

ADECUACIÓN ESTRUCTURAL PARA CONJUNTO RESIDENCIAL EN LA CIUDAD DE BARQUISIMETO VENEZUELA

STRUCTURAL ADEQUACY FOR RESIDENTIAL COMPLEX IN BARQUISIMETO CITY.VENEZUELA

J. Yépez¹, M. Y. Dikdan², D. Avon³, R. Rojas⁴

Recibido 06/05/2016: Aprobado: 21/10/2016

RESUMEN

Se presenta el proyecto de análisis y reforzamiento estructural para un urbanismo que consta de 31 viviendas con evidentes señales de fallas, construidas en la ciudad de Barquisimeto en el año 2008 sobre un terreno no consolidado. Los resultados del análisis demostraron insuficiente capacidad de respuesta ante las sollicitaciones de servicio, alta vulnerabilidad sísmica y deficiencias en la cantidad y distribución del acero de refuerzo. Se planteó el reforzamiento de la superestructura mediante la construcción de muros tipo panel, y micro pilotes y/o losa maciza armada para la infraestructura, utilizando valores de resistencia del concreto obtenidos en los ensayos destructivos, parámetros del suelo proveniente del estudio geotécnico y los asentamientos diferenciales derivados de la nivelación topográfica.

Palabras clave: Vulnerabilidad estructural, sismo, Venezuela

¹Investigador Universidad Federal de Rio Grande del Sur (UFRGS), Laboratorio de Ensayos y Modelos Estructurales (LEME), Campus do Vale, Porto Alegre, Brasil. Correo: jose.yepz@ufrgs.br

²Docente Investigadora de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Ingeniero Civil. Doctorado en Seguridad, Calidad y Optimización de Recursos de Infraestructura y su Relación Medioambiental, Universidad de Granada. Presidencia de ALCONPAT Venezuela. Correo: mydikdan@ucla.edu.ve

³Docente investigador de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Mgs. ingeniería estructural. Correo: davon@ucla.edu.ve

⁴Investigadora Universidad Federal de Rio Grande del Sur (UFRGS), Laboratorio de Ensayos y Modelos Estructurales (LEME), Campus do Vale, Porto Alegre, Brasil. Correo: rosangel.rojas@ufrgs.br

ABSTRACT

The structural analysis and reinforcement project is presented for a city complex consisting of 31 houses with obvious signs of failure, built in the city of Barquisimeto in 2008 on unconstrained land. The results of the analysis showed insufficient responsiveness to service stresses, high seismic vulnerability, and deficiencies in the amount and distribution of reinforcing steel. The reinforcement of the superstructure was proposed by means of the construction of panel walls, and micro piles and / or reinforced solid slab for the infrastructure, using values of resistance of the concrete obtained in the destructive tests, soil parameters from the geotechnical study and the settlements Differentials derived from topographic leveling.

Keywords: *Structural vulnerability, earthquake, Venezuela*

1. INTRODUCCIÓN

Venezuela es un país sísmicamente activo con una geografía cruzada desde occidente a oriente por una serie de fallas tectónicas, en cuyas trazas se ubican las más importantes y pobladas urbes del país como por ejemplo la ciudad de Barquisimeto. Esta yace bajo el predominio geológico de la falla de Boconó, con un crecimiento urbano que en muchos casos se aleja de las normas y procedimientos que implican el correcto desempeño de la ingeniería.

Es de observar, que la cantidad de edificaciones que en dicho país han sido afectadas por diferentes patologías constructivas crece cada vez más. Lineamientos provenientes de la gerencia gubernamental han promovido la construcción de viviendas en forma acelerada, eludiendo en muchos casos las variables urbanas y planes locales de desarrollo. Así mismo, ignorando la amenaza sísmica o la originada por otros fenómenos naturales, aunado al afán de cumplir con compromisos no convenientemente planificados descuidando así, el debido control de calidad en la obras por parte de los entes públicos competentes.

Cuando se habita en una ciudad asentada sobre una falla geológica activa, los movimientos del terreno de diferentes intensidades son frecuentes; incluso es posible la ocurrencia de eventos catastróficos. Si, sumado a este hecho se presentan edificaciones construidas sin los debidos controles de calidad, con deficiencias en el diseño estructural, en terrenos no consolidados, el riesgo del colapso ante un evento sísmico importante es inminente. El peligro que puede afectar los bienes inmuebles de una población puede ser reducido si dichas construcciones poseen un adecuado diseño estructural sismoresistente.

En este particular, Venezuela cuenta con la *Comisión Venezolana de Normas Industriales* (COVENIN) que rige la materia y cuyo cumplimiento constituye una acción preventiva relevante. Las obras realizadas antes de la existencia de esta legislación, o las que hacen caso omiso de su aplicación son vulnerables, por lo que deben ser adecuadas mediante el

reforzamiento estructural si se desean mitigar las posibles consecuencias que originan los terremotos.

