ALCALDIA MAYOR
BOGOTA D.C.
Caja
VIVIENDA POPULAR

PROGRAMA DE DESARROLLO INSTITUCIONAL
Y COMUNITARIO EN CIUDAD BOLÍVAR

CONVENIO DE FINANCIACIÓN COL/B7-3010/93/117
REPÚBLICA DE COLOMBIA / UNIÓN EUROPEA

I.P.I.
INGENIERÍA Y PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA

Estudio de Vulnerabilidad Sísmica y Reforzamiento Estructural de las construcciones típicas de treinta tipologías de vivienda, pertenecientes a las familias con ingresos inferiores a 2 SMLMV en la localidad de Ciudad Bolívar de la ciudad de Bogotá D.C.

RESUMEN EJECUTIVO

BOGOTÁ D.C., OCTUBRE DE 2001

TABLA DE CONTENIDO

1. **INTRODUCCIÓN**

2. **OBJETIVOS**

3. **METODOLOGÍA**

   3.1 Recopilación y Análisis de la Información Existente

   3.2 Exploración y Trabajo de Campo

   3.3 Parámetros para Definición de Tipologías:

   3.3.1 Geotecnia
   3.3.2 Microzonificación Sísmica
   3.3.3 Materiales utilizados en las Construcciones
   3.3.4 Aspecto Arquitectónico y Urbanístico
   3.3.5 Integración con Proyecto de UPZ´s

   3.4 Análisis de Vulnerabilidad Sísmica

   3.4.1 Calificación de la Calidad del Diseño y Construcción
   3.4.2 Calificación del estado de mantenimiento y conservación
   3.4.3 Evaluación de la Estructura Existente

   3.5 Reforzamiento Estructural

   3.6 Presupuestos

   3.7 Diseño de Viviendas Nuevas para lotes de 6.0 x 12.0 y 5.0 x 12.0

   3.8 Reforzamiento de Casos Particulares

4. **CONCLUSIONES**

5. **REFERENCIAS**





VIVIENDAS CIUDAD BOLIVAR - BOGOTA D.C.

1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente el poblamiento de las áreas periféricas de la ciudad se ha realizado sin ninguna planificación y sin la acción del Estado; éste proceso denominado urbanización informal, ha permitido que en muchas áreas de la ciudad se construyan viviendas que no cuentan con las condiciones de habitabilidad mínimas y las soluciones estructurales no cumplen con los requerimientos normativos y de especificaciones estructurales para éste tipo de construcciones. A estos aspectos cualitativos se suma el hecho de que las viviendas no cuentan con el título de propiedad del predio, hecho que no representa para las familias una garantía real sobre sus propiedades, sin hablar que la mayoría de los barrios se encuentran afectados por situaciones de riesgo. Se entiende que esta es una situación real y no se puede desconocer; por este motivo la Alcaldía de Bogotá ha desarrollado una serie de acciones de carácter legislativo con la legalización de algunos barrios y continua adelantando acciones físicas y de mejoramiento de barrios con el Programa "Mejoremos el barrio y la casa", inserto en el Plan de Desarrollo "Bogotá para Vivir: todos del mismo lado". Igualmente, la ciudad aprobó el Plan de Ordenamiento Territorial, que define entre otras cosas, los bordes y límites del perímetro urbano y de servicios, define las acciones e inversiones de los sistemas estructurantes de la ciudad, establece claramente las áreas de interés y preservación ambiental, y clasifica las zonas que presentan afectaciones por riesgos. Como parte del control urbano, la Ley 388/97 de Ordenamiento Territorial establece las competencias que tienen los entes territoriales en el control urbanístico, así mismo establece las multas que deberán aplicarse cuando se construya sin el lleno de los requisitos legales y plantea que las construcciones que se realicen en las áreas urbanas deben contar con licencia de construcción.

Por estos motivos el PROGRAMA PARA EL DESARROLLO INSTITUCIONAL Y COMUNITARIO DE CIUDAD BOLIVAR DIC-CB Y LA CAJA DE VIVIENDA POPULAR CVP, se interesaron en iniciar un proceso de evaluación de construcciones de vivienda producidas por la población en procesos informales en Ciudad Bolívar y dentro de éste marco de referencia contrataron con la Compañía INGENIERÍA Y PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - I.P.I. LTDA., la realización del **Estudio de Vulnerabilidad Sísmica y Reforzamiento Estructural de las construcciones típicas de treinta tipologías de vivienda, pertenecientes a las familias con ingresos inferiores a 2 SMLMV en la localidad de Ciudad Bolívar de la ciudad de Bogotá D.C.** El Estudio se enmarca dentro de la Ley 400 de 1997 y sus decretos reglamentarios, en lo relativo a las medidas de intervención y de disminución de la vulnerabilidad, modificaciones a la estructura existente en las construcciones por ampliaciones adosadas, ampliaciones en altura y por actualización al reglamento de construcciones, por lo tanto las construcciones que se refuercen siguiendo los requisitos allí establecidos, deben se capaces de resistir temblores pequeños sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero con algún daño en elementos no estructurales, y un temblor fuerte sin colapso.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del Estudio es el de identificar las deficiencias que deben ser intervenidas en las viviendas informales de la localidad, si se desea mejorar su seguridad y su comportamiento sísmico en caso de terremoto y diseñar los ajustes y acondicionamientos técnicos que deben realizarse para que estas cumplan con los requerimientos normativos que les permita a las familias tramitar una licencia de construcción y acceder a diferentes fuentes de financiación. A su vez, esto permitirá a las familias reforzar la estructura de sus viviendas para soportar condiciones sísmicas y a la ciudad iniciar un proceso de difusión de estos requerimientos de tal forma que se proteja a las familias, a su patrimonio y por lo tanto al patrimonio de la ciudad.

Adicionalmente si se considera la particular situación que se ha vivido en los últimos años, referente a las dificultades para la colocación de subsidios de mejoramiento de vivienda y la legalización de las construcciones informales en nuestras Ciudades, es posible expresar como uno de los objetivos del Estudio, derivado del fundamental ya mencionado, la consecución de una Herramienta para facilitar ó hacer viable el proceso de adjudicación y colocación de subsidios de mejoramiento de vivienda, razón por la cual el PROGRAMA PARA EL DESARROLLO INSTITUCIONAL Y COMUNITARIO DE CIUDAD BOLIVAR DIC-CB Y LA CAJA DE VIVIENDA POPULAR CVP, desarrollaron simultáneamente con el presente Estudio, los Proyectos que se relacionan a continuación junto con las Entidades y Organizaciones encargadas de su ejecución:

- Diseño de tres UPZ´s (Unidades de Planeación Zonal) de la localidad: Perdomo, Lucero y Tesoro - CIFA de la Universidad de los Andes.
- Capacitación de 350 maestros de obra de la localidad. - Corporación Minuto de Dios.
- Créditos para Saneamiento Básico en la localidad - Fondo de Crédito Programa DIC-CB y CVP.
- Software para Sistema de Información del suelo urbanizable y condiciones socio económicas de las familias en la localidad – Ing. Fernando Rodriguez.
- Sismo Resistencia: Estudio de Vulnerabilidad Sísmica y Reforzamiento Estructural de las construcciones típicas de treinta tipologías de vivienda, pertenecientes a las familias con ingresos inferiores a 2

SMLMV en la localidad - Ingeniería y Proyectos de Infraestructura I.P.I LTDA.
- Video Institucional para divulgación y capacitación, con el soporte del paquete de Proyectos desarrollados por el Programa DIC-CB y CVP.

Finalmente del enunciado de los Proyectos, se puede deducir el cubrimiento de los principales elementos de la problemática de producción de vivienda en la ciudad informal, como son: el inventario de suelo disponible, las condiciones socio económicas de las familias, la planeación y normatividad de la ciudad, la capacitación de las personas que la construyen y las alternativas de financiación, los cuales en conjunto permiten definir un propósito general del Programa DIC-CB y CVP, que contempla el estudio de propuestas de modificación en los procedimientos y tramites vigentes para la expedición de licencias de construcción y legalización de predios.

