

PATOLOGÍA ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE EDIFICIO UNIVERSTARIO

Recepción:
Septiembre 18 de
2012

Aceptado:
Diciembre 13 de
2012

Nelson Afanador García

M.Sc. Ingeniería Civil, Énfasis en Estructuras
Investigador grupo GITYD, Facultad de Ingenierías,
Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
nafanadorg@ufps.edu.co

Mónica Pérez Bayona

Ingeniera Civil, Investigador grupo GITYD
Facultad de Ingenierías
Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
monikpeba@hotmail.com

Carlos M. Piscal Arévalo

M.Sc. Ingeniería Civil, Énfasis en Estructuras
Investigador grupo CIMON
Universidad de la Salle, Colombia
cpiscal@uniminuto.edu.co

Resumen

El presente artículo es una reflexión del resultado a la evaluación de la Patología estructural y funcional del edificio de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO), encontrándose manifestaciones patológicas en el concreto y la mampostería con deterioros moderados y severos tales como la presencia de cultivos biológicos, oxidación del acero de refuerzo, eflorescencias, fisuramiento en la mampostería, entre otros. Para establecer las causas que originaron estos deterioros mecánicos, se llevaron a cabo ensayos destructivos y no-destructivos que permitieron determinar las características y propiedades mecánicas de los materiales de los elementos estructurales tales como el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión del concreto los cuales afectan la rigidez de la edificación de acuerdo con las investigaciones realizadas por Richart y Brown (1934) y con el código Colombiano de construcción, denominada como la Norma Sismo Resistente del 2010 (NSR-10). Funcionalmente las instalaciones del edificio presentaron niveles de ruido que van desde 59.9 hasta 111.2 decibelios (dB) los cuales exceden los límites máximos establecidos por Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2006). De los resultados obtenidos se plantean conclusiones importantes relacionadas con la vulnerabilidad sísmica y posible reforzamiento

estructural del edificio de la UFPSO.

Palabras Claves:

Fallas estructurales, Medición de ruido, Patología en mampostería, Patología estructural.

Abstract

This article is a reflection of the result to the assessment of structural pathology of the building of the University Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO), pathological symptoms found in the concrete and masonry such as moderate severity and high rate of organic farming, oxidation reinforcing steel, efflorescence, cracks in the masonry, among others. Both non-destructive and destructive material tests were carried out to determine the characteristics and actual mechanical properties of the concrete and reinforcements of the main structural elements including the elastic modulus and compressive strength of concrete, as well as parameters that influence the stiffness of the building according to criteria by Richart and Brown (1934) and the Colombian Code (i.e., Seismic Resistant Standard 2010 (NSR-10)). Functionally the building facilities showed noise levels ranging from 59.9 to 111.2 decibels (dBA) exceeding the maximum established by the Colombian Ministry of Environment, Housing and Territorial Development (2006). From the obtained results important conclusions related to the seismic vulnerability and possible structural

reinforcement of the UFPSO building are presented.

Key Words:

Structural failures, Noise measurement, Pathology in masonry Structural pathology.

Introducción

La UFPSO recibió como donación el antiguo edificio del Ministerio de obras públicas y transporte (MOPT), ubicado en la avenida Francisco Fernández de Contreras calle 7 N.29-153 y construida entre los años 1958-1960. Este edificio ha sufrido cambio de uso de oficinas en el segundo nivel a salones de clase y de almacenes en el primer nivel a oficinas.

La ley 400 de 1997 en el título A artículo 54 establece que edificaciones indispensables y de atención a la comunidad (universidades) localizada en zonas de amenaza sísmica intermedia (Ocaña) y alta su vulnerabilidad sísmica debe evaluarse. Esta evaluación debe mostrar que el nivel de seguridad sísmica sea equivalente al de una edificación nueva. Para tal efecto es necesario realizar una investigación de la estructura que tenga en cuenta tanto los elementos estructurales como también los no estructurales (AIS, 2004). Las patologías deben ser evaluadas en un estudio sistemático de los procesos y características de las deficiencias, defectos y daños que la edificación puede sufrir incluyendo las causas, consecuencias y soluciones (Sánchez D. G., 2006).

