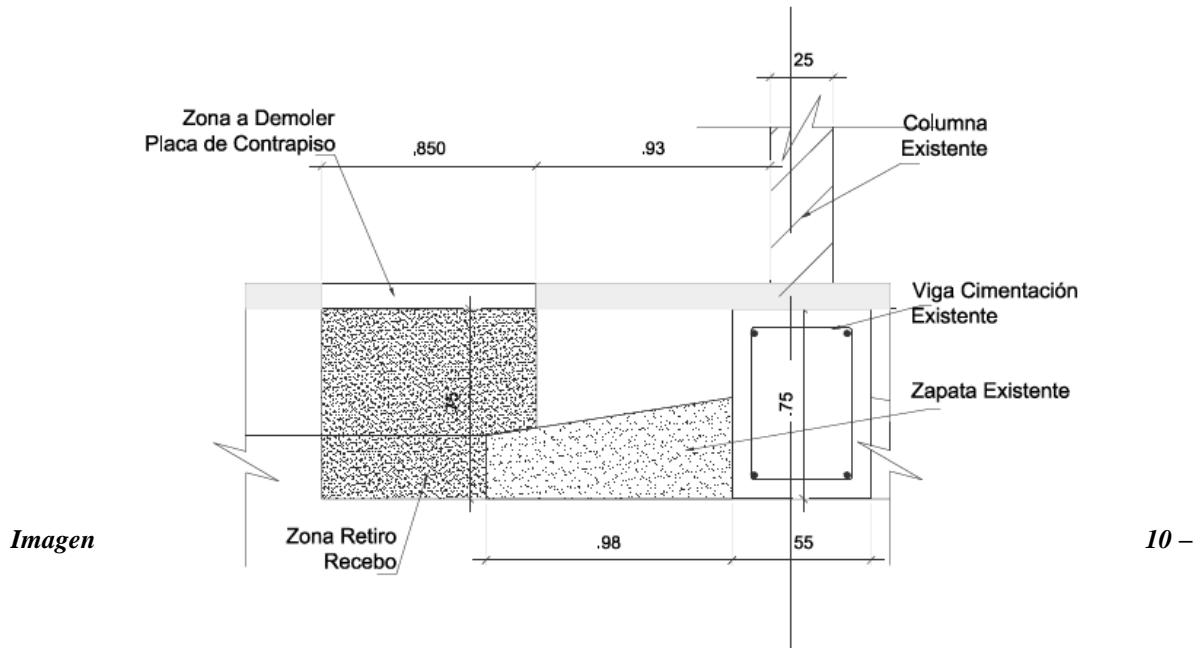
**Imagen 8 – Propuesta de intervención Detalle refuerzo dados - planta. Fuente: Los Autores.**



La imagen 8 Propuesta de intervención Detalle refuerzo dados – planta, presenta en planta la ubicación final de los micro-pilotes nuevos junto con la ubicación de refuerzos para la nueva conformación de la cimentación del paciente.

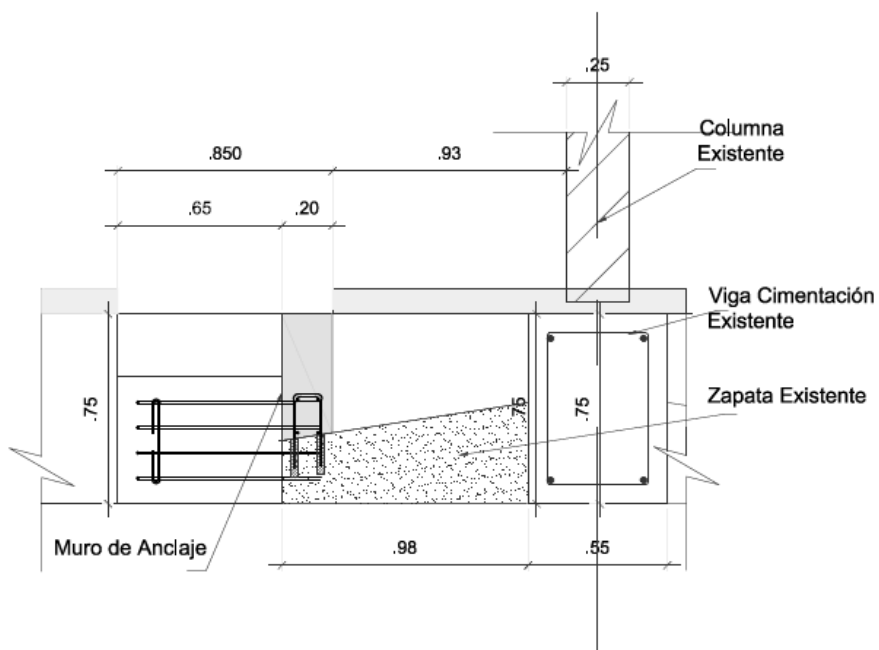
En las siguientes imágenes se ilustra el proceso desarrollando la secuencia lógica de las actividades de la Propuesta de intervención, demolición y retiro de escombros ver Imagen 9 – Propuesta de intervención Etapa 1 Demolición y Retiro recebo y escombros – Perfil; Armado de de muro ver Imagen 10 – Propuesta de intervención Etapa 2 Armado de muro de anclaje; posteriormente el vaciado de concreto primera fase ver Imagen 11 – Propuesta de intervención Etapa 3 Vaciado muro de anclaje y dados, concreto primera fase – Planta, continua con el armado de pilotes ver Imagen 12 – Propuesta de intervención Etapa 4 Armado de pilotes – Planta; una vez armados los pilotes se procede con el vaciado de segunda fase del concreto ver Imagen 13 – Propuesta de intervención Etapa 5 Armado de pilotes, vaciado concreto segunda fase – Planta