La experiencia constructiva acumulada hasta el presente está basada en el comportamiento y daños de edificaciones, las cuales indican que sismos moderados a severos, han provocado innumerables pérdidas de vidas humanas y gran cantidad de daños materiales a causa, fundamentalmente, de la no aplicación de las medidas y previsiones sismorresistentes mínimas. Así como, del desconocimiento sobre el comportamiento de tipologías constructivas conocidas y de movimiento o remoción de masas de suelo, tales como taludes de tierra, rellenos y suelos con alto índice de compresibilidad y/o plasticidad [1].

Considerando lo anteriormente expuesto, en el presente estudio se llevó a cabo un procedimiento de análisis el cual sigue el patrón de trabajos anteriores efectuados por los mismos autores, los cuales serán descritos detalladamente más adelante [2]. Este método ordenado de actividades es repetitivo hasta la definición del diagnóstico estructural, a partir del cual se desarrollan las posibles soluciones al problema dependiendo de cada caso particular. En la literatura mencionada, se estableció una alternativa de solución a nivel de fundaciones similar al presentado en este trabajo.

En Yépez et al. [3] se plantea el reforzamiento de la superestructura mediante la construcción de muros tipo panel, posteriormente se realizó una propuesta de reforzamiento mediante el recrecido de todas las columnas y de algunas vigas [4]. Mientras que en [5] se estudia un complejo urbanístico multifamiliar compuestos por cuatro torres de 22 pisos cada una, implantado en la década del 70, cuya construcción fue paralizada por problemas a nivel de proyecto, tales como: poca rigidez lateral; ductilidad limitada de los miembros; baja resistencia del concreto en una cantidad apreciable de columnas, muros y losas; baja capacidad de en losas; diafragma débil en núcleo de circulación; ausencia de vigas de riostra; y capacidad insuficiente de los pilotes ante cargas sísmicas.

En muchos casos el reforzamiento estructural no es la solución, dispositivos de disipación de energía podrían ser empleados en el reforzamiento de edificaciones, Morales, y Contreras [6] analizaron el funcionamiento de los disipadores y la respuesta de una edificación escolar amortiguada, sin embargo, esta solución implica el uso de una tecnología poco empleada en Venezuela, no aplicable en aquellos casos donde el terreno forma parte principal de la patología. La estabilización del mismo por medio de inyecciones armadas planteada por Da Casa, et al. [7], quienes comprueban que dicho sistema es adecuado para la interrupción de los asentamientos continuados de origen geotécnico, pudiendo resolverse problemas localizados.

En el caso que se plantea en este artículo, el problema es generalizado y convierte a esta alternativa en antieconómica.

Haciendo una revisión del diagnóstico patológico desarrollado por Dikdan et al. [8] se pudo evidenciar, que las viviendas que conforman el urbanismo “Villas Lomas del Cercado” ubicadas en la ciudad de Barquisimeto, Venezuela, reflejan gran parte de la sintomatología de fallas estructurales y geotécnicas expresadas en las referencias citadas. Constituyéndose el urbanismo como un enorme laboratorio abierto para analizar, evaluar y proponer alternativas estructurales de intervención, como es planteada en el estudio que aquí se desarrolla.

2. DESARROLLO Y METODOLOGÍA

El caso de tratado corresponde a la urbanización “Villas Lomas del Cercado”, ubicada en el antiguo camino a Veragacha, sector El Cercado, Municipio Iribarren, Estado Lara. Se trata de un complejo habitacional nivel III en la clasificación establecida en la Ley del Subsistema de Vivienda y Política Habitacional [9], constituida en una macro parcela con una superficie aproximada de 15000 m², con una orientación Norte - Sur en su parte más larga. Tiene distribuida 31 viviendas unifamiliares aisladas, de dos plantas con un área base de construcción de 174 m² cada una. Particularmente, las viviendas 3, 4, 16, 17, 29, 30 y 31 están fundadas sobre terreno en corte, mientras que el resto sobre relleno. Las viviendas 9, 10, 25 y 26, poseen sótano, a pesar que en el proyecto original no se contemplaba este tipo de habitación.

A continuación, se realiza la descripción del caso de estudio:

- Caracterización de las casas y de la sintomatología de las principales fallas encontradas.
- Recopilación de información obtenida en las inspecciones de campo, previas al inicio del estudio.
- Levantamiento planialtimétrico de la geometría actual.
- Ensayos experimentales efectuados.
- Nivelación topográfica para conocer los asentamientos del terreno.
- Estudio geotécnico para determinar los parámetros del suelo.
- Análisis estructural de la configuración original de cada vivienda.