3. METODOLOGÍA

Para la realización del Estudio se desarrollaron las fases que se definen a continuación:
- Recopilación y Análisis de la información existente
- Exploración y Trabajo de Campo
- Definición de Tipologías
- Análisis de Vulnerabilidad Sísmica
- Reforzamiento Estructural
- Presupuestos
- Diseños Estructurales para Vivienda nueva
- Reforzamiento de casos especiales

3.1. RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

Se realizó la recopilación de la Información Existente en el PROGRAMA DIC-CB y CVP, así como en las entidades y organizaciones referenciadas por el Programa, que cuentan con amplia experiencia en el campo del Desarrollo del Estudio, entre las que se destacan: Fedevivienda, Barrio Taller, Curaduría Urbana No.3, Planeación Distrital y la Corporación Minuto de Dios, quienes compartieron con los profesionales de la Compañía, importantes antecedentes y documentación referente a su participación en Proyectos similares, los cuales complementaron la información socio cultural, geográfica y urbanística disponible, que con la información técnica aportada por la Compañía constituyeron la base para la definición de tipologías.
Para la definición tipológica básica de las viviendas que permitiera una clasificación inicial para las labores de exploración, se partió de la matriz propuesta en los términos de referencia del contrato, efectuando los ajustes necesarios en coordinación con la Interventoría del Estudio, para considerar solamente los parámetros relevantes para el trabajo de campo, los cuales en su orden son:
Condición Topográfica: Se mantiene el planteamiento inicial considerando las dos posibilidades establecidas, como LOTES PLANOS Y LOTES INCLINADOS. (2 casos).
Variable morfológica a nivel de loteo: De las labores de investigación realizadas y conceptuadas por el asesor en arquitectura y urbanística de la Compañía, junto con el análisis de las evaluaciones técnicas recopiladas, se puede establecer que las dimensiones representativas del frente de los lotes, son 6.00 m., 5.00 m. y 3.50 m., destacando que el mayor número de lotes pertenecen a la primera clasificación, seguidos del grupo de la tercera clasificación y con una mínima cantidad para el grupo de 5.00 m. En estas condiciones al combinar esta variable con la condición topográfica anterior, se tiene un total de seis casos.
Uso de la construcción: Como es evidente por la definición del Estudio, el uso primordial de las construcciones es de vivienda. Sin embargo, a partir de la información recopilada y de las condiciones evaluadas para establecer el muestreo de las viviendas, es claro que se presenta un cambio de uso ocasionado por la ubicación de las viviendas sobre ejes viales y/o por la búsqueda de un ingreso adicional con el arrendamiento de un local ó la creación de un negocio, determinando una destinación mixta de vivienda y comercio que implica una incidencia fundamental en la definición de los esquemas arquitectónicos y en la configuración estructural, estableciendo la necesidad de diferenciar el uso de la construcción como VIVIENDA Y VIVIENDA + COMERCIO, esencialmente en los lotes de 6.00 m. y 5.00 m., puesto que la incidencia en el lote de 3.50 m. no amerita la subdivisión.
En estas condiciones se definen diez casos básicos para el trabajo de campo a partir de variables de fácil determinación, las cuales definen una denominación que se aplicará a la totalidad de viviendas del muestreo inicial como se define en la Figura No.1.

En los aspectos normativo y urbanístico el Estudio esta apoyado en el Proyecto de Decreto que determina la normatividad a aplicar en aquellos sectores de desarrollo subnormal ó ilegal y que se encuentran en proceso de legalización con plano urbanístico aprobado y acto administrativo de legalización. Teniendo en cuenta que el aspecto normativo determina la posibilidad de las familias de tramitar licencias de construcción para intervenir sus viviendas en desarrollo progresivo, el Estudio contempla una propuesta de Desarrollo Arquitectónico y técnico progresivo, acorde con los condicionamientos normativos en lo referente a limitantes de altura, voladizos y ocupación de los lotes, considerando como determinante primaria las condiciones mínimas de habitabilidad de las viviendas. Adicionalmente, el Estudio contempla las alternativas de las familias para acceder a subsidios de mejoramiento, plan terraza (construcción en sitio propio) y créditos

del Programa DIC-CB y CVP, considerando las limitantes normativas para adjudicación, relacionadas con el avance de la construcción, número de pisos y topes presupuestales, pero estableciendo que las demás condiciones específicas de adjudicación de dichos subsidios y créditos, así como las condiciones propias de los actos de legalización de predios, NO serán una limitante para el Estudio, puesto que dichos condicionamientos limitarían el alcance global propuesto en el Proyecto y desde el punto de vista estructural no constituyen parámetros de relevancia en la evaluación de materiales de las construcciones, ni en el comportamiento de las viviendas bajo cargas de origen sísmico. A pesar de la anterior determinación es evidente la validez y representatividad de los resultados técnicos del Estudio, frente a las condiciones actuales de adjudicación y ante una eventual flexibilización de dichas condiciones establecidas en el marco legal vigente de la política de subsidios.

Tipologías Básicas para Trabajo de Campo

Topografía	Dim. Lote (m).	Uso	Denominación
Plano	6.00	Vivienda	P-6-V
		Viv. + Com.	P-6-VC
	5.00	Vivienda	P-5-V
		Viv. + Com.	P-5-VC
	3.50	Viv. ó Viv.+ Com.	P-3-V
Inclinado	6.00	Vivienda	I-6-V
		Viv. + Com.	I-6-VC
	5.00	Vivienda	I-5-V
		Viv. + Com.	I-5-VC
	3.50	Viv. ó Viv.+ Com.	I-3-V

Figura No 1: Tipologías Básicas

3.2. EXPLORACIÓN Y TRABAJO DE CAMPO

A partir de la información suministrada por las entidades y organizaciones mencionadas en la primera parte del informe, la cual se complementó con la obtenida por el personal de la Compañía en las visitas realizadas a la localidad durante las primeras semanas del Estudio y la referenciada por el Programa DIC-CB, la Caja de Vivienda Popular CVP y la Corporación Minuto de Dios, a través de los programas que adelantaban y del seguimiento que realizaban a los créditos adjudicados, fue posible identificar un total de ochenta y cinco viviendas distribuidas en la localidad, en las que se realizó una primera encuesta con el propósito de determinar las variables que definen las tipologías básicas ya descritas y por consiguiente su denominación, registrando adicionalmente su aplicación dentro de los objetivos del Estudio y en la medida de lo posible para las condiciones de la visita, los parámetros que hacían referencia al sistema estructural, condiciones de entrepiso, planteamiento de cubierta y la disponibilidad del propietario para permitir las labores de exploración y toma de muestras al interior de la vivienda.

En cada vivienda se realizó un registro fotográfico exterior y se consignaron algunas observaciones puntuales referentes a las condiciones existentes para la definición de cimentación y caracterización de suelos de fundación, mediante la excavación de apiques y ejecución de sondeos.

Después de revisar y analizar las ochenta y cinco viviendas del muestreo inicial, el registro fotográfico y las características especificas consignadas, se realizó una selección de viviendas distribuidas en diez sectores de la localidad, para conformar un grupo de aproximadamente treinta viviendas en las que se procedió con la ejecución de levantamientos arquitectónicos y estructurales que se estudiaron tomando como referencia las configuraciones desarrolladas por parte de la Compañía en la fase inicial del estudio.

Con el propósito de realizar los levantamientos arquitectónicos y estructurales, valorar las cargas actuantes en las construcciones, determinar las cuantías de acero en las secciones críticas de elementos estructurales preferiblemente

mediante ensayos no destructivos, determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales de construcción utilizados mediante ensayos destructivos y no destructivos, verificar y describir el tipo de cimentación y la solución estructural existente, y definir las características y propiedades de los suelos de cimentación, se realizaron las Labores de Exploración y Trabajo de Campo tendientes a recopilar la información estructural que permitiera realizar un análisis aproximado pero confiable, de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas seleccionadas, que representan las construcciones típicas objeto del presente Estudio. Estas labores permitieron establecer la Calidad y el Estado de las Construcciónes de manera cualitativa, factores determinantes para la evaluación de la resistencia efectiva de los elementos estructurales de las viviendas.
Dentro de las labores realizadas se destacan las siguientes:

- Levantamiento Arquitectónico
- Levantamiento Estructural
- Registro Fotográfico
- Investigación del Estado de la Estructura
- Investigación de la Ocurrencia de Asentamientos
- Investigación de la Ocurrencia de Eventos Extraordinarios que hayan podido afectar la Integridad de las Estructuras.
- Pruebas de Esclerómetro en Columnas, Vigas y Placas Macizas.
- Extracción de Núcleos en Columnas, Vigas y Placas Macizas para Ensayos de Resistencia y Profundidad de Carbonatación
- Determinación de cuantías de refuerzo en elementos estructurales representativos con FERROSCAN
- Extracción de Refuerzo para Ensayos de Tensión con medida de módulo de elasticidad y alargamiento
- Exploración del Suelo de Fundación – Inspección de Cimentación Existente.

Se realizó la Inspección de cada una de las estructuras seleccionadas con el propósito de establecer su Estado Actual y con base en dicha información fue posible emitir un primer concepto estructural general para el conjunto de las viviendas, a partir de las observaciones cualitativas consignadas en los formularios de evaluación:
- Columnas: En las viviendas se construyen columnas de sección 0.25 m. x 0.25 m. y 0.20 m. x 0.20 m., generalmente en el perímetro de la construcción, con concretos que presentan una gran dispersión en su resistencia y con una disposición de refuerzo longitudinal y transversal que no cumple con los requerimientos de la Norma. Es importante señalar que las columnas no siempre se funden contra los muros levantados en Bloque de Perforación horizontal y no cuentan con viga de amarre a nivel de placa aérea, que generalmente es una placa maciza y por tal razón no se configura un pórtico resistente a momentos. En estas condiciones las columnas se podrían incorporar a un sistema de Pórtico losa-columna ó a un sistema de muros confinados.
- Columnetas: Se construyen columnetas de sección 0.12 m. x 0.25 m. y 0.12 m. x 0.20 m., con concretos que presentan una gran dispersión en su resistencia y con una disposición de refuerzo transversal que no cumple con los requisitos de confinamiento de la Norma.
- Mampostería: Generalmente es de bloque de perforación horizontal de diferente procedencia, con morteros de resistencia variable y en algunos casos con deficiencias evidentes en los procedimientos de construcción.
- Placas Aéreas: Las placas de segundo piso son macizas y fundidas en sitio sobre los muros de carga, con espesores mínimos y concretos de mejor apariencia que los de columnas y columnetas, y con una sola malla de refuerzo en la parte inferior de la losa.
- Cimentación: Las cimentaciones generalmente son superficiales y se definen con zapatas bajo las columnas y columnetas, que pueden alcanzar el nivel de los estratos competentes, o con cimientos corridos que en algunos casos están apoyados sobre rellenos. Se construyen vigas de amarre con secciones mínimas, utilizando concretos de resistencia variable. Es importante destacar la presencia generalizada de muros de contención en piedra, para soportar los empujes de los rellenos de nivelación de lotes en topografía inclinada.