**Imagen 9 – Propuesta de intervención Etapa 1 Demolición y Retiro recebo y escombros – Perfil (Sin escala).**  
**Fuente: Los Autores.**

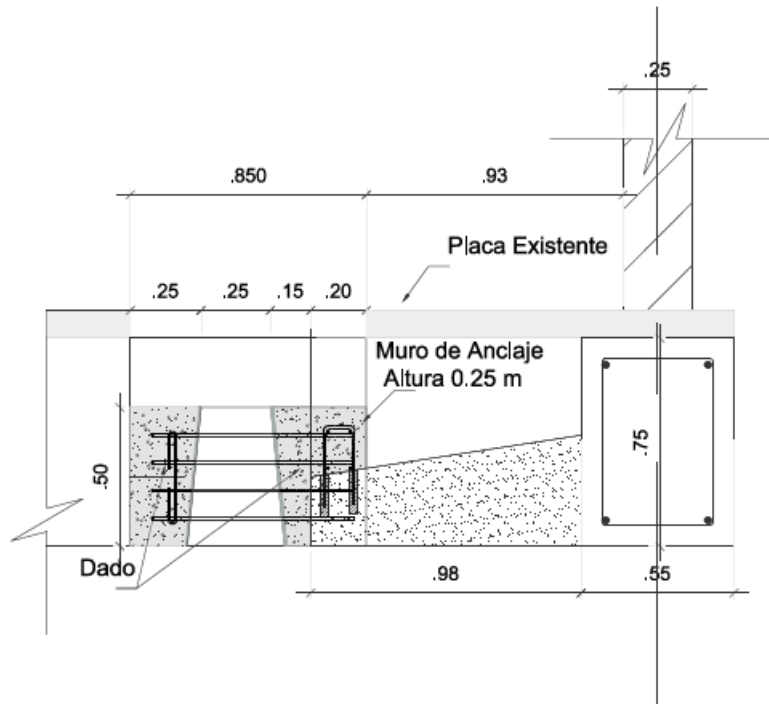


**Propuesta de intervención Etapa 2 Armado de muro de anclaje – Perfil (Sin escala).**

**Fuente: Los Autores.**

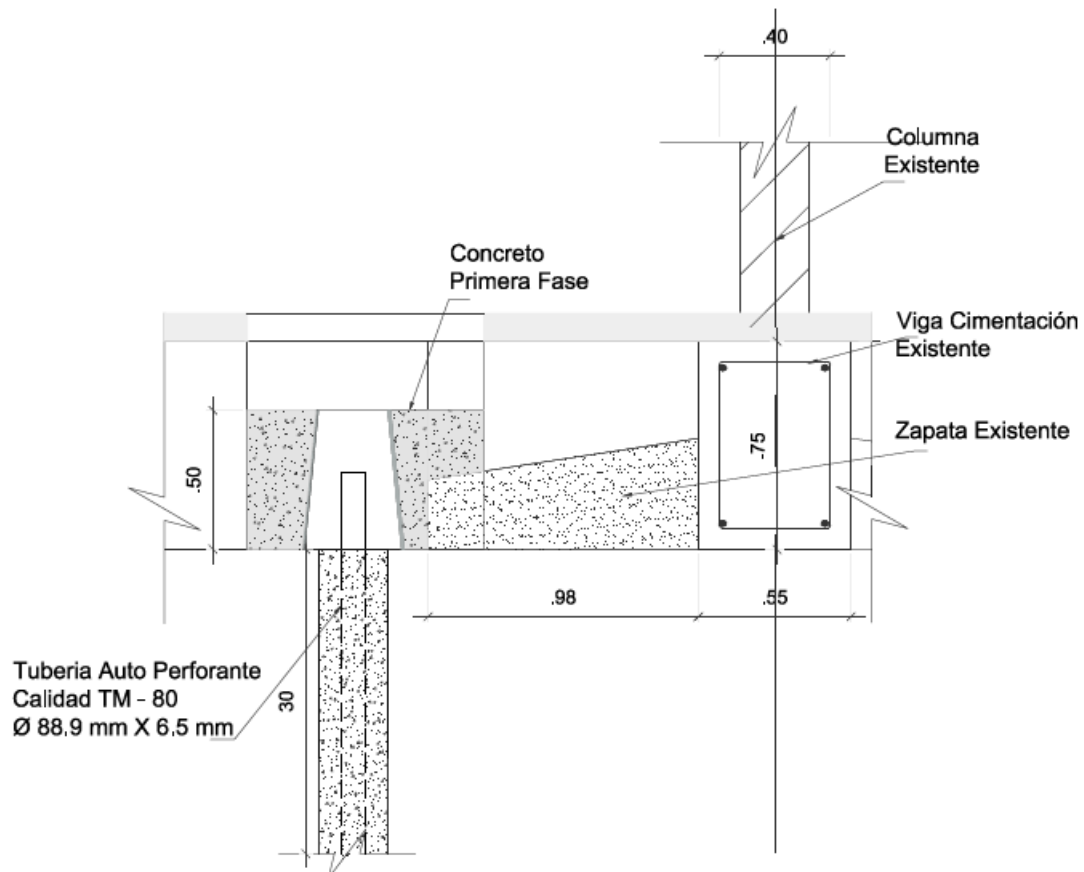


*Imagen 11 – Propuesta de intervención Etapa 3 Vaciado muro de anclaje y dados, concreto primera fase – Planta (Sin escala). Fuente: Los Autores.*

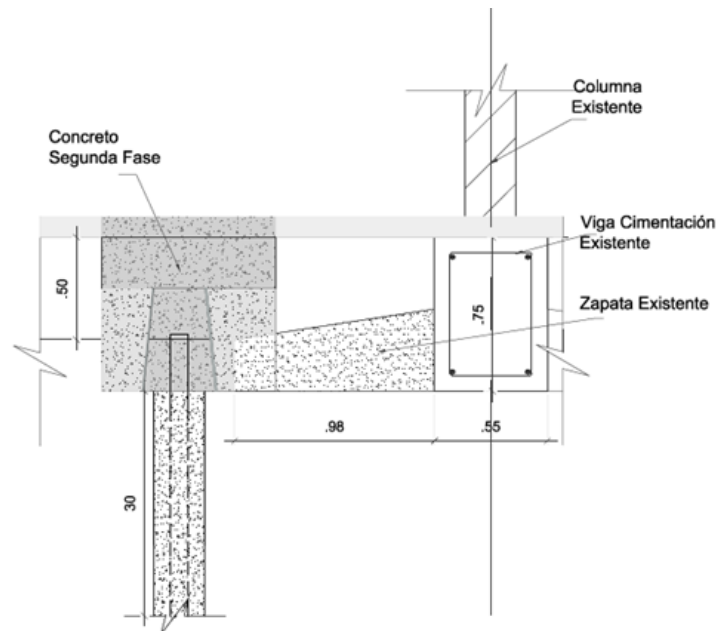


*Imagen 12 – Propuesta de intervención Etapa 4 Armado de pilotes – Planta (Sin escala).*

*Fuente: Los Autores.*



*Imagen 13 – Propuesta de intervención Etapa 5 Armado de pilotes, vaciado concreto segunda fase – Planta (Sin escala). Fuente: Los Autores.*



### 7.3. Presupuesto y Cronograma

Para la ejecución de la propuesta de intervención se tiene estimada una duración de 59 días, en los cuales se interviene el área del semisotano únicamente, es decir que los apartamentos no se verían afectados y permite a los residentes dar continuidad a las rutinas diarias. En la imagen 14 se observa detalladamente el cronograma de actividades a ejecutar día a día. Ver Imagen 14 Cronograma de actividades rehabilitación por micro-pilotes. Por otra parte el presupuesto se discrimina y puede detallarse en la Tabla 12 – Presupuesto propuesta de intervención.