Este trabajo de investigación presenta evaluaciones de las propiedades de los materiales in situ de acuerdo con las Normas Técnicas Colombianas (NTC). Estas evaluaciones incluyen ensayos a tracción para materiales metálicos, ensayo a temperatura ambiente (NTC 2, 2000a), ensayos de barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación utilizadas como refuerzo del concreto (NTC 2289, 2002), ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto (NTC 673, 2000b), resistencia a compresión y flexión de ladrillos cerámicos (NTC 451, 2000c). Estos ensayos de laboratorio permitieron determinar las propiedades mecánicas de los diferentes materiales necesarias para poder calcular las deformaciones que podrían experimentar los elementos estructurales ante la acción de cargas.

El módulo de elasticidad del concreto es una propiedad mecánica que refleja la habilidad que tiene el concreto para deformarse elásticamente la cual puede ser evaluada sobre un espécimen aplicando carga y midiendo la deformación del material (Pauw A., 1960). El concreto sufre retracción y fluencia originando una pérdida de rigidez representada en un cambio en el módulo de elasticidad del concreto, pues el módulo de elasticidad real disminuye con el tiempo (Marín J., 1979).

Desarrollo

Materiales y Métodos

El procedimiento sugerido y utilizado en esta investigación es ilustrado en la Figura 1. En la evaluación de las propiedades del suelo, aceros, concretos y piezas de mampostería se utilizaron las normas técnicas Colombianas (NTC) y de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

El edificio UFPSO es una estructura de categoría media de acuerdo con el número de pisos y de las cargas que proyecta al suelo (NSR-10. 2010). Esta norma establece 4 sondeos mínimos para la exploración del suelo de fundación, las cuales fueron realizadas a profundidades de 3.5 hasta 4 m encontrándose suelo firme, utilizando para ello un equipo de penetración estándar (SPT). Las muestras inalteradas tomadas se le realizaron ensayos de: 1) granulometría por tamizado (NTC 1522, 1979); 2) clasificación del suelo, (NTC 1504, 2006); 3) contenido de humedad (NTC 1495, 2001); 4) límites de plasticidad (NTC 1493, 1999); y 5) de peso unitario según ASTM D 2937-71. La capacidad portante para suelos granulares y cimentación superficial se calculó usando la teoría de Meyerhof (Das B.M. 2001):

Se verificó la nivelación del edificio utilizando el método de la poligonal abierta de acuerdo con Torres y Villate (1983). Para identificar de forma precisa los posibles asentamientos presentes en la construcción, esta verificación se realizó con un teodolito digital Topcon Corp DT-209 tomando lecturas en cada eje de columnas del primer y segundo nivel del edificio.

Con el fin de evaluar los elementos estructurales se realizó una auscultación a zapatas, vigas,



$$q_a = \frac{N}{8} \left(1 + 0.2 \frac{D_f}{B} \right) \text{ Para } B < 4 \text{ in} \quad (1)$$

$$q_a = \frac{N}{12} \left(\frac{B+0.3}{B} \right) \left(1 + 0.33 \frac{D_f}{B} \right) \text{ para } B > 4 \text{ in} \quad (2)$$