En algunas viviendas se detectó la ocurrencia de asentamientos causados por problemas de inestabilidad lateral en los suelos y rellenos superficiales.
En las evaluaciones preliminares de vulnerabilidad realizadas en algunas de las viviendas seleccionadas se pudo establecer que las viviendas presentan una vulnerabilidad en el rango de media a alta, por lo cual se hizo evidente la necesidad de intervenir el sistema estructural de las viviendas, a partir de los índices de sobreesfuerzo que se determinaron posteriormente en el análisis de vulnerabilidad sísmica objeto del Estudio.
Las pruebas y ensayos de materiales para cada una de las viviendas consideradas en las labores de exploración y trabajo de campo, fueron realizados por parte del CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES Y OBRAS CIVILES DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. y contemplaron además de los Ensayos mencionados la fabricación de muretes con la unidades de mampostería tomadas de las viviendas y con morteros de pega diseñados en laboratorio para condiciones similares a las establecidas en el trabajo de campo.
La ejecución de apiques para inspección de cimentaciones y caracterización de suelos de fundación, así como la realización de sondeos en las viviendas en las cuales se consideró necesario profundizar el nivel de exploración y los ensayos sobre las muestras de las viviendas seleccionadas, fueron realizados por parte de la firma LUIS FERNANDO OROZCO ROJAS & CIA. y contemplaron el análisis de los suelos de fundación estudiados en la localidad, al igual que las recomendaciones especificas de cimentación para los predios considerados en el trabajo de campo.

3.3 PARAMETROS PARA DEFINICIÓN DE TIPOLOGÍAS

Para establecer las tipologías definitivas del Estudio fue necesario considerar las variables que se presentan a continuación, en adición a las básicas de topografía, dimensión del lote y vocación de la construcción, que ya fueron mencionadas:

3.3.1 Geotecnia:

A continuación se presentan las conclusiones fundamentales del Estudio Geotécnico realizado:

- La mayoría de las construcciones tienen cimentaciones típicas conformadas por cimientos corridos y/o zapatas apoyadas sobre suelo natural, que se deben revisar en el caso de ampliaciones y en los casos críticos de apoyo sobre rellenos ó cimientos en ciclópeo no confinados, para garantizar la estabilidad de las viviendas.
- En general la capacidad de soporte de los suelos de fundación estudiados supera las 10 t/m2.
- El manejo de aguas es un factor importante para la estabilidad de las viviendas, encontrándose que la mayoría de las zonas en estudio requieren de la implementación de un manejo de aguas adecuado tanto para áreas extensas como en cada una de las viviendas y su alrededor.
- Gran parte del área de ciudad Bolívar presenta amenaza por fenómenos de remoción en masa y la mayor parte de las áreas estudiadas se encuentran localizadas en zonas clasificadas como de amenaza media y alta. La DPAE es la entidad encargada de zonificar los barrios con base en el nivel de amenaza e incluirlos en planes de medidas de mitigación ó reubicación de vivienda de acuerdo con estudios realizados para tal fin. Por esta razón dentro del presente Estudio se deben incluir los mapas de amenaza por remoción en masa y por inundación elaborados por la DPAE y adicionar las recomendaciones allí establecidas, a las recomendaciones propias del Estudio.
- Se aclara que las recomendaciones de los Estudio de Suelos son especificas de las viviendas y solamente se pueden tomar como base para cada zona, puesto que pueden presentarse casos atípicos que deben ser consultados para un concepto adicional en el área de geotecnia.

3.3.2 Microzonificación Sísmica:

Del Mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C., se puede establecer que la mayor parte del área correspondiente a la localidad de Ciudad Bolívar pertenece a la Zona 1 – Cerros, con una mínima participación de la Zona 2 – Piedemonte y la Zona 5 – Terrazas y Conos, para cada una de las cuales se define un Espectro de Diseño que determina la aceleración espectral en función del período de la edificación. Es importante señalar que las edificaciones objeto del presente Estudio pertenecen al rango de períodos menores a 0.25 seg. y por tal razón al revisar los tres espectros mencionados, se puede establecer que la aceleración de diseño presenta valores máximos entre 0.50g y 0.75g, constituyendo un parámetro fundamental para la definición de tipologías, en atención a su incidencia en el planteamiento de los reforzamientos y a los resultados de un análisis inicial que sugiere una mayor participación de la Zona 2 – Piedemonte en la localidad, así como una revisión de las afectaciones causadas por la topografía, las condiciones de inestabilidad lateral y el manejo de aguas, que ya se mencionaron ene el presente informe. Para reforzar éste planteamiento se transcriben a continuación la definición y las recomendaciones del estudio de microzonificación para cada una de las zonas mencionadas:

- Zona 1 – Cerros: La zona de los cerros se caracteriza por la presencia de formaciones rocosas de suelos con capacidad portante relativamente mayor. **Puede presentar amplificaciones locales de aceleración por efectos topográficos lo cual deberá evaluarse en cada caso especifico.** Existen zonas de inestabilidad por efectos de las pendientes, afectadas por lluvias, fuentes de aguas locales y sismos. Debe utilizarse el mapa de susceptibilidad al deslizamiento y requiere estudios especiales de amplificación y estabilidad para la construcción de obras.
- Zona 2 – Piedemonte: Esta conformada por la zona de transición entre los cerros y la zona plana y consta principalmente de depósitos coluviales y conos de deyección de materiales con una elevada capacidad portante en general, pero con estratigrafías heterogéneas con predominio de gravas, arenas, limos y depósitos ocasionales de arcillas de poco espesor.
- Zona 5 – Terrazas y Conos: Se presenta predominantemente en la zona sur de la ciudad y esta conformada por suelos arcillosos secos y preconsolidados de gran espesor , arenas o limos o combinaciones de ellos, pero con capacidad mayor que los depósitos de las zonas lacustres A y B. El límite con la zona lacustre no esta muy bien definido por lo cual se requiere de una mejor delimitación de la zona de transición.

Por las anteriores consideraciones se determinó la necesidad de realizar una verificación de los espectros de diseño para la localidad, acorde con el alcance del presente Estudio, en el cual a partir de la topografía y las condiciones geotécnicas de la localidad y tomando los acelerogramas correspondientes a la fuente frontal de la cordillera oriental o SISMO FRONTAL, y la fuente local o SISMO CERCANO, se pudo establecer una aproximación a la microzonificación de la localidad. A partir del Estudio preliminar de efectos locales realizado con la

asesoría del Ingeniero Edgar Rodríguez, fue posible establecer que las formas topográficas pueden incidir en la amplificación de la señal sísmica en algunos sectores de Ciudad Bolívar y por lo tanto se sugirió utilizar el espectro de diseño correspondiente a la Zona de Piedemonte, en los sectores delimitados en la zonificación de efectos locales que se presenta en la Figura No.2.

3.3.3 Materiales usados en las construcciones:

De la revisión del informe de laboratorio realizado por el asesor en materiales, en el cual se presentan los resultados específicos para los materiales de construcción ensayados de cada una de las viviendas seleccionadas, se extractan las siguientes conclusiones generales:

- Concretos: Después de revisar los resultados de compresión de núcleos y esclerómetro se puede establecer que si bien es cierto existe una gran dispersión en los resultados de columnas, columnetas y vigas de cimentación, se concluye en términos generales que las columnas y columnetas presentan resultados bajos, las vigas de cimentación presentan resultados variables que deberán revisarse en cada caso, mientras que las placas macizas aéreas presentan resultados aceptables que en su mayoría superaron los 210 kg/cm2.