*Tabla 12 – Presupuesto propuesta de intervención. Fuente: Los Autores*

<b>PRESUPUESTO ESTABILIZACIÓN DE CIMENTACIÓN</b>				
<b>EDIFICIO NOVOA - TODO COSTO</b>				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
Colocación -de concreto de 280 kg/cm <sup>2</sup>	44,1	m <sup>3</sup>	\$ 480.000	\$ 21.168.000
Kilogramos de acero de refuerzo	6090	kg	\$ 4.258	\$ 25.931.220
Formaleta (lamina súper T)	25	m <sup>2</sup>	\$ 125.900	\$ 3.147.500
Anclajes en cimentación	320	Un	\$ 12.500	\$ 4.000.000
Demolición concreto Zapata existente	10	m <sup>3</sup>	\$ 450.000	\$ 4.500.000
Remoción de escombros (Viaje de volqueta)	1	Global	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000
Micropilote proceso	1060	metro lineal	\$ 250.000	\$ 265.000.000
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 329.746.720</b>
AIU (%)	20%			\$ 65.949.344
IVA SOBRE UTILIDAD (%)	5%			\$ 3.132.594
<b>VALOR TOTAL</b>				<b>\$ 398.828.658</b>

*Imagen 14 – Cronograma de actividades rehabilitación por micro-pilotes. Fuente: Los Autores.*