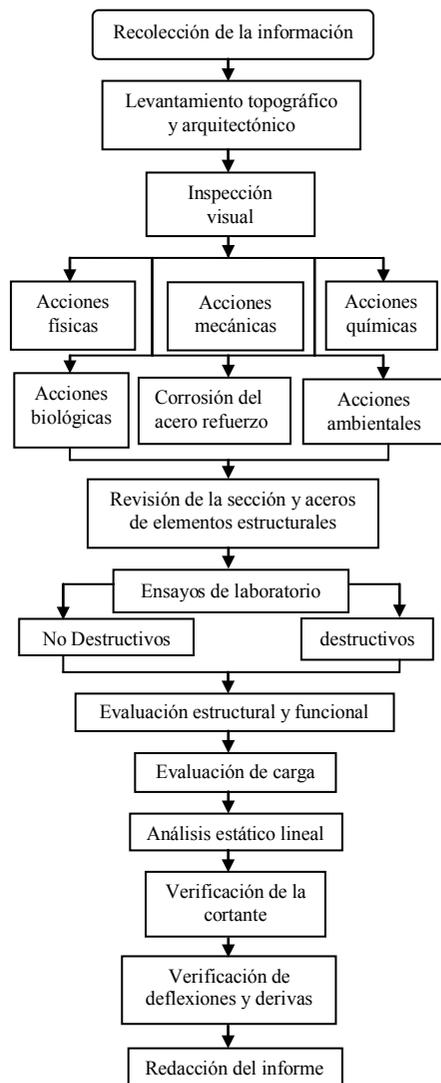


Figura 1. Diagrama de flujo de las actividades realizadas

columnas y viguetas que permitiera observar el concreto, la distribución de acero, el tipo de agregado y las deficiencias o daños internos. Además de establecer la existencia de vigas de cimentación y la profundidad de desplante de las zapatas (ver Figura 2)

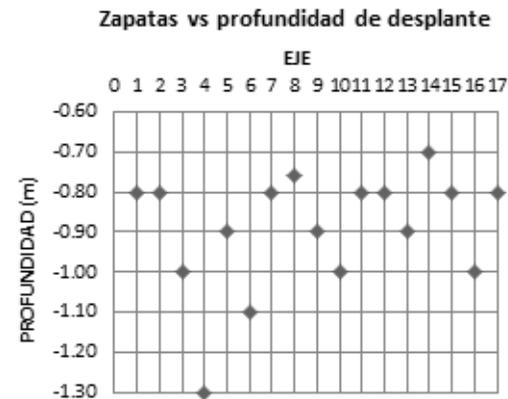


Figura 2. Profundidades de zapatas auscultadas. Fuente: Y. Motta y M. Pérez

Se realizaron ensayos no destructivos (ensayo de esclerometría), ensayos destructivos (extracción de núcleos de concreto de 3", Ver Foto 1, tensión en acero y compresión en piezas de mampostería) a los elementos estructurales.



Foto 3. Cilindro de concreto, extracción de núcleo zapata F3. Fuente: Y. Motta y M. Pérez

Los especímenes de concreto obtenidos a partir de la extracción de núcleos se les determinaron la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad. De las varillas de refuerzo extraídas de diámetros de 5/8", 1/2", 3/8", se les determinaron el esfuerzo y la deformación de fluencia, la resistencia última y el módulo de elasticidad. A las piezas de ladrillo se les realizaron ensayos de compresión y flexión. Todos estos ensayos se llevaron a cabo en la máquina universal de ensayo modelo PU-100-60.

Las propiedades mecánicas de los materiales obtenidas de los ensayos descritos se introdujeron en el modelamiento matemático realizado con el programa SAP 2000 versión 14 (2010) (ver Figura 4), utilizando el método estático lineal de la Fuerza Horizontal Equivalente (FHE) para el análisis sísmico. El edificio está localizado en zona de amenaza sísmica intermedia, con un grupo de uso III con los siguientes valores:

$$F_x = C_{vx} V_s \quad (3)$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)} \quad (4)$$

y con un coeficiente de importancia de 1.25. Ahora, la deriva a que estará sujeta la edificación si se presentará el sismo de diseño, fue evaluado según (5).

$$\Delta_{max}^i = \sqrt{\sum_{j=1}^2 (\delta_{tot,j}^i - \delta_{tot,j}^{i-1})^2} \quad (5)$$