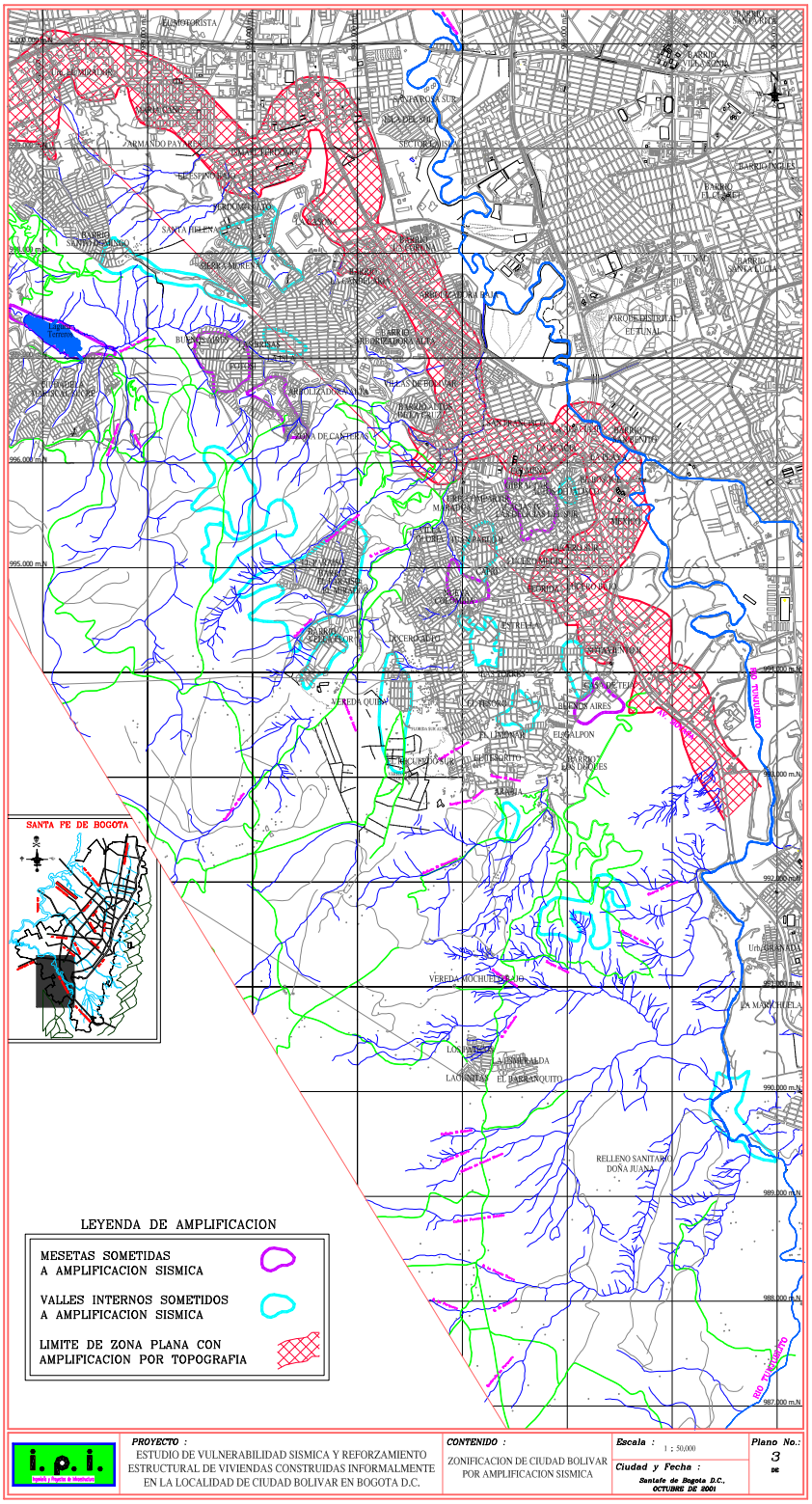


Figura No 2 - Mapa De Amplificación Por Efectos De Topografía

- Adicionalmente en las pruebas de carbonatación se pudo establecer que en algunas columnas y columnetas la profundidad de carbonatación prácticamente alcanza el nivel del refuerzo.
- Aceros: En las lecturas tomadas con FERROSCAN se pudo establecer y/o confirmar los refuerzos en las secciones críticas de elementos estructurales representativos, para efectos de la modelación de las condiciones actuales de las viviendas y en los aceros ensayados que por lo general corresponden a las columnas y columnetas de confinamiento, se puede concluir que se cumple con la resistencia prevista de 4200 kg/cm2.
- Mampostería: De los ensayos de compresión en unidades de mampostería se puede concluir que los bloques de perforación horizontal utilizados generalmente en las viviendas, alcanzaron resistencias superiores a los 60 kg/cm2 y los muretes fabricados con dichos bloques y con morteros de pega similares a los inspeccionados en las viviendas, con resistencias del orden de 75 kg/cm2, permitieron establecer una resistencia aproximada de 35 kg/cm2. para la mampostería.

3.3.4 Aspecto Arquitectónico y Urbanístico:

En desarrollo del Proyecto se realizaron diversos planteamientos arquitectónicos con el propósito de definir un marco de referencia que permitiera establecer las tipologías definitivas del Estudio y avanzar en la modelación y análisis de las estructuras de las viviendas. Considerando que la prioridad se centraba justamente en la confirmación de tipologías propuestas y la determinación de los reforzamientos estructurales para cada una de ellas, a continuación se relacionan los planteamientos arquitectónicos existentes, hasta llegar a la situación en la cual de acuerdo con los términos del Estudio se establecieron desarrollos arquitectónicos que cumplían con condiciones mínimas de habitabilidad, premisa básica que a la luz de la evaluación y diagnóstico de las condiciones arquitectónicas y urbanísticas de las viviendas, establecía importantes modificaciones en las distribuciones de las viviendas y por consiguiente en las alternativas de reforzamiento y en los presupuestos de obra:

- Distribuciones Arquitectónicas Preliminares: Se desarrollaron a partir de la recopilación de información inicial y contemplaban las tipologías básicas definidas, como punto de partida para la modelación estructural. Al representar las condiciones más frecuentes en las viviendas, es evidente que no cumplen con condiciones mínimas de habitabilidad.
- Levantamientos Arquitectónicos: Contemplan los levantamientos de las viviendas seleccionadas para la realización de las labores de exploración y trabajo de campo, y fueron la base para la evaluación y diagnostico de las condiciones arquitectónicas y urbanísticas de las viviendas, que establecieron la necesidad de nuevos planteamientos que partieran de la base del cumplimiento de condiciones mínimas de habitabilidad.
- Tipologías que cumplían con condiciones mínimas de habitabilidad: Recogían los dos planteamientos anteriores al tomar como referencia las distribuciones preliminares y complementarlas con las condiciones reales e individuales de las viviendas, para terminar en un nuevo planteamiento de “tipologías” que por su generalidad no representa con precisión los casos particulares seleccionados. Surgían entonces interrogantes como: la solución arquitectónica y estructural única para cada vivienda seleccionada, la representatividad de la tipología para solucionar grupos en los cuales no se percibe uniformidad, la enorme incidencia en los presupuestos de la redistribución arquitectónica para cumplir condiciones de habitabilidad y la necesidad de plantear tipologías para vivienda nueva que conjuguen eficientemente los requerimientos y la experiencia acumulada en el Estudio.
- Tipologías para vivienda nueva: Surgieron del planteamiento anterior para brindar una solución optima y para fijar un punto de referencia que permitiera acercar los desarrollos existentes en las viviendas a las condiciones de habitabilidad requeridas y por lo tanto a la solución estructural más eficiente técnica y económicamente. Presenta el inconveniente de no representar fielmente las condiciones de “mejoramiento” en los términos del Estudio, al ubicarse en el ámbito del esquema de “sitio propio”.

Los anteriores planteamientos fueron revisados adicionalmente con la modelación de las soluciones estructurales, hasta llegar a establecer la necesidad de revisar dentro de las premisas del Proyecto, la consideración del cumplimiento de las condiciones de habitabilidad, lo cual se realizó en coordinación con el Proyecto de UPZ´s de la Universidad de los Andes, como se presenta a continuación.

3.3.5 Integración con Proyecto de UPZ´s

La información consignada en el presente capítulo, referente a la revisión de parámetros básicos y al planteamiento de variables adicionales, con el propósito de establecer las tipologías definitivas del Estudio, se presentó en una reunión de integración con los demás proyectos que adelantaba simultáneamente el PROGRAMA DIC-CB y CVP y en especial con el Proyecto de UPZ´s que desarrolló la Universidad de los Andes, estableciendo importantes conclusiones para la orientación de la parte final del Estudio, entre las que se debe destacar la premisa básica de dicho Proyecto de NO EXIGIR EL CUMPLIMIENTO DE CONDICIONES DE HABITABILIDAD EN LAS CONSTRUCCIONES EXISTENTES QUE SE ENCUENTRAN A NIVEL DE PRIMER PISO, DANDO PRIORIDAD A LA VULNERABILIDAD SÍSMICA Y POR CONSIGUIENTE AL REFORZAMIENTO

ESTRUCTURAL, VERIFICANDO EL CUMPLIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE HABITABILIDAD Y SISMO RESISTENCIA PARA EL DESARROLLO PROGRESIVO DEL SEGUNDO NIVEL DE LA VIVIENDA.
En estas condiciones y teniendo en cuenta los planteamientos ya mencionados en el presente capítulo, es evidente que el enfoque del Estudio se precisa con reforzamientos que representen los elementos comunes de las construcciones y que al no entrar a modificar los planteamientos arquitectónicos existentes para cumplir condiciones de habitabilidad, nos permite establecer las tipologías definitivas, las cuales se complementaron con diseños estructurales para construcciones nuevas y con el reforzamiento de los casos especiales que se identificaron en las viviendas seleccionadas y que no están representados dentro de los esquemas típicos del Estudio.
Las tipologías definitivas se presentan en la Figura No. 3.

3.4 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

El análisis de vulnerabilidad sísmica de las construcciones contempló los siguientes aspectos:

- Calificación de la Calidad del Diseño y Construcción.
- Calificación del Estado de Mantenimiento y Conservación.
- Evaluación de la Estructura Existente.
  - Movimientos Sísmicos de Diseño.
  - Clasificación del Sistema Estructural.
  - Coeficiente de Capacidad de Disipación de Energía.
  - Fuerzas Sísmicas.
  - Cargas diferentes a solicitaciones sísmicas.
  - Análisis Estructural.
  - Determinación de la Resistencia Efectiva de la Estructura.
  - Indices de Sobreesfuerzo.
  - Indices de Flexibilidad.
  - Secuencia de Falla.