Cronograma de propuesta de intervención, duración en días																															
Actividad	Duración (Días)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Demarcación de intervención de zapatas	1																														
Demolición placa contrapiso	12																														
Preparación de zapatas acceso para micropilotes	20																														
Micropilotes	40																														
Anclajes de cimentación	40																														
Vaciado sobrancho cimentación	40																														
Aseo General	3																														
Actividad	Duración (Días)	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	
Demarcación de intervención de zapatas	1																														
Demolición placa contrapiso	12																														
Preparación de zapatas acceso para micropilotes	20																														
Micropilotes	40																														
Anclajes de cimentación	40																														
Vaciado sobrancho cimentación	40																														
Aseo General	3																														
<b>Total días</b>	<b>59</b>																														

## Conclusiones

Se desarrolló el presente estudio patológico y propuesta de intervención empleando los conceptos ingenieriles adquiridos a lo largo de los módulos de la Especialización aplicados en el paciente EDIFICIO NOVOA, proporcionando alternativas de solución a la problemática evidenciada durante el desarrollo del ejercicio, tomando como base fundamental las diferentes metodologías aprendidas en las disciplinas de los módulos vistos, de tal forma que se entregó un trabajo orientado a la patología aplicada.

En el paciente se realizó inspección visual in situ y se identificó patologías evidenciada en lesiones directas mecánicas como son fisuras y grietas generadas por asentamiento por consolidación del terreno de cimentación, los fisuramientos se presentan en la mampostería interior y exterior, lesiones documentadas debidamente detalladas en las fichas patologías anexo N° 1 del presente documento.

Se obtuvo información existente del edificio correspondiente a estudio de suelos y planos estructurales encontrándose coherente lo especificado versus lo realmente construido..

Se requirió y realizó seguimiento y control a niveles topográficamente de elementos estructurales, encontrándose que efectivamente la edificación sufrió un asentamiento histórico en el pasado, no obstante lo anterior, en el seguimiento y control se evidencia que ceso dicho asentamiento.

Se realizó el análisis de datos que concluye que la estructura del edificio en sistema aporticado no se encuentra comprometida, no existe peligro para las personas que lo habitan y las lesiones evidenciadas corresponden a la mampostería que no es estructural y solo cumple funciones de muros divisorios y cerramientos hacia el exterior.

La propuesta de intervención corresponde a la implementación de sistema compuesto por micropilotes con tubería autoperforante TM 80 bajo muro anclaje de altura 0,25 m y dados, anclados a las zapatas adyacentes pre-existentes, distribuidos de acuerdo a lo indicado en el presente documento. Para finalmente intervenir de manera sectorizada solamente la mampostería afectada.

La ejecución de la propuesta de solución en lo referente a los costos evidencian una inversión estimada del 6.79% del valor comercial de los inmuebles con base en los valores promedio de las unidades familiares del sector. Con base en lo anterior se considera una propuesta de intervención totalmente viable teniendo en cuenta la posibilidad de extender la vida útil y de correcto funcionamiento del paciente.

### **Recomendaciones**

Se recomienda durante la etapa de definición de la patología de cada uno de los pacientes recurrir siempre a la información primigenia de cada uno de las estructuras a analizar, la experiencia actual evidenció que desde la lectura de la primera información se pudieron encausar de manera correcta los recursos y esfuerzos para determinar la patología correcta.

Se recomienda que la información obtenida de los estudios y ensayos ejecutados sean consignados en planos de obra actualizados dado que en algunos casos la información de planimetría y sistemas de construcción no coinciden con lo ejecutado realmente, teniendo en cuenta lo ocurrido con el paciente analizado.

Se recomienda profundizar las investigaciones en el sector en donde se ubica el paciente dado que la zona ha sufrido procesos de urbanización acelerados y la combinación de estructuras nuevas con estructuras con más de 30 años de construidas puede afectar aún más los fenómenos de desecamiento del terreno de fundación.

## Bibliografía

Acero, G., Alvarado, E., Vanegas, D., (2019). Estudio patológico del edificio Plazoleta 75 PH (Trabajo Profesional Integrado - TPI). Universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia.

Escorcía, O. (2010). *Manual para la investigación guía para la formulación, desarrollo y divulgación de proyectos*. Universidad Nacional, Bogotá, Colombia.

LFO Ingenieros de Suelos SAS (2015) Estudio de suelos y análisis de cimentación Bogotá, Colombia.

Peña, J. (2016). Estudio de patología del edificio Fumdir (Trabajo Profesional Integrado - TPI). Universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia.

Quispe, R. (2010). Manual Básico de Análisis y Diseño Estructural con ETABS. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2016/07/22/manual-basico-analisis-diseno-estructural-etabs-empleando-reglamento-nacional-edificaciones/>

Ley 1796. Diario Oficial Colombia, 13 de julio de 2016

Decreto 523. Diario Oficial Colombia, 16 de diciembre de 2010

Código Colombiano de Construcciones Sismoresistentes NSR-10

### **Lista de Referencias**

Blanco, A. (2013). Conferencia Cimentaciones en Edificaciones.