2.1. Caracterización de las Viviendas

Las viviendas son unifamiliares aisladas adosadas a un lindero, presentan retiro de frente ocupado por una pequeña jardinera, retiro lateral, donde funciona el garaje y retiro de fondo, (ver Figura 1). Existen 27 viviendas de 2 plantas, y 4 viviendas de 3 niveles (2 plantas y 1

sótano). El techo es a dos aguas excepto sobre los ambientes vestier y baño de la habitación principal, el cual es a cuatro aguas.



Figura 1. Calle 1 del urbanismo. Fuente: M. Dikdan, J. Yépez, D. Avon, R. Rojas [8]

La planta sótano, específicamente de las casas que cuentan con ello, posee un ambiente de usos múltiples y un baño auxiliar. La planta baja posee ambiente para la sala, comedor, estudio, baño de visita, cocina y oficios (ver Figura 2a). La planta alta cuenta con dos habitaciones auxiliares, baño, family room, y una habitación principal con vestier y baño (ver Figura 2b). La parcela posee retiro de frente donde se ubican dos jardineras, retiro lateral con garaje, y retiro de fondo cuyo espacio permite crecimiento posterior. Si bien las distancias entre ejes son distintas para las 31 viviendas, la distribución de los espacios es semejante. Las características de diseño de los materiales establecidas en el proyecto original fueron para resistencia a compresión de un valor de $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$, y esfuerzo de cedencia del acero $F_y = 4.200 \text{ kgf/cm}^2$.

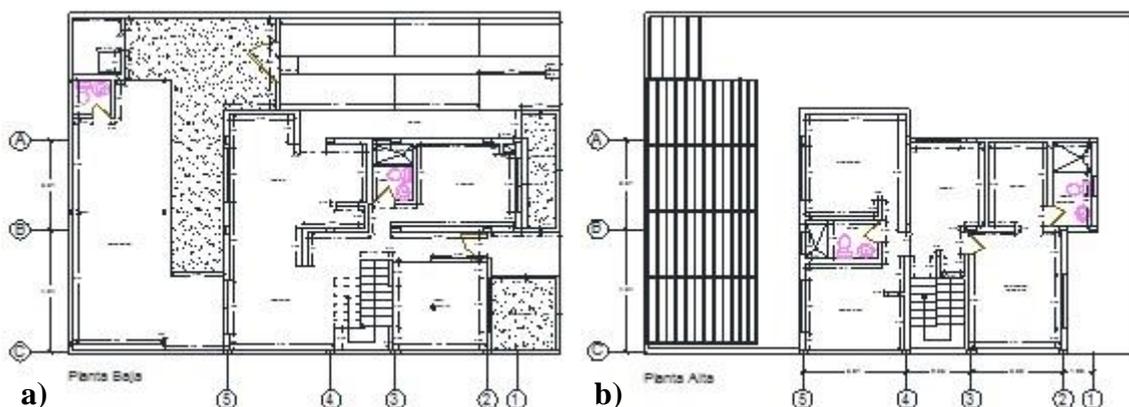


Figura 2. (a) Planta baja (b) Planta alta. Vivienda Nro. 19. Fuente: M. Dikdan, J. Yépez, D. Avon, R. Rojas [8]

2.2. Caracterización de las Fallas

En el informe “*Diagnóstico Patológico Urb. Villas Lomas del Cercado. Barquisimeto*” [8], se

señaló que las viviendas presentaron una gran cantidad de fisuras, principalmente en las paredes, con una inclinación de 45° en la mayoría de los casos, además se evidenciaron grietas por asentamientos diferenciales, hundimiento en la vialidad, zona de garajes y cerca perimetral de las casas (ver Figura 3)



Figura 3. (a) Agrietamiento en paredes (b) Agrietamiento en fachada. Fuente: M. Dikdan, J. Yepez, D. Avon, R. Rojas [8]

2.3. Recopilación de la Información

La información recopilada se obtuvo de algunos planos del proyecto original, en los que se detallaban datos de la geometría, distribución del acero, resistencia de diseño del concreto, y valor del esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo. Así mismo, se obtuvo el informe técnico realizado en el año 2011[10]. Se pudieron caracterizar algunos de los elementos estructurales, por ejemplo las zapatas poseen dimensiones de (1,00m x 1,00m x 0,30m) con malla de acero de refuerzo de $5\Phi \frac{1}{2}$ ", pedestales de sección transversal igual que las columnas (sección estimada en fotografías (ver Figura 4a) con armado de $4\Phi 1\frac{1}{2}$ " + $2\Phi \frac{3}{8}$ ", las vigas de riostra: 20,00 cm x 25,00 cm con $4\Phi 1\frac{1}{2}$ " y ligaduras de $\Phi \frac{3}{8}$ " @ 20.00 cm.