3.4.1 Calificación de la Calidad del Diseño y Construcción.

La Calidad del Diseño y Construcción se define en función de la mejor tecnología existente en la época en que se construyó la Edificación, considerando adicionalmente el Potencial de mal comportamiento que pueda tener la Edificación debido a una Distribución Irregular de masa o rigidez, o a la ausencia de elementos necesarios para garantizar un buen comportamiento de ella ante las distintas solicitaciones. Las construcciones objeto del presente Estudio no cuentan con Diseños Estructurales específicos y por lo tanto son el resultado de experiencias adquiridas en el desarrollo de obras de diversa magnitud en la ciudad y de las costumbres constructivas que se han manejado en la zona por muchos años. En esta forma ante las solicitaciones de fuerzas horizontales y los requerimientos de construcción para Zona de Amenaza Sísmica Intermedia, el Potencial de mal comportamiento de la Estructura por la ausencia de elementos que garanticen un buen comportamiento cobra importancia y por tal razón la Calificación del Diseño y Construcción de la Edificación se establece como REGULAR y el coeficiente de reducción de resistencia $\phi c = 0.7$.

3.4.2 Calificación del Estado de Mantenimiento y Conservación.

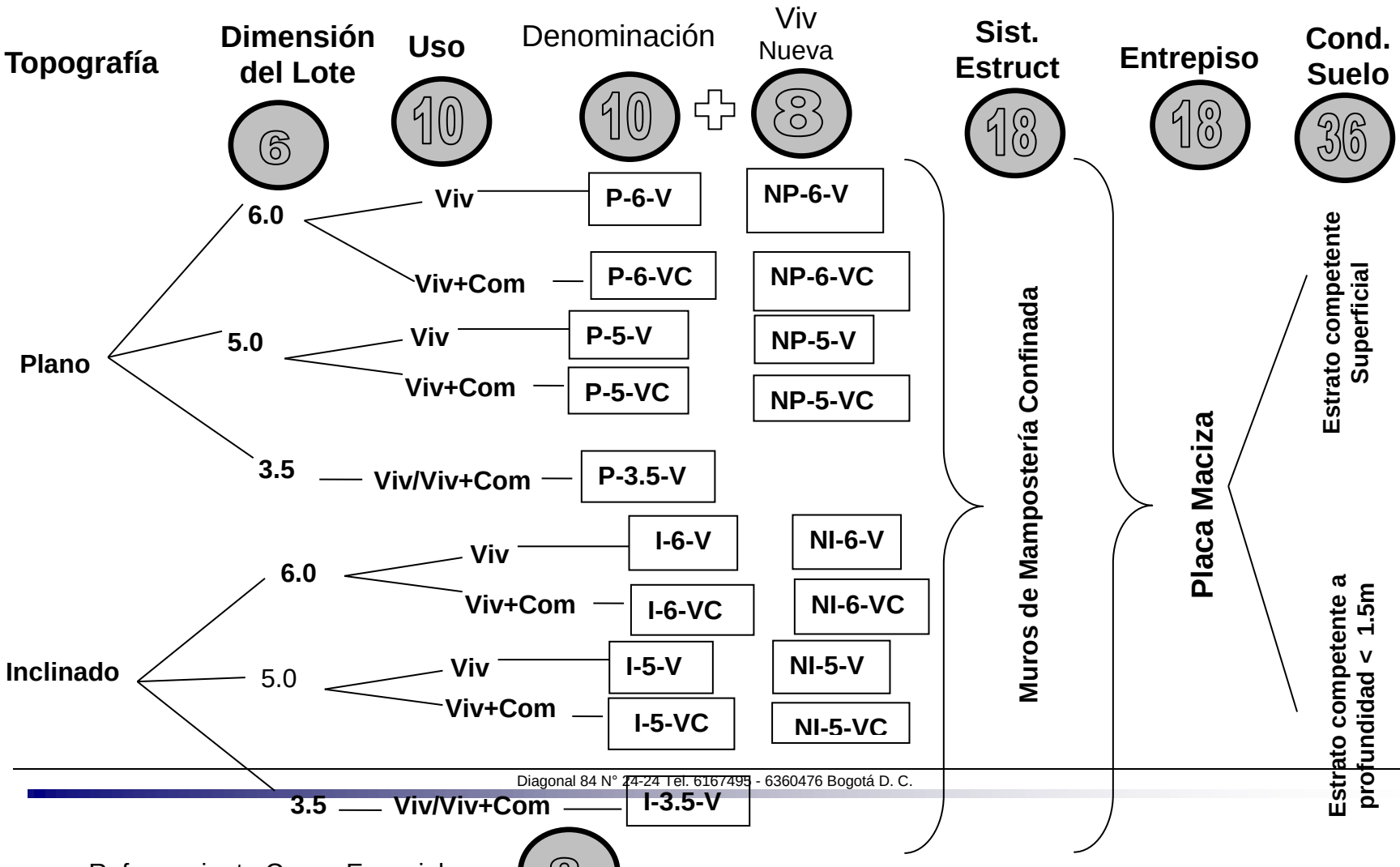
A partir de la evaluación realizada en la Exploración y Trabajo de Campo, referente al Estado de las Estructuras y la Ocurrencia de eventos extraordinarios que hayan podido afectar la Integridad de la Estructura, así como a las Inspecciones y Ensayos realizados en los materiales de la Construcción, se establece que en general la Calificación del Estado de Mantenimiento y Conservación de las Estructuras es REGULAR y el coeficiente de reducción de resistencia $\phi e = 0.7$.

3.4.3 Evaluación de la Estructura Existente.

Teniendo en cuenta los efectos de amplificación sísmica evaluados para la localidad, se tomó como espectro de diseño para la evaluación estructural de las viviendas, el correspondiente a la Zona 2B: Piedemonte del Sur.
De acuerdo con el título A.3 de la NSR-98, el sistema estructural predominante en la Localidad es clasificado como *Muros de Mampostería Confinada (DMO-Capacidad Moderada de Disipación de Energía)*, con un coeficiente de disipación de energía Ro'=1.5. Sin embargo en atención a que los requerimientos de la NSR-98 para éste sistema, no se cumplen a cabalidad en las construcciones objeto del presente estudio, el valor del coeficiente de disipación de energía establecido para las estructuras de la localidad fue de Ro'=1.0.
Mediante la utilización de los programas de computador SAP-2000n y RCBE, se procedió a modelar las estructuras tridimensionales para cada una de las viviendas, considerando las condiciones finales del desarrollo progresivo, las cuales fueron procesadas con las cargas gravitacionales y de origen sísmico, así como con las combinaciones establecidas en las Normas NSR-98, para determinar las solicitaciones equivalentes en cada uno de los elementos estructurales.
Posteriormente se determinó la resistencia existente de los elementos estructurales, la cual se define como el nivel de fuerza o esfuerzo al cual el elemento deja de responder en el rango elástico, o el nivel al cual los materiales frágiles llegan a su resistencia máxima, o el nivel al cual los materiales dúctiles inician su fluencia. Esta resistencia se debe afectar por los coeficientes de reducción de resistencia por Calidad del Diseño y Construcción (ϕc), y Estado de Conservación y Mantenimiento (ϕe), para determinar la resistencia efectiva de los elementos estructurales.

Los índices de sobreesfuerzo de los elementos, que se definen como el cociente entre las solicitaciones equivalentes determinadas y la resistencia efectiva, se evaluaron en cada una de las viviendas consideradas, encontrando que los mayores índices se presentan por la acción del cortante en la mampostería y en las columnetas. El índice de sobreesfuerzo de la estructura es el mayor valor de los índices de sobre-esfuerzo individuales, tomando como consideración su importancia dentro de la resistencia

TIPOLOGÍAS DEFINITIVAS DE REFORZAMIENTOS TOTAL 36 CASOS + 8 CASOS ESP.



general de la estructura. Para los grupos evaluadas, los valores obtenidos se muestran en la figura 4:

GRUPO	INDICE DE SOBREESFUERZO
P-3.5-V	5.140
P-5.0-V	6.210
P-5.0-VC	8.380
P-6.0-V	11.630
P-6.0-VC	12.270

Figura No 4 Índices de Sobre esfuerzo

También se calcularon los desplazamientos relativos de los pisos que al compararlos con sus alturas, dan como resultado las derivas de los pisos, las cuales a su vez al ser divididas por la deriva permitida por la NSR-98 (0.50% de la altura del piso), permiten establecer los índices de flexibilidad de los pisos y por consiguiente el índice de flexibilidad de la estructura, expresado como el mayor de los índices obtenidos. Para las viviendas evaluadas, en las cuales las limitantes normativas y los topes presupuestales del desarrollo progresivo, plantean dos pisos y cubierta liviana con el sistema estructural de muros confinados, la flexibilidad no se constituye en factor determinante.
Tomando como referencia los valores de índices de sobre-esfuerzo calculados, se formuló una hipótesis de secuencia de falla de las viviendas con base en la línea de menor resistencia, identificando la incidencia de la falla progresiva de los elementos, iniciando con aquellos que presentaban un mayor índice de sobre-esfuerzo.