Florentín, M., & Granada, R. (2009). Patologías Constructivas en los Edificios. Prevenciones y Soluciones. Asunción, Paraguay: Universidad Nacional de Asunción.



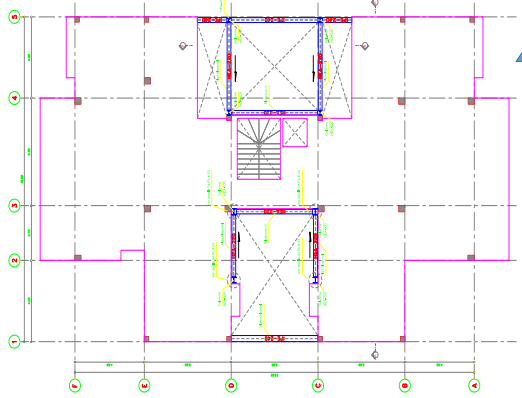
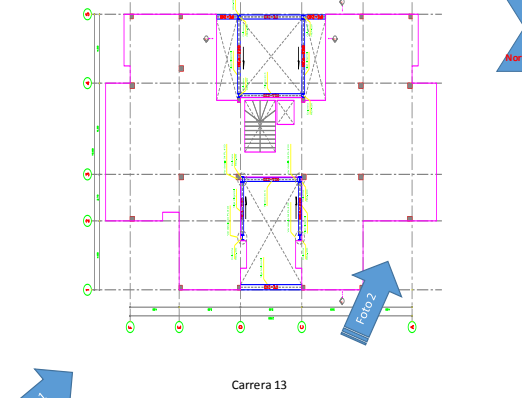
Pérez Valcárcel, J. (2011). Patologías debidas a la cimentación. La Coruña: E.T.S.A. de la Coruña.

López, I. (2012). Cimentaciones Profundas. Ejecución de Pilotes de Extracción. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

## **ANEXOS**

**ANEXO N° 1**  
**FICHAS PATOLÓGICAS**

Trabajo Profesional Integrado TPI  
Especialización en Patología de la Construcción

FICHA PATOLÓGICA N° 01							
PROYECTO: EDIFICIO NOVOA		LOCALIZACIÓN/DIRECCIÓN: CRA. 13 N° 85-65 BOGOTÁ D.C. - COLOMBIA			OBSERVACIONES		
TIPO DE LESIONES							
DIRECTAS	FÍSICAS	HUMEDAD ●	FILTRACIÓN	EFLORESCENCIAS	OXIDACIÓN PREVIA	INDIRECTOS	DISEÑO
		EROSIÓN	CAPILARIDAD	OXIDACIÓN Y CORROSIÓN	POR INMERSIÓN		MATERIALES
		SUCIEDAD	CONDENSACIÓN	ALTERACIONES EN CONCRETO	POR AIREACIÓN SUPERFICIAL		EJECUCIÓN
			ACCIDENTAL	EROSIONES	POR PAR GALVÁNICO		AUMENTO NO PREVISTO DE CARGA
			DE OBRA		INTERGRANULAR		CAMBIO DE USO
	MECÁNICAS	DEPOSITO		CARBONATACIÓN	FALTA DE MANTENIMIENTO		
		LAVADO DIFERENCIAL		REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO	DESASTRES NATURALES		
		ATMOSFÉRICAS			DESASTRES TECNOLÓGICOS		
		GRIETAS ●	POR CARGA	ORGANISMOS ANIMALES	INSECTOS XILÓFAGOS		ANTRÓPICO
		FISURAS ●	POR DILATACION-CONTRACCION	FLUIDOS	AVES		
OTROS	DESPRENDIMIENTOS	ACABADO	MATERIAL DESCOMPUESTO	ROEDORES	Edificación construida en el año 1975, no se ha realizado ninguna actualización o reforzamiento sísmoresistente. ●		
	EROSIÓN	ASENTAMIENTO ●	ORGANISMOS VEGETALES	HONGOS-MOHO			
		ACABADO POR ELEMENTOS		FLORA INVASIVA			
		MECÁNICA					
							