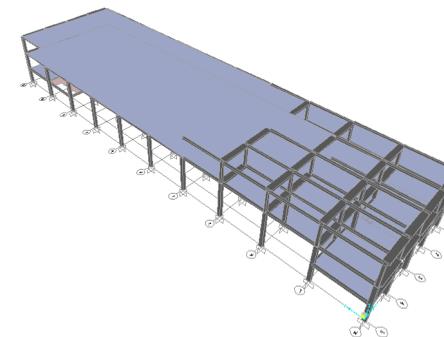


Figura 4. Modelamiento estructural con SAP 2000 ver 14. Fuente: Y. Motta y M. Pérez

La utilización del edificio para uso de salones de clase fue verificado mediante la medición de ruido empleando un sonómetro Cel serie 480 y el programa CelSoundTrack que permitieron identificar los días y horas de niveles máximos de ruido, definiendo la funcionalidad de las instalaciones al ruido.

Resultados y Discusión

La edificación ha estado sujeta a 203 sismos con epicentros en el municipio de Ocaña o en su provincia con magnitudes que oscilan entre 3 a 6 ML según el Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS desde 1994 hasta el 2010 (ver Fig. 5). Se presentan sismos menores entre 3 a 4 ML con un porcentaje del 85.2% y sismos intermedios entre 5 a 6 ML con un porcentaje de 3.4 % y con profundidades entre los 0-30 Km que representan sismos superficiales, predominando los sismos profundos localizados entre 120 -180 Km (ver Tabla 1). De los boletines de INGEOMINAS se han tomado los eventos sísmicos en la provincia de Ocaña con lapsos de tiempo que varían entre 4 y 5 años con magnitudes que van desde 3 a 4 ML. Esto indica que no se presenta acumulación de energía por deformación en la roca que permita prever sismos de mayor magnitud, aunque nuestra red acelerográfica es reciente.

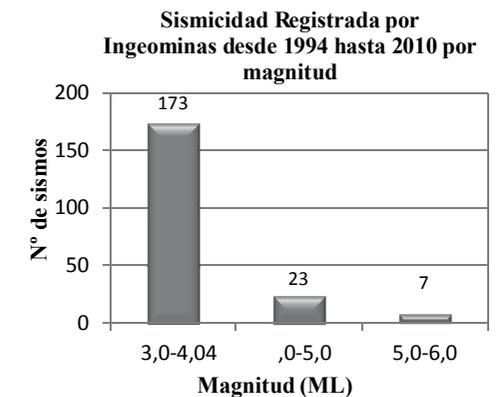


Figura 5. Sismicidad en Ocaña y su Provincia por rango de magnitud. Fuente: Y. Motta y M. Pérez

Magnitud	Profundidad (Km)				
	0-30	30-70	70-120	120-180	> 180
ML					
3-4	51,2	3	7	75,8	
4-5	9	0	5	9	0
5-6	1	0	0	5	1

Tabla 1. Sismicidad en Ocaña y su Provincia por rango de profundidad.
Fuente: Y. Motta y M. Pérez

En la zona donde está ubicado el edificio se presentan rocas ígneas félsicas del complejo intrusivo-extrusivo, depósitos cuaternarios y de terraza aluvial con origen aluvial y diluvial, debido a la presencia del río Tejo (Alcaldía municipal Ocaña, 2011). De las muestras extraídas del SPT se obtuvieron arenas limosas y arcillosas sin nivel freático pero con contenidos de humedad hasta de 28.74% debido a la filtración por el mal estado de las tuberías de asbesto-cemento de aguas negras 6", además los límites líquidos oscilan entre los 12.87% y los 42.94%, el límite plástico entre 8.64% y 24.35% y el peso unitario se encuentra entre 1.68- 2.69 gr/cm³. La capacidad portante encontrada en las muestras de sueloreflejo un esfuerzo admisible promedio de 129 KN/m² localizada entre los 2 y 3 m de profundidad excediendo los 1.30 m encontrados en las zapatas, mientras que el asentamiento permisible es de 50 mm hallándose valores mayores a este, comprobando los resultados de la nivelación topográfica en la que se obtuvieron desniveles de hasta 17 mm que tienden a marcarse en los eje H, G, F, de la estructura. Los ensayos realizados a los elementos del concreto permitió concluir que las pruebas de esclerometría mide la dureza del material pero no refleja la resistencia a compresión del concreto, mientras que la prueba de extracción de núcleos permitió determinar la resistencia a compresión (f'_c) y el módulo de elasticidad longitudinal del concreto E_c (ver Figura 6) de una forma más precisa.