Figura 4. (a) Fundaciones (b) Entrepiso nervado. Fuente: M. Dikdan, J. Yepez, D. Avon, R. Rojas [8]

La estructura de las viviendas es aperticada, en concreto armado conformada por 5 ejes en el

sentido longitudinal (norte-sur) identificados del “1” al “5”, y 3 ejes en el sentido transversal (este-oeste) identificados de la “A” a la “C” con luces variables entre pórticos. La altura de entrepiso aproximada es de 2,67 m en planta baja. En planta alta entre 2,86 m en la parte más baja, y 3,88 m en la parte más alta ubicada en el vestier, con losa nervada en un sentido (ver Figura 4b).

Las paredes son de 20,00 cm de espesor construidas con bloques de cemento de $e = 15,00$ cm frisados por ambas caras, con ventanales panorámicos de vidrio con marcos de aluminio anodizadas en blanco, con protectores de hierro incorporados. Los revestimientos en paredes son de friso liso internamente y friso esponja exteriormente. En los baños existe cerámica en piso, y en pared hasta altura de puerta. El acabado de piso es porcelanato, marcos y puertas son de madera entamborada.

2.4. Levantamiento Planialtimétrico

Se realizó el levantamiento planialtimétrico de cada casa y de las ampliaciones realizadas por los usuarios en los retiros de fondo y lateral, para posteriormente proceder a realizar los planos constructivos de arquitectura. Las dimensiones de los elementos estructurales varían entre lo establecido en los planos de proyecto original y lo evidenciado en sitio. Así mismo, las vigas de amarre de entrepiso no cumplen con la sección proyectada ya que las construidas son planas. Se pudo notar en la inspección visual, que la viga de techo central indicada en el proyecto inicial, no existe en ninguna de las viviendas. Se observaron también diferencias significativas de la longitud entre los ejes de algunas viviendas; encontrándose en la mayoría de las viviendas que 2 de las columnas rectangulares de planta alta se les invirtió la orientación con relación a las de planta baja, específicamente las identificadas como A-4 y B-4. En los planos de proyecto encontrados no existen viviendas con sótano, sin embargo 4 casas cuentan con dicha área.

2.5. Ensayos Experimentales

Se estableció un plan de muestreo en cada vivienda con el propósito de determinar la ubicación de las extracciones de los núcleos de concreto, para ensayos de resistencia a la compresión de los elementos estructurales. A fin de evitar seccionar el acero de refuerzo al momento de la extracción se utilizó el pachómetro, lo que permitió detectar la distribución del armado en los elementos estructurales, y verificar si el confinamiento del acero transversal estaba dentro de la normativa. Algunas escarificaciones fueron realizadas en elementos estructurales para cotejar el tipo de acero de refuerzo utilizado en obra con respecto al

proyecto original. Así mismo, se realizaron pruebas de carbonatación en cada núcleo de concreto extraído para verificar la profundidad de dicha carbonatación y comprobar pasivación del acero de refuerzo. Se consideraron las estipulaciones de la Norma Venezolana Covenin-Mindur 345-80: Método para la Extracción y Ensayo de Probetas Cilíndricas y Viguetas de Concreto Endurecido [11]. Los ensayos en los elementos estructurales se realizaron en el laboratorio de materiales del Decanato de Ingeniería Civil de la Universidad Lisandro Alvarado. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de ensayos de resistencia del concreto. Fuente: M. Dikdan, J. Yepez, D. Avon, R. Rojas [8]

Casa	Rcc media por casa (kgf/cm ²)	Casa	Rcc media por casa (kgf/cm ²)	Casa	Rcc media por casa (kgf/cm ²)
1	38	11	50	21	28
2	124	12	107	22	42
3	155	13	41	23	74
4	31	14	35	24	102
5	61	15	64	25	63
6	35	16	46	26	44
7	54	17	63	27	31
8	43	18	55	28	71
9	39	19	23	29	32
10	36	20	76	30	30
				31	128

De acuerdo a los resultados de los ensayos de pachometría y las escarificaciones realizadas, se comprobó que el acero de refuerzo transversal encontrando en varias viviendas no coincide con el diámetro indicado en proyecto original.

2.6. Nivelación topográfica

Se realizó nivelación topográfica de las viviendas ubicadas en relleno parcial o total, el cual consistió en medir la distancia vertical entre la intersección de las columnas, losas de entrepiso y un plano horizontal de referencia (ver Tabla 2).

Tabla 2. Asentamientos Diferenciales para casas 19, 20, 21. Fuente: M. Dikdan, J. Yepez, D. Avon, R. Rojas [8]

Asentamientos Diferenciales Casa 19					
Ejes	1	2	3	4	5
A	-0,113	-0,120	-0,097	-0,086	-0,185
B	-0,155	-0,143	-0,124	-0,121	-0,070
C	-	-0,185	-0,183	-0,170	-0,156
Asentamientos Diferenciales Casa 20					
A	-0,110	-0,105	-0,077	-0,045	-0,157
B	-0,139	-0,127	-0,091	-0,063	-0,044
C	-	-0,157	-0,139	-0,107	-0,073
Asentamientos Diferenciales Casa 21					
A	-0,088	-0,073	-0,047	-0,036	0,000
B	-0,115	-0,077	-0,059	-0,037	-0,009
C	-	-0,099	-0,082	-0,053	-0,034

Adicionalmente, se midieron los ángulos de desviación de la vertical de las casas a través de 2

columnas esquineras ubicadas en las fachadas principal y posterior, mediante testigos colocados en la base y a cierta altura de las mismas, las cuales quedaron fijadas para controles posteriores. Los resultados obtenidos demostraron la existencia de asentamientos diferenciales considerables, los cuales en muchos casos superaron los 20,00 cm.