OBSERVACIONES		LOCALIZACIÓN FOTOGRAFÍAS		SIN ESCALA			
<p><b>FOTOGRAFÍA N° 1</b> Vista General de la Fachada principal exterior, edificación de uso residencial de cuatro niveles de apartamentos y un semisótano para uso de parqueaderos de vehículos automotores Fachada en mampostería de arcilla, ladrillo 20 x 12 x 7 cm. Vista en dirección de Oriente a Occidente, con leve perspectiva hacia el Norte. Sistema estructural en pórticos de concreto reforzado y mampostería no estructural en fachada y muros divisorios</p> <p><b>FOTOGRAFÍA N° 2</b> Acceso vehicular al edificio, se aprecian lesiones mecánicas sobre elementos mampuestos de arcilla, sobre los muros lateral y superior en del acceso al parqueadero en la fachada principal. Nivel Semisótano en fachada principal. Vista en dirección de Oriente a Occidente, con leve perspectiva hacia el Norte.</p>		<p><b>SINTOMATOLOGÍA</b></p> <p><b>HUMEDADES</b> Presencia de humedades al interior de los apartamentos que se encuentran hacia la fachada exterior en los sectores de presencia de los fisuramientos</p> <p><b>FISURAS</b> Se evidencia fisuras en mampostería sobre muro en fachada principal y muro lateral colindante en acceso vehicular al parqueadero de la edificación residencial.</p>		<p><b>POSIBLE TRATAMIENTO</b></p> <p>Se observan distribución de fisuras y agrietamientos con tendencia definida en inclinación a 45° sobre la horizontal. Como consecuencia de la presencia de las fisuras sobre la fachada se generan infiltraciones de agua lluvia ocasionando humedades por infiltración a través de las grietas.</p> <p>Se deberá corregir la causa raíz de las lesiones, antes de dar tratamiento a los fisuramientos.</p>			
				SIN ESCALA			














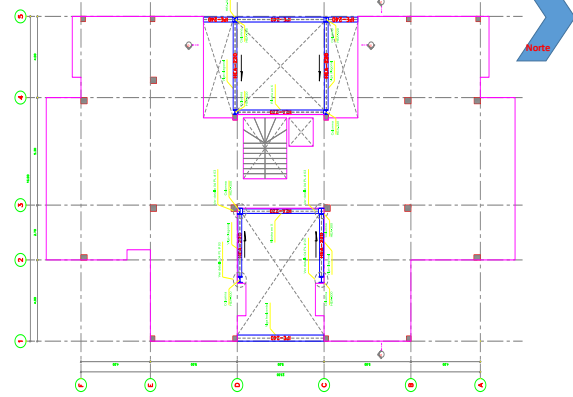
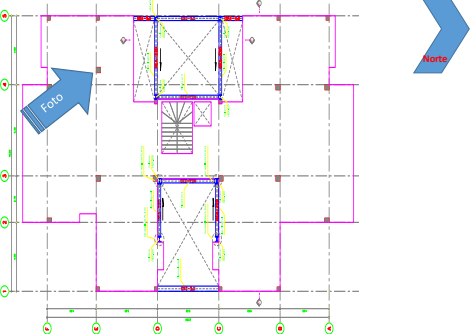








Trabajo Profesional Integrado TPI  
Especialización en Patología de la Construcción

PROYECTO: EDIFICIO NOVOA		LOCALIZACIÓN/DIRECCIÓN: CRA. 13 N° 85-65 BOGOTÁ D.C. - COLOMBIA				FICHA PATOLÓGICA N° 12		OBSERVACIONES
		TIPO DE LESIONES						PLANOS
DIRECTAS	FÍSICAS	HUMEDAD	FILTRACIÓN	QUÍMICAS	EFLORESCENCIAS	OXIDACIÓN PREVIA	INDIRECTOS	DISEÑO
		EROSIÓN	CAPILARIDAD		OXIDACIÓN Y CORROSIÓN	POR INMERSIÓN		MATERIALES
		SUCIEDAD	CONDENSACIÓN		ALTERACIONES EN CONCRETO	POR AIREACIÓN SUPERFICIAL		EJECUCIÓN
			ACCIDENTAL		EROSIONES	POR PAR GALVÁNICO		AUMENTO NO PREVISTO DE CARGA
			DE OBRA			INTERGRANULAR		CAMBIO DE USO
			DEPOSITO			CARBONATACIÓN		FALTA DE MANTENIMIENTO
	MECÁNICAS		LAVADO DIFERENCIAL		REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO	CONTEXTO	DESASTRES NATURALES	
			ATMOSFÉRICAS				DESASTRES TECNOLÓGICOS	
		GRIETAS	POR CARGA	ORGANISMOS ANIMALES	INSECTOS XILÓFAGOS		ANTROPICO	
		FISURAS	POR DILATACIÓN-CONTRACCIÓN	FLUIDOS	AVES			
		DESPRENDIMIENTOS	ACABADO	MATERIAL DESCOMPUESTO	ROEDORES			Edificación construida en el año 1975, no se ha realizado ninguna actualización o reforzamiento sísmoresistente.
		EROSIÓN	ASENTAMIENTO	ORGANISMOS VEGETALES	HONGOS-MOHO			
	ACABADO POR ELEMENTOS MECÁNICA		FLORA INVASIVA	OTROS				
REGISTRO FOTOGRÁFICO								
FOTOGRAFÍA N° 23								
OBSERVACIONES								SIN ESCALA
FOTOGRAFÍA N° 23	Fisuración leve de columna interna con ángulo de 45° Se evidencia fisuración superficial dado que la cara contigua de la columna no presente afectación Columna interior en el nivel de semisótano, área de estacionamiento de vehículos.							
0								
SINTOMATOLOGÍA				POSIBLE TRATAMIENTO				
FISURAS	Se evidencia fisuras en columnas de concreto en el nivel de los parqueaderos			Se observan distribución de fisuras y agrietamientos con tendencia definida en inclinación a 45° sobre la horizontal Se sugiere la limpieza de las zonas fisuradas y la inyección de morteros de reparación estructural En los elementos de fisuración mínima se sugiere la escarificación de la superficie y la reparación del elementos mediante el uso de anclajes epóxicos y la aplicación de morteros de reparación estructural con el sistema DRY-PACK Se deberá corregir la causa raíz de las lesiones, antes de dar tratamiento a la mampostería afectada.				
								SIN ESCALA