Teniendo en cuenta que los índices de sobre-esfuerzo generales para las estructuras evaluadas son mayores que la unidad, se concluyó que era necesario intervenir el Sistema Estructural de las Viviendas. La intervención del sistema estructural (Reforzamiento) debe realizarse de tal manera que el índice de sobre-esfuerzo y el índice de flexibilidad calculados para las viviendas incluyendo las modificaciones, sean inferiores a la unidad.

3.5 REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

En la figura No 5 se muestra el esquema de las viviendas consideradas en el Estudio, las cuales se deben ser intervenidas para suplir las deficiencias identificadas.
Dado que el Sistema Estructural de la edificación existente es el de Muros de Mampostería Confinada, con deficiencias en la Calidad del Diseño y Construcción, se determina que se requiere su intervención para garantizar el cumplimiento de índices de sobreesfuerzo inferiores a la unidad, con un sistema estructural que corrija todas las irregularidades existentes y que proporcione la capacidad de disipación de energía establecida por la Norma NSR-98, para la zona de amenaza sísmica intermedia y considerando el espectro de diseño definido para ésta área en el estudio de microzonificación de Bogotá D.C. y los efectos de amplificación local evaluados.

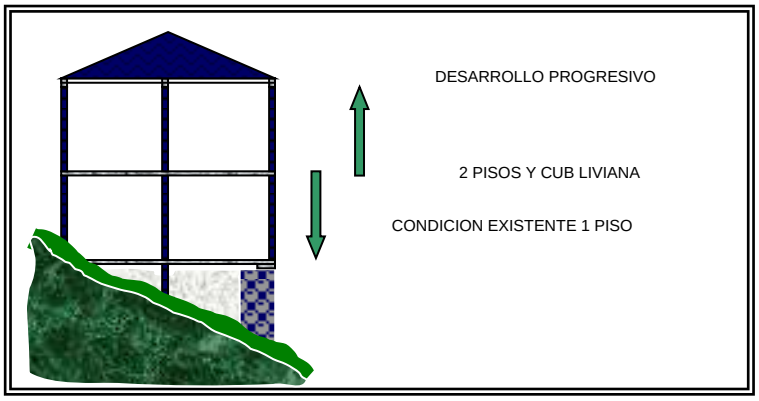


Figura No 5 Esquema de viviendas y tipo de construcciones

Considerando que la intervención requerida compromete los elementos existentes, para los diferentes grupos estudiados se plantean diferentes categorías de reforzamiento en las que se establece un nivel de intervención que depende de la valoración de la cimentación, la configuración estructural, la calidad de materiales y procedimientos constructivos y del estado general de la vivienda. Según el nivel de intervención, desde la cimentación hasta la placa de segundo piso, se plantean soluciones que van desde la submuración e implementación de vigas en concreto reforzado en la cimentación y muros existentes, hasta la demolición de las columnetas y los muros que no cuentan con la resistencia adecuada, sin modificar drásticamente la distribución arquitectónica y la configuración de la construcción en planta y elevación. A continuación se definen las actividades que se contemplan dentro de los reforzamientos para cada una de la tipologías:

1. **Cimentación:** dependiendo de las condiciones de la cimentación y de la profundidad del estrato competente, se puede dividir en:

   Submuración: Intervención de la cimentación con concreto ciclópeo bajo la estructura existente, hasta alcanzar el estrato competente a una profundidad no mayor a 1.50 m.
   Recalce de vigas: para complementar la sección de las vigas de cimentación existentes en caso de que las condiciones de los materiales y la calidad de la construcción así lo requieran.
   Construcción de vigas: en los casos en que no existen vigas de cimentación o que sus condiciones hacen necesaria su reconstrucción.
   Anclaje de Refuerzo: para los revestimientos estructurales que se prevén a lo largo de los muros de la estructura y cuando se requiere implementar nuevos elementos de confinamiento.

2. **Mampostería Confinada:** dependiendo de la calidad de los materiales de construcción y su estado general se puede dividir en:

   Revestimiento Estructural de Muros: en todos los casos para garantizar la rigidez de la estructuras ante solicitaciones sísmicas.
   Reconstrucción de Columnetas de confinamiento: en todos los casos para garantizar la calidad del concreto especificada y los confinamientos establecidos en las Normas NSR-98.
   Reconstrucción de Muros: dependiendo del estado general de las pegas y las unidades de mampostería que conforman el muro. El nuevo muro debe cumplir con las especificaciones de los materiales para reforzamiento.
   Pórtico de Fachada: en todos los casos para garantizar la estabilidad de la estructura ante cargas gravitacionales y debe cumplir con las especificaciones de los materiales para reforzamiento.

3. **Placa de Segundo Piso:** dependiendo de la configuración estructural de los voladizos y de la implementación de elementos de borde de la placa se divide en:

   Reconstrucción de tramos de placa: dependiendo de el estado de la placa maciza de entrepiso en los tramos en que se encuentre deteriorada.
   Reforzamiento de Voladizos: garantizar que en los voladizos se disponga de refuerzo superior para absorber el momento negativo.
   Construcción de elementos de borde: garantizar que en los bordes de placa se disponga de elementos de borde que cpermitan controlar las deflexiones de la placa.

4. **Desarrollo Progresivo:** construcción de la segunda etapa de la vivienda que se divide en tres etapas : construcción de mampostería en segundo piso, cubierta y detalles de elementos estructurales y no estructurales. En cada etapa se desarrolla el siguiente procedimiento:

   Mampostería Confinada Segundo Piso:
   - Anclaje de refuerzos para columnetas en donde se requiera
   - Continuación de muros estructurales de primer piso, levantando la mampostería de acuerdo con las especificaciones técnicas del Estudio.
   - Armado de refuerzo vertical y flejes de confinamiento
   - Tratamiento con epóxico de superficies de concreto con diferentes edades de fraguado
   - Fundida de columnetas de confinamiento
   - Armado y fundida de marcos para ventanas

   Cubiertas:
   - Armado de refuerzo longitudinal y flejes de vigas colectoras
   - Fundida de vigas colectoras de cubierta

- Construcción de muros de culata según especificaciones de mampostería
- Armado y fundida de cintas de remate sobre muros de culata
- Colocación y fijación para correas de apoyo de teja

Detalles Elementos Estructurales y no Estructurales

- Construcción de elementos estructurales adicionales y anclajes para elementos no estructurales cuando se requieran, de acuerdo con las especificaciones del Estudio.

El diseño de los Elementos para el Reforzamiento se hace teniendo en cuenta todos los requisitos consignados en los Títulos C y D de la NSR-98.

3.6 PRESUPUESTOS

Se presentan los presupuestos de costos directos para cada una de las tipologías, contemplando todas las posibilidades de reforzamiento para las actividades a realizar en cimentación, mampostería confinada de primer piso y placa de segundo piso, así como las actividades del desarrollo progresivo que se clasifican como mampostería confinada de segundo piso, cubierta y detalles de elementos estructurales y no estructurales. En el caso de cimentación, se considera desde la opción más favorable que se constituye cuando la intervención solamente requiere el anclaje de revestimientos estructurales y algunas columnetas de confinamiento, hasta la situación más compleja en que además de anclajes se hace necesaria la submuración, recalce de vigas y construcción de nuevos tramos de vigas.

De ésta manera los presupuestos se hacen dinámicos y permiten su manipulación para ajustarse a las condiciones de cada vivienda, mostrando resultados parciales y acumulados para las diferentes combinaciones, hasta los resultados totales con índices por metro cuadrado de construcción, que de acuerdo con los términos del Estudio, en la mayoría de los casos representan la solución de vivienda para dos grupos familiares y por consiguiente el acceso a dos subsidios de vivienda.

Los presupuestos han sido elaborados con una base de datos que se sustenta en materiales con precios de depósito y mano de obra con precios verificados en entidades que operan en el sector, como es el caso de FEDEVIVIENDA. Las figuras No 6 y 7 muestran los resultados de los presupuestos