2.6. Estudio Geotécnico

En el "*Estudio Geotécnico Desarrollo Habitacional Villas Lomas del Cercado*" [12], se presentó el reconocimiento general del área, así como también una inspección visual de las casas más afectadas, del muro de contención, pavimentos y servicios. Fue caracterizado un macizo rocoso a lo largo de los taludes entre lindero sur y lindero este de la urbanización, con el fin de determinar la existencia de indicios geológicos activos que pudiesen influir en los daños observados en las casas y en el urbanismo en general. La exploración geotécnica y muestreo de suelos consistió en 5 perforaciones a partir de las cuales se determinaron los espesores de relleno y la profundidad de la roca, así como también los datos para establecer los parámetros de resistencia de los materiales que conforman el perfil.

Se excavaron 2 fosas para extraer muestras inalteradas a las profundidades de 0,75m y 1,50m, y 2 muestras alteradas para estimar tanto las propiedades físicas y mecánicas del material utilizado en el relleno, como las características de compacidad del mismo. Una de las fosas se cavó a 2,00 m de profundidad en la zona de mayor altura del muro (entre las calles 2 y 3 próxima a la casa Nro. 22) para verificar la existencia de un muro de concreto en el trasdós de la estructura de gaviones. En las muestras extraídas se realizaron ensayos de identificación visual-manual, humedad natural, granulometría, límites de consistencia, gravedad específica de los sólidos, ensayo Proctor de compactación, peso unitario y ensayo de compresión simple. Los resultados obtenidos demostraron la existencia de un suelo en condiciones precarias, no consolidado, sobre el cual no se debería construir ningún sistema de fundación, en el estudio de suelos se recomendó el recalce de las fundaciones a través de un sistema que garantice la transmisión de las cargas hasta un estrato de suelo firme.

2.7. Análisis estructural de la configuración original

Con la finalidad de determinar la capacidad original de la estructura para soportar las solicitaciones que de acuerdo a su uso y ubicación puede estar sometida, se procedió a modelar matemáticamente la edificación con el apoyo de un programa de elementos finitos. Fue realizado un análisis dinámico espacial, considerando diafragma rígido en el entrepiso y diafragma flexible en el nivel techo utilizando el software Ram-Advance

(<http://apps.bentley.com/studentserver/home/index>). Los elementos se analizaron para la envolvente de las solicitaciones actuantes según las combinaciones especificadas en normativa venezolana Covenin-Mindur 1753-06: Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural [13], tomando en cuenta la combinación de las cargas verticales y las solicitaciones sísmicas actuantes.

Las losas de entrepiso se modelaron tipo losas nervadas armadas en una dirección, cuyas reacciones fueron introducidas como cargas distribuidas sobre las vigas de carga. Se calcularon las cargas de acuerdo a lo estipulado en la Norma Covenin–Mindur 2002-88: Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones [14], se consideró una carga variable de 175,00 kgf/m², en escaleras 300,00 kgf/m², y en techo 100,00 kgf/m². Considerando que el programa calcula el peso propio de los elementos estructurales, se añadió el peso de la tabiquería y acabados de paredes y piso, según el levantamiento realizado. La escalera fue incluida en el modelo de la vivienda.

Se utilizaron los valores de resistencia del concreto proveniente de los *Core Drill* extraídos en la obra y ensayados en el laboratorio de materiales mencionado. Se consideró un F_y para el acero de refuerzo de 4200 kgf/cm² y los valores calculados para los asentamientos diferenciales arrojados en la nivelación topográfica.

El análisis sísmico se ejecutó igualmente con el programa Ram Advance, utilizando un espectro de diseño basado en el perfil de suelo S2 para las casas ubicadas en relleno, y S1 para las ubicadas en corte, un factor de importancia de “1”, dado que se trata de una edificación clasificada como B2, una aceleración de 0,30g por ser zona sísmica 5 y un *Factor de Reducción* igual a “2”, por no cumplir con las especificaciones para nivel de diseño “2” ni nivel de diseño “3”, según las especificaciones de la Tabla 6.4 de la Norma Covenin–Mindur: 1756-01: Edificaciones Sismoresistente [15].