ANEXO N° 2

NORMA NSR-10 Tabla A.1.3-1

Tabla A.1.3 -1  
Procedimiento de diseño estructural para edificaciones nuevas y existentes

Diseño de edificaciones nuevas	Intervención de edificaciones existentes
<b><i>Paso 1 — Predimensionamiento y coordinación con los otros profesionales</i></b>	
Definición del sistema estructural, dimensiones tentativas para evaluar preliminarmente las diferentes solicitaciones tales como: la masa de la estructura, las cargas muertas, las cargas vivas, los efectos sísmicos, y las fuerzas de viento. Estas dimensiones preliminares se coordinan con los otros profesionales que participan en el diseño.	Además de la coordinación con otros profesionales respecto al proyecto, debe establecerse si la intervención está comprendida dentro del alcance dado en A.10.1.3. Si está cubierto, se deben realizar las etapas 1 y 2 de A.10.1.4 y con esa información se debe realizar la etapa 3 de ese numeral.

continúa...

**Tabla A.1.3 -1 (continuación)**  
**Procedimiento de diseño estructural para edificaciones nuevas y existentes**

Diseño de edificaciones nuevas	Intervención de edificaciones existentes
<b>Paso 2 — Evaluación de las solicitaciones definitivas</b>	
<p>Con las dimensiones de los elementos de la estructura definidas como resultado del paso 1, se evalúan todas las solicitaciones que pueden afectar la edificación de acuerdo con los requisitos del Título B del Reglamento. Estas incluyen: el efecto gravitacional de la masa de los elementos estructurales, o peso propio, las cargas de acabados y elementos no estructurales, las cargas muertas, las fuerzas de viento, las deformaciones impuestas por efectos reológicos de los materiales estructurales y asentamientos del suelo que da apoyo a la fundación. Así mismo se debe determinar la masa de la edificación y su contenido cuando así lo exige el Reglamento, la cual será empleada en la determinación de los efectos sísmicos, de acuerdo con los pasos siguientes.</p>	<p>Se debe realizar la etapa 4 de A.10.1.4 donde, entre otros aspectos, se debe determinar una información real análoga a la exigida para edificaciones nuevas, pero con base en la edificación existente de acuerdo con lo indicado en A.10.4.2.6.</p>
<b>Paso 3 — Obtención del nivel de amenaza sísmica y los valores de <math>A_a</math> y <math>A_v</math></b>	
<p>Este paso consiste en localizar el lugar donde se construirá la edificación dentro de los mapas de zonificación sísmica dados en el Capítulo A.2 del Reglamento y en determinar el nivel de amenaza sísmica del lugar, de acuerdo con los valores de los parámetros <math>A_a</math> y <math>A_v</math> obtenidos en los mapas de zonificación sísmica del Capítulo A.2. El nivel de amenaza sísmica se clasificará como alta, intermedia o baja. En el Apéndice A-4 se presenta una enumeración de los municipios colombianos, con su definición de la zona de amenaza sísmica, y los valores de los parámetros <math>A_a</math> y <math>A_v</math>, entre otros.</p>	<p>Dentro del alcance de la etapa 4 de A.10.4.1, para las edificaciones existentes los movimientos sísmicos de diseño se determinan de igual forma que para edificaciones nuevas, con la excepción de las edificaciones a las cuales el Reglamento les permite acogerse al uso de movimientos sísmicos para el nivel de seguridad limitada para rehabilitación sísmica. Para el uso de movimientos sísmicos para el nivel de seguridad limitada debe consultarse A.10.9.2.5, el cual solo aplica a edificaciones declaradas como patrimonio histórico y bajo las condiciones impuestas allí. En este caso se permite el uso de <math>A_e</math>, en vez de los valores de <math>A_a</math> y <math>A_v</math> tal como se indica en A.10.3.</p>
<b>Paso 4 — Movimientos sísmicos de diseño</b>	
<p>Deben definirse unos movimientos sísmicos de diseño en el lugar de la edificación, de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.2 del Reglamento y, en el caso de Edificaciones cubiertas por A.1.2.3.3, con los requisitos del Capítulo A.12 del Reglamento, tomando en cuenta:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(a) La amenaza sísmica para el lugar determinada en el paso 3, expresada a través de los parámetros <math>A_a</math> y <math>A_v</math> o <math>A_d</math>, según sea el caso, los cuales representan la aceleración horizontal pico efectiva y la velocidad horizontal pico efectiva expresada en términos de aceleración del sismo de diseño,</li> <li>(b) Las características de la estratificación del suelo subyacente en el lugar a través de unos coeficientes de sitio <math>F_a</math> y <math>F_v</math>, y</li> <li>(c) La importancia de la edificación para la recuperación de la comunidad con posterioridad a la ocurrencia de un sismo a través de un coeficiente de importancia <math>I</math>.</li> </ul> <p>Las características de los movimientos sísmicos de diseño se expresan por medio de un espectro elástico de diseño. El Reglamento contempla descripciones alternativas del sismo de diseño, ya sea a través de familias de acelerogramas, o bien por medio de expresiones derivadas de estudios de microzonificación sísmica, las cuales deben determinarse siguiendo los requisitos dados en el Capítulo A.2.</p>	<p>Se deben seguir el mismo procedimiento que para edificaciones nuevas. Para el caso de edificaciones declaradas como patrimonio histórico y bajo las condiciones que lo permite A.10.9.2.5 se pueden utilizar los movimientos sísmicos para el nivel de seguridad limitada definido en A.10.3.</p>