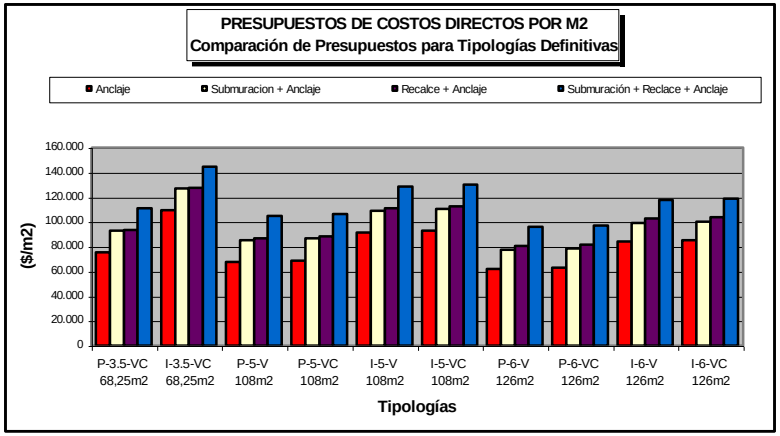


Figura No 6. Presupuestos de costos directos

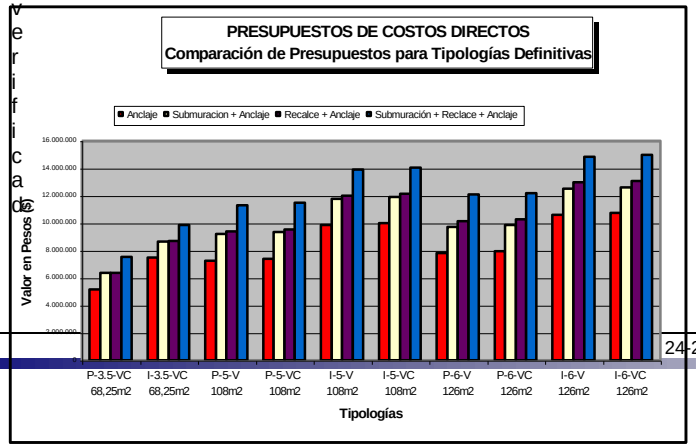


Figura No 7. Presupuestos de costos directos por metro cuadrado de construcción

3.7 DISEÑO DE VIVIENDAS NUEVAS PARA LOTES DE 6.0X12.0 Y 5.0X12.0

Alternativamente para los casos en los cuales el estado y la calidad de la vivienda sean muy deficientes, se proponen diseños nuevos, en los que se plantean diseños arquitectónicos que cumplen con condiciones de habitabilidad y cuya estructura cumple todos los requisitos sísmicos consignados en la NSR-98. En estos diseños se contemplan lotes de 5.0x12.0 y 6.0 x12.0, para usos de vivienda y vivienda + comercio y en topografías planas e inclinadas. De esta forma se presentan 8 diseños nuevos que son:

Lote 5.0 x 12.0 para vivienda en topografía plana
Lote 5.0 x 12.0 para vivienda + comercio en topografía plana
Lote 5.0 x 12.0 para vivienda en topografía inclinada
Lote 5.0 x 12.0 para vivienda + comercio en topografía inclinada
Lote 6.0 x 12.0 para vivienda en topografía plana
Lote 6.0 x 12.0 para vivienda + comercio en topografía plana
Lote 6.0 x 12.0 para vivienda en topografía inclinada
Lote 6.0 x 12.0 para vivienda + comercio en topografía inclinada

En la Figura No 8 se presentan los presupuestos para las viviendas nuevas.

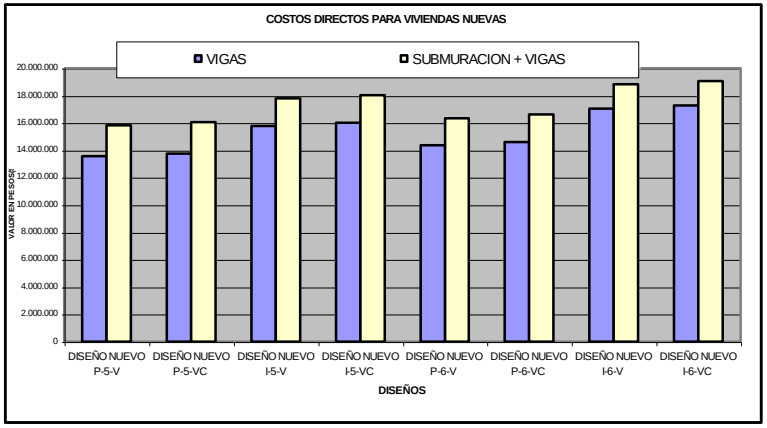


Figura No 8. Costos directos para viviendas nuevas.

3.8 REFORZAMIENTO DE CASOS PARTICULARES PRESELECCIONADOS EN EL TRABAJO DE CAMPO.

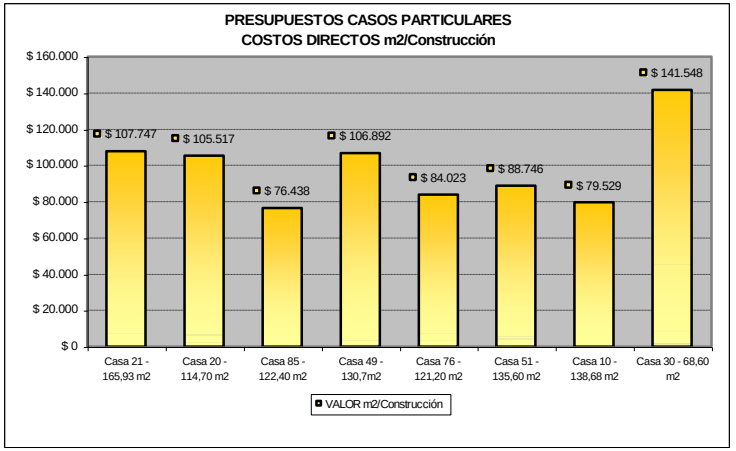


Figura No 9 Presupuestos casos particulares.

Adicionalmente al reforzamiento tipológico y a los diseños nuevos mostrados en los capítulos anteriores, se presenta la solución particular de 8 viviendas preseleccionadas para las labores de campo realizadas en la Localidad de Ciudad Bolívar. En estos reforzamientos se plantean soluciones únicas para cada una de las viviendas y que no aplican dentro de los reforzamientos tipológicos mostrados anteriormente. En la figura No 9 se indican los resultados de los costos directos para los casos particulares.

4. CONCLUSIONES

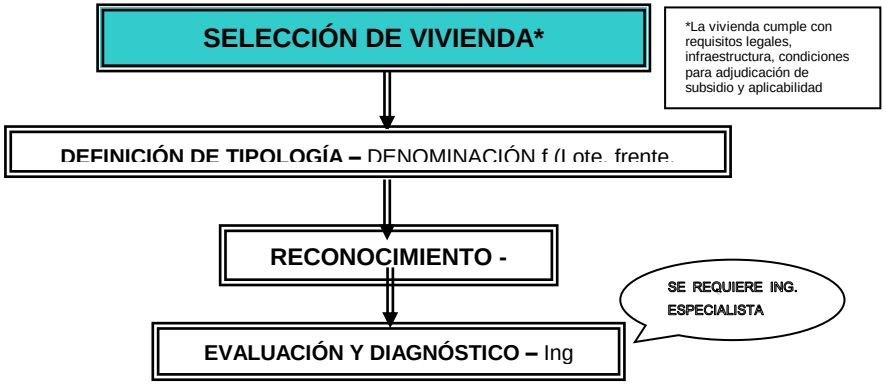
Dentro de las grandes limitaciones existentes, para generalizar soluciones de reforzamiento estructural en viviendas construidas informalmente en la localidad, el presente Estudio después de identificar las deficiencias en su concepción, diseño y construcción, establece los procedimientos técnicos que deben realizarse para que las viviendas cumplan con los requerimientos normativos,

permitiendo a las familias tramitar una licencia de construcción y acceder a diferentes fuentes de financiación.

Para la definición de los procedimientos técnicos de las intervenciones, se han agrupado los elementos comunes de las construcciones en tipologías, destacando la consideración básica de que el reforzamiento de cada vivienda es individual y específico, razón por la cual se debe realizar una labor previa de evaluación y diagnóstico por parte un Ingeniero Especialista, que permita establecer el nivel de la intervención, dentro de las posibilidades que se contemplan para cada tipología, tal como se expresa en la metodología propuesta en la figura No 10.

En la metodología propuesta se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Se debe realizar una evaluación primaria de la vivienda por parte de la entidad competente (ONG, Caja de Compensación, ..), en la que se revisen las condiciones legales, de infraestructura de servicios, de adjudicación de subsidios y aplicabilidad al programa de mejoramiento.
- Para la selección de la vivienda, se debe limitar el avance de la construcción a un primer piso consolidado y placa de segundo piso.
- El desarrollo progresivo de la vivienda se debe limitar a dos pisos con cubierta liviana.
- La vivienda debe ser localizada previamente en los mapas de amenaza por remoción en masa e inundación de la DPAE.
- La vivienda debe ser clasificada inicialmente en función de la topografía del lote (**P**lano ó **I**nclinado), dimensión del frente del lote (**6**.00, **5**.00 ó **3**.50) y vocación de la construcción (**V**ivienda ó Vivienda-Comercio **VC**).
- En cada vivienda se recomienda solicitar la ejecución de dos o tres apiques por parte del propietario, para efectos de la evaluación de suelos y cimentación.