La acción del suelo sobre la infraestructura de la edificación se simuló a través de resortes, cuya rigidez es equivalente al producto del módulo de balasto del suelo multiplicado por el área tributaria actuante en cada fundación. Los valores del módulo fueron los recomendados en el estudio de suelos. Se calcularon las derivas máximas para cada nivel en cada uno de los modelos, y se compararon con el valor límite permitido por la norma venezolana mencionada. Así mismos, se determinaron las cantidades de acero longitudinal y transversal requeridas, para soportar la envolvente de las combinaciones de carga en vigas y columnas, que luego fueron comparadas con la información documental disponible y con el levantamiento realizado en este estudio para cada una de las 31 viviendas.

3. RESULTADOS

De los resultados obtenidos se observó que el acero de refuerzo longitudinal requerido en las columnas de las viviendas superó significativamente el acero existente, en promedio se requiere 6 veces más, siendo más notable en las casas ubicadas sobre relleno, y en corte 2.6 veces. Situación semejante se presentó con las vigas de carga a nivel de entrepiso, las cuales manifestaron importantes deficiencias de acero longitudinal a esfuerzos de flexión, en varios casos el momento último supera cerca de un 50% al momento resistente. Las losas de entrepiso en su mayoría demandaron longitudes de macizados superiores al establecido en el proyecto, incrementándose en los casos donde la resistencia a compresión del concreto es muy baja, se presentaron casos donde el cortante último actuante es un 83% mayor que el cortante resistente.

3.1. Propuesta de Reforzamiento

Cada vivienda del urbanismo se constituyó en un caso particular debido a las diferencias en la separación en los ejes, alturas, en la resistencia del concreto, en los asentamientos del terreno, en la profundidad del relleno de fundación, existencia o no de sótanos. Por tal motivo, la propuesta de reforzamiento fue analizada para cada vivienda en forma individual, cuyos resultados presentaron variaciones en las cantidades de obra. A continuación, se describe la propuesta de reforzamiento para la superestructura y para la infraestructura en forma general.

Propuesta de reforzamiento de la superestructura

El reforzamiento estructural propuesto para la superestructura consiste en la construcción de muros tipo sándwich, cuyo núcleo está conformado por la pared de bloque existente y pantalla de concreto armado de espesor igual a 6,00 cm en cada cara del cerramiento. El muro debe ir anclado a la losa/viga superior e inferior para garantizar la continuidad en la transmisión de los esfuerzos. Así mismo, deberán anclarse también a la losa o viga, según sea el caso para garantizar la continuidad en la transmisión de los esfuerzos.

La unión del nuevo concreto con el precedente en los elementos a reforzar se realizará, con la ayuda de anclajes químicos que sirvan de conectores de corte en la intercara ambos, con la rugosidad adecuada (protuberancias mayores de 6,00 mm) a la superficie del concreto existente, los mismos se calcularon para resistir el flujo de corte máximo existente en dicha superficie. Así mismo, se propone la utilización de concreto proyectado *Shot Crete* en los muros a construir, ya que el material garantiza una buena adherencia con el concreto viejo sin necesidad de colocar puente adherente, no requiriendo encofrado por lo que facilita la

colocación del concreto de refuerzo y puede realizarse en menor tiempo que los refuerzos tradicionales.

Propuesta de reforzamiento de la infraestructura

Para el reforzamiento de las fundaciones se plantearon dos alternativas dependiendo de la ubicación de la vivienda, ya sea sobre un terreno en relleno o en corte. Para el primer caso, el recalce de las fundaciones consiste en la construcción de micro pilotes en la totalidad de las mismas, cuya profundidad será tal que garantice la penetración de 2,50m en la roca. Adicionalmente, se construirá una losa de piso armada sobre la losa existente, mientras que para el segundo caso, sólo se construirá una losa maciza armada. En ambas situaciones, el propósito es estabilizar el movimiento de la estructura, uniformizar la rigidez y evitar la aparición de futuros asentamientos diferenciales.

La solución planteada resuelve la estabilidad de la estructura, sin embargo genera un nuevo problema, al seguir el suelo asentándose a causa del relleno no consolidado y al estar fija la estructura con el uso de los micro pilotes, el suelo paulatinamente se irá separando de la losa de piso, por tanto esta terminará comportándose como losas de entrepiso, para lo cual no fue diseñado. Por éste motivo, la losa armada es diseñada como soporte de carga y como bloque conector de los muros tipo sándwich de la superestructura con la infraestructura. La losa también se proyecta en las casas ubicadas en corte, ya que si bien las mismas no presentan el problema de separación del terreno con el piso, se requiere para garantizar el anclaje de los aceros de refuerzo de los muros, además de aprovecharse como losa de fundación.

3.2. Análisis Estructural de la Configuración Reforzada

La configuración de muros en cada planta fue definida de modo que su construcción resultara lo menos invasiva posible, conservando criterios de simetría para evitar efectos torsionales indeseables y ubicando los muros en manera tal, de eliminar las consecuencias negativas que originan las columnas cortas durante un sismo. Los muros incluidos dentro de la configuración estructural de cada casa, soportarán o absorberán la mayor cantidad de los esfuerzos que generan las solicitaciones actuantes, por lo que los demás elementos estructurales trabajarán con menor demanda y su arreglo actual podrá garantizar un buen comportamiento.