continúa...

**Tabla A.1.3 -1 (continuación)**  
**Procedimiento de diseño estructural para edificaciones nuevas y existentes**

Diseño de edificaciones nuevas	Intervención de edificaciones existentes
<b>Paso 5 — Características de la estructuración y del material estructural empleado</b>	
<p>El sistema estructural de resistencia sísmica de la edificación debe clasificarse dentro de uno de los sistemas estructurales prescritos en el Capítulo A.3: sistema de muros de carga, sistema combinado, sistema de pórtico, o sistema dual. El Reglamento define limitaciones en el empleo de los sistemas estructurales de resistencia sísmica en función de la zona de amenaza sísmica donde se encuentre localizada la edificación, del tipo de material estructural empleado (concreto estructural, estructura metálica, mampostería estructural, o madera), de la forma misma como se disponga el material en los elementos estructurales según esté en posibilidad de responder adecuadamente ante movimientos sísmicos como los esperados por medio de su capacidad de disipación de energía, la cual puede ser especial (DES), moderada (DMO) o mínima (DMI); de la altura de la edificación, y de su grado de irregularidad.</p>	<p>Dentro del alcance de la etapa 4 de A.10.4.1, para las edificaciones existentes se debe determinar, de acuerdo con las características del sistema estructural empleado originalmente en su construcción, una correspondencia con los sistemas estructurales que se permiten para edificaciones nuevas de acuerdo con lo prescrito en A.10.4.2.</p>
<b>Paso 6 — Grado de irregularidad de la estructura y procedimiento de análisis</b>	
<p>Definición del procedimiento de análisis sísmico de la estructura de acuerdo con la regularidad o irregularidad de la configuración de la edificación, tanto en planta como en alzado, su grado de redundancia o de ausencia de ella en el sistema estructural de resistencia sísmica, su altura, las características del suelo en el lugar, y el nivel de amenaza sísmica, siguiendo los preceptos dados en el Capítulo A.3 de este Reglamento.</p>	<p>Se aplican los mismos principios que para edificaciones nuevas.</p>
<b>Paso 7 — Determinación de las fuerzas sísmicas</b>	
<p>Obtención de las fuerzas sísmicas, <math>F_g</math>, que deben aplicarse a la estructura para lo cual deben usarse los movimientos sísmicos de diseño definidos en el paso 4.</p>	<p>Dentro del alcance de la etapa 4 de A.10.4.1, para las edificaciones existentes se determinan unas solicitaciones equivalentes a las de edificaciones nuevas, pero ajustadas a las propiedades de la estructura existente. Véase A.10.4.2.</p>
<b>Paso 8 — Análisis sísmico de la estructura</b>	
<p>El análisis sísmico de la estructura se lleva a cabo aplicando los movimientos sísmicos de diseño prescritos, a un modelo matemático apropiado de la estructura, tal como se define en el Capítulo A.3. Este análisis se realiza para los movimientos sísmicos de diseño sin ser divididos por el coeficiente de capacidad de disipación de energía, <math>R</math>, y debe hacerse por el método que se haya definido en el paso 6. Deben determinarse los desplazamientos máximos que imponen los movimientos sísmicos de diseño a la estructura y las fuerzas internas que se derivan de ellos.</p>	<p>Se debe cumplir lo indicado en la etapa 5 de A.10.1.4.</p>
<b>Paso 9 — Desplazamientos horizontales</b>	
<p>Evaluación de los desplazamientos horizontales, incluyendo los efectos torsionales de toda la estructura, y las derivas (desplazamiento relativo entre niveles contiguos), utilizando los procedimientos dados en el Capítulo A.6 y con base en los desplazamientos obtenidos en el paso 8.</p>	<p>Se debe cumplir lo indicado en la etapa 9 de A.10.1.4.</p>

continúa...