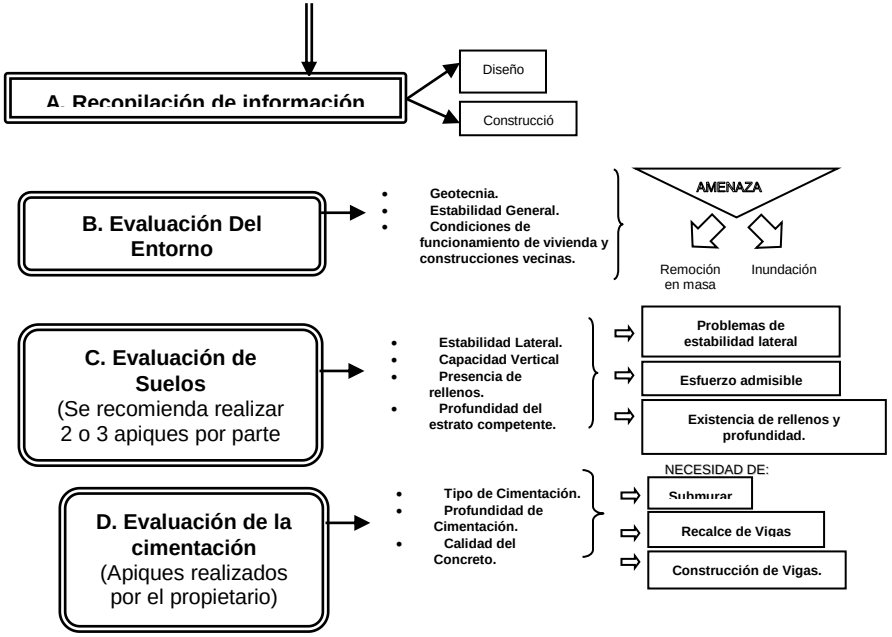
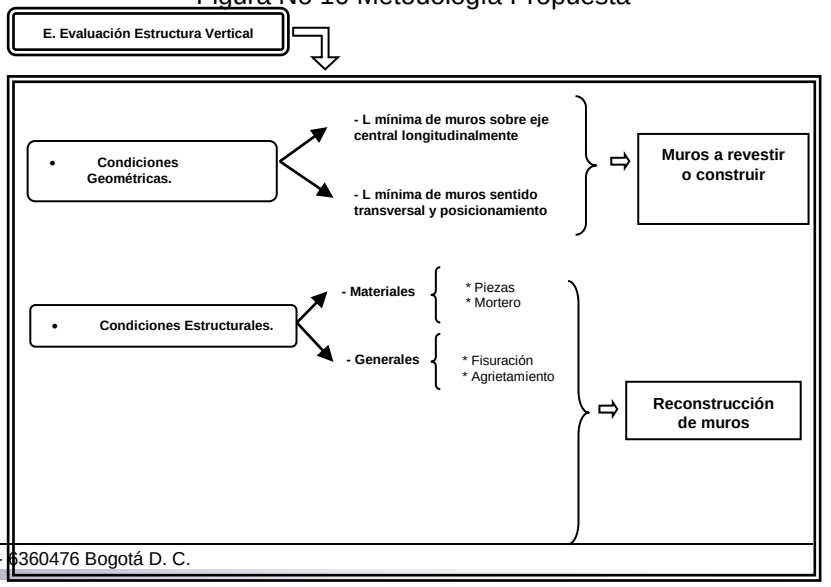
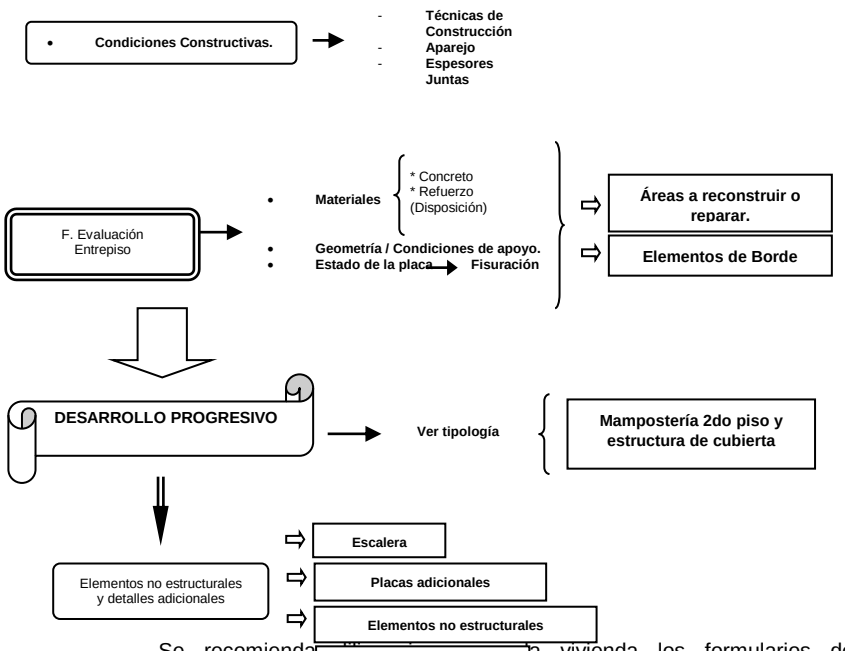


Figura No 10 Metodología Propuesta





- Se recomienda [illegible] vivienda los formularios de levantamiento a[illegible] y evaluación estructural utilizados en desarrollo del Estudio.

Dentro de las deficiencias de concepción, diseño y construcción identificadas en las viviendas de la localidad, es posible referenciar las siguientes:

- Se pretende construir estructuras aporticadas, que evidentemente no cuentan con los elementos estructurales necesarios y que para las características de las viviendas (limitantes normativas en planta y elevación, requerimientos estructurales y procedimientos constructivos), definitivamente no son el sistema adecuado.
- No existe conciencia sísmica en la población, como tampoco completa claridad, ni credibilidad en el sistema estructural de muros confinados, que es el adecuado para éste tipo de viviendas. En estas condiciones se inician las obras sin considerar límites en el número de pisos, levantando inicialmente las columnas para construir posteriormente los muros.
- La sana costumbre de utilizar ladrillo macizo para los muros del primer piso, ha sido modificada para llegar a establecer la situación común, del uso de bloque de perforación horizontal en todos los muros de la vivienda.
- Las columnas ó columnetas de confinamiento no cumplen con los requisitos de despiece, presentan deficiencias en la calidad del concreto por las condiciones de mezcla y vaciado, y por lo general se conciben fundamentalmente en el perímetro de la construcción.
- No se atiende el principio fundamental de contar con muros estructurales en los dos sentidos principales de la construcción, configurando estructuras muy vulnerables en el sentido transversal.
- Para nivelar los lotes en terrenos inclinados, se construyen muros de contención en piedra, que no garantizan la estabilidad de la construcción.
- En algunos casos se construyen cimentaciones sobre los rellenos superficiales.
- No existe claridad a cerca de la disposición del refuerzo superior, ni de los elementos de borde en las placas aéreas de segundo piso.
- Se desconoce la necesidad de implementar elementos de confinamiento y cintas de remate, para la definición estructural de cubiertas livianas.
- No se reconoce la importancia de la calidad de los materiales y las especificaciones técnicas para la construcción de la mampostería.
- Se requiere ilustración para reconocer la importancia y el funcionamiento de la estructura de fachada, así como la afectación producida por la eliminación de los muros de apoyo, cuando se plantea la destinación comercial en la parte frontal de la vivienda.

Del análisis de los resultados del Estudio se debe establecer que el cumplimiento de las Normas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98, no conduce a una solicitud de flexibilización de la misma, para la construcción de éste tipo de viviendas y que por el contrario, el sobre costo que puede implicar la sismo resistencia, es mínimo si la construcción se realiza correctamente y es totalmente justificado, si se considera lo que significa la seguridad de las personas en caso de terremoto y la protección de su patrimonio, que en la mayoría de los casos es la misma edificación. Esto quiere decir que con el dinero que las familias invierten en desarrollar éste tipo de construcciones, que de acuerdo con los resultados del Estudio, son viviendas clasificadas como medianamente ó altamente vulnerables, es posible adelantar la construcción de una vivienda sismo resistente.

De la comparación de los presupuestos de costos directos del Estudio, se concluye que para las condiciones específicas de las viviendas evaluadas, la alternativa de reforzamiento estructural es más económica que la posibilidad de su reconstrucción.

5. REFERENCIAS

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS: *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98,* Ley 400 de 1997 y Decretos Reglamentarios.
- Ingeominas, Universidad de los Andes*: Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C.,* Decreto 074 de 2001.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS: *Manual de especificaciones mínimas para viviendas de uno y dos pisos,* Norma NSR-98, Capitulo E, Boletín Técnico No.52, Febrero de 1999.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS: *Comportamiento Sísmico de Muros de Mampostería Confinada,* Informe Final Universidad de los Andes, Boletín Técnico No.45, Marzo de 1994.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS: *Reparación y Refuerzo de Estructuras de concreto y Mampostería,* Boletín Técnico No.42, Noviembre de 1991.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, Fondo para la Reconstrucción y Desarrollo Social del Eje Cafetero FOREC: *Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería,* 2001.
- Corporación de Vivienda y Desarrollo Social CORVIDE, Municipio de Medellín: *MANUAL DE SISMO RESISTENCIA, Elementos de Diseño, Construcción y Rehabilitación de Vivienda en 1 y 2 pisos,* 1999.
- Federal Emergency Management Agency FEMA: *Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings, Basic Procedures Manual,* FEMA 3O6/May 1999.
- Federal Emergency Management Agency FEMA: *Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings, Technical Resources,* FEMA 3O7/May 1999.
- Federal Emergency Management Agency FEMA: *Repair of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings,* FEMA 3O8/May 1999.
- Avendaño Fabio, Carvajalino Hernando: *Espacialidad de la Periferia – Constitución Espacial de la Vivienda Popular Espontánea,* Ministerio de Cultura, Diciembre de 2000.
- Amrhein James E.: *Reinforced Masonry Engineering Handbook, Clay and Concrete Masonry,* Fifth Edition Updated.
- Narendra Taly: *Design of Reinforced Masonry Structures*, 2001.