Debido a las diferencias en las características geométricas y la configuración de las columnas de cada vivienda, fue necesario analizarlas individualmente, verificando en cada caso el comportamiento de todo el sistema estructural, considerando la envolvente de las

solicitaciones actuantes según las combinaciones especificadas en la norma empleada para este estudio, tomando en cuenta la combinación de las cargas verticales y las solicitaciones sísmicas actuantes.

Se realizó un análisis dinámico espacial, considerando diafragma rígido en el entrepiso y diafragma flexible en el nivel techo. El urbanismo al estar situado en la ciudad de Barquisimeto, Venezuela, corresponde a una zona “5” con $A_o = 0,30$, con un *Factor de Reducción* igual a “2”, por no cumplir con las especificaciones para nivel de diseño “2” ni nivel de diseño “3”. Un *Factor de Importancia* $\alpha = 1,00$, por tener uso residencial, y según estudio de suelo se considera suelo Tipo S2 para las viviendas fundadas sobre relleno, y S1 en las fundadas sobre corte. Se realizó verificación de cortante, es decir que su valor sea mayor que $\alpha A_o/R$.

De igual forma se consideró, un 50% de carga variable para efectos de la masa sísmica. Los valores de resistencia del concreto empleados provenientes de los *Core Drill* extraídos en la obra, y ensayados en el laboratorio de materiales considerando para los muretes de reforzamiento una resistencia del concreto a la compresión de $f'c = 250 \text{ kgf/cm}^2$. El F_y para el acero de refuerzo fue de 4200 kgf/cm^2 y de 5100 kgf/cm^2 para la malla electro soldada. Se tomó en cuenta el peso propio de todos los cerramientos, elementos estructurales, existentes y losetas de refuerzo.

Las losas de entrepiso fueron modeladas como losas nervadas armadas en una dirección, para introducir sus reacciones como cargas distribuidas sobre las vigas de carga. La escalera se incluirá en el modelo de la vivienda. Se calcularon las derivas máximas para cada nivel en cada uno de los modelos para ser comparadas con el valor límite permitido por la norma COVENIN. Por otro lado, las cargas permanentes adicionales al peso propio de los elementos estructurales a considerar son el acabado piso, friso en techo, tabiquería, cargas permanente en techo por teja con mortero. Específicamente el peso de losas, muros y columnas son considerados por el programa, y las cargas vivas se contemplaron para uso residencial.

En las combinaciones de carga utilizadas que incluyen el sismo, la carga permanente representada por “pp” tiene un factor de 1,36 en lugar de 1,2, y de 0,74 en lugar de 0,9, esto se debe a la consideración del sismo vertical, como lo especifica la norma estimada para este estudio, el cual es una variación del “pp” igual a $\pm 0.2 \alpha \phi \beta A_o pp$, cuyo valor resultó ser de 0.16 pp.

Con la finalidad de diseñar el reforzamiento de la infraestructura para soportar las

solicitaciones que provienen del análisis de la superestructura, se procedió a modelar matemáticamente las fundaciones reforzadas de cada una de las 31 viviendas, considerando la interacción suelo estructura. El análisis matemático se efectuó utilizando un programa de elementos finitos, colocando en cada micro pilotes resortes equivalentes horizontales y verticales con rigideces determinadas en función del *Módulo de Balasto*. Discretizando la losa de piso armada en pequeños elementos de placa tipo *Shell*, colocándose resortes equivalentes en cada nodo.

La diferencia del desplazamiento lateral entre dos niveles adyacentes o *deriva*, reflejó valores inferiores a los indicados en la Norma Covenin 1756 capítulo 10 [15], que señala como máxima permitida el valor 0.012. Respecto a las losas de entrepiso los resultados de la condición original indican que están trabajando al límite, muy próxima a superar su valor de falla. Probablemente por esta circunstancia no se visualizan grietas significativas, sin embargo, es necesario su reforzamiento, el cual consiste en la construcción de macizado, cuyos valores y configuración varían para cada vivienda.

4. CONCLUSIONES

En el diagnóstico estructural se obtuvieron valores muy por debajo de la resistencia de diseño para el concreto en vigas, columnas y losas de entrepiso, presentando variaciones en cada vivienda. Se evidenciaron deficiencias en la cantidad y distribución del acero de refuerzo, así como también distintos tipos de estructura en las casas, todo esto aunado a la sintomatología de daños existente, lo que demandó la realización de una propuesta de reforzamiento estructural.

Con el reforzamiento se modificó el sistema estructural de aporticado a un sistema estructural apantallado, en el que las columnas pasaron a ser elementos de borde de las pantallas. Dada la gran rigidez que inducen los muros, la demanda de esfuerzos sobre las columnas provenientes de las solicitaciones actuantes fue baja. Respecto a las vigas, una cantidad importante pasaron a formar parte de las pantallas, disminuyendo o eliminando la luz libre, por lo cual la demanda de momento y corte por cargas verticales se redujo significativamente. Por otra parte, la rigidez lateral inducida por los muros disminuye la demanda de fuerza sísmica en las vigas, consiguientemente los esfuerzos a los que estarán sometidas bajo un evento sísmico serán menores con esta nueva configuración.

Se sugiere la desocupación de las viviendas debido a que los elementos estructurales presentaron valores de resistencia del concreto a la compresión bajos, e insuficiente cantidad de acero en relación a la demanda, los daños existentes en tabiquerías y elementos

estructurales originados por los asentamientos diferenciales y la condición de sismicidad de la zona, lo cual en su conjunto coloca en alto riesgo a los usuarios de la urbanización.

5. REFERENCIAS

- [1] P. Montilla y A. Castillo, “Vulnerabilidad sísmica de centros poblados. Un caso de estudio: sector Pan de Azúcar, Mérida. Estado Mérida-Venezuela”. *Revista Geográfica Venezolana*, vol. 53, p. 277-295, 2011
- [2] J. Yépez, M. Dikdan, R. Rojas, “Proyecto de Rehabilitación Ampliación de la Emergencia Fundación Augusto Reyes Flores” Informe Inédito, Cruz Roja Seccional Lara, Barquisimeto, 2010.
- [3] J. Yépez, M. Dikdan, L. Andrade, R. Rojas, “Adecuación Estructural para la E. B. Jose Felipe Márquez”. *Memorias del CONPAT 2015. XIII Congreso Latino-Americano de Patología da Construção. XV Congresso de Controlo de Qualidade na Construção. Construção 2015. Congresso Luso-Africano da Construção, Instituto Superior Técnico (IST). Lisboa, Portugal, September 2015*
- [4] J. Yépez, M. Dikdan, L. Andrade, R. Rojas, “Adecuación Estructural para la E. B. Samuel Darío Maldonado” Informe Inédito. Federación de Edificaciones y Dotaciones Educativas FEDE, Caracas, 2011
- [5] J. Yépez, M. Dikdan, D. Avon, “Adecuación estructural torre III Conjunto Residencial el Sisal, Barquisimeto, estado Lara, Venezuela”. *Memorias del XII Congreso Latinoamericano de Patología y Congreso de Calidad en la Construcción ConPat 2013, Cartagena de Indias, Colombia, September 2013.*
- [6] L. Morales y J. Contreras, “Protección de una edificación existente con disipadores de energía”, Directores: Juan Alejandro Muñoz Peláez y Marcos Tinman Behar, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2012.
- [7] F. Da Casa, E. Echeverría y F. Celis, “El movimiento en la ejecución de recalces con inyección armada. Análisis de tres casos con movimientos previos”. *Informes de la Construcción*, Vol. 64, 528, 507-518, 2012.
- [8] M. Dikdan, J. Yépez, D. Avon, R. Rojas, “Diagnóstico Patológico Urb. Villas Lomas del Cercado. Barquisimeto” Informe Inédito. Banco Occidental de Descuento BOD, Caracas, 2013.
- [9] Ley del Subsistema de Vivienda y Política Habitacional 10/1999, 5 de octubre, de la Gaceta Oficial de la República de Venezuela, núm.37.066, p.24. 30 de octubre del 2000, Recuperado de: <http://historico.tsj.gob.ve/gaceta/octubre/301000/301000-37066-01.html>
- [10] M. Pardo, Evaluación de Patología Informe Preliminar. Barquisimeto, p. 79, 2011
- [11] Norma Venezolana Covenin-Mindur. Método para la Extracción y Ensayo de Probetas Cilíndricas y Viguetas de Concreto Endurecido. 345-80. Caracas: Fondonorma, 1980, Recuperado de: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/345-80.pdf>
- [12] L. Andrade, M. Sánchez, “Estudio Geotécnico Desarrollo Habitacional Villas Lomas del Cercado”. Informe Inédito. Banco Occidental de Descuento BOD, p. 36, Caracas, 2011
- [13] Norma Venezolana Covenin–Mindur. Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural. 1753-06. Caracas: Fondonorma, 2006, Recuperado de: http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/estructuras_hormigon/20327900-COVENIN-1753-2006.pdf

- [14] Norma Venezolana Covenin–Mindur. Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones. 2002-88. Caracas: Fondonorma, 1988, Recuperado de: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2002-88.pdf>
- [15] Norma Venezolana Covenin–Mindur. Fondonorma. Edificaciones Sismoresistente. 1756-01. Caracas: Fondonorma, 2001, Recuperado de: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1756-01.pdf>