La resistencia a compresión del concreto varía de un elemento estructural a otro pues las zapatas presentan resistencia a compresión desde 26.6 MPa hasta 38.5 MPa., mientras que las columnas manifiestan variaciones en su resistencia a la compresión desde 11.0 MPa hasta 19.1 MPa., estas variaciones entre columnas y zapatas son causadas por una relación agua/cemento alta que permitieron en su momento mejorar la manejabilidad del concreto principalmente

durante fundida de las columnas, pues estas presentan resistencias más bajas, además de la falta de compactación en el concreto debida a la dificultad para realizar un buen vibrado pues las columnas tienen alturas de 5.10 m, mientras las zapatas tienen espesores de 0.30 m. La resistencia a compresión promedio de los elementos de concreto reforzado es de 23.63 MPa. El módulo de elasticidad presentó una desviación estándar de 580 MPa con valores mínimos de 2.568 MPa y valor máximo de 3.668 MPa en columnas, mientras que en zapatas la desviación estándar es de 769 MPa con valores que oscilan en el módulo de elasticidad (E_c) entre 3.858 MPa y 5.193 MPa. Con el propósito de realizar el modelamiento matemático se toma un valor promedio, $E_c = 3.765$ MPa.

Resistencia vs Módulo de Elasticidad

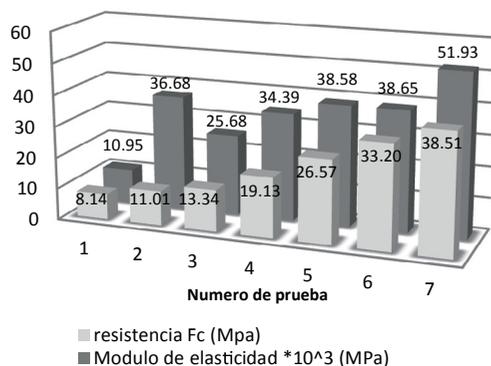


Figura 6. Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad longitudinal del concreto.
Fuente: Y. Motta y M. Pérez

Teniendo en cuenta que el agregado grueso utilizado es canto rodado y que este es proveniente de la roca ígnea que se encuentra en la zona, además para un $f'_c = 23,63$ MPa se esperaba para este valor un $E_c = 22.832$ MPa si fuera una construcción nueva, comparando el valor real con el esperado este es 6 veces menor al esperado, esto es debido a los efectos de la carga sostenida, al efecto de retracción del fraguado y a la fluencia del concreto que ha permitido una relajación del concreto produciendo pérdida de capacidad y sometiendo a mayores

esfuerzos al acero de refuerzo longitudinal F.E. Richart y R.L. Brown (1934).

La patología encontrada en elementos de concreto permitió detectar la ausencia de zapatas de cimentación en el eje C (5 columnas). La edificación en su totalidad no tiene vigas de amarre y presenta procesos de oxidación en el refuerzo longitudinal y transversal con pérdidas de área del refuerzo hasta de 26.32 mm² (12.34 % del área de la barra) en 10 de las 21 columnas auscultadas. Este proceso de oxidación se presentó por recubrimientos de sólo 20 mm, y por filtraciones de agua por las fisuras en la tubería de asbesto-cemento. Estas patologías permitieron que se presentará una despasivación del concreto acelerando los procesos de oxidación (Sánchez D., 2006). La columna D3 en una longitud de 72 cm por debajo de la losa de entrepiso no tiene estribos, además todas las columnas tienen estribos de 1/4" a cada 270 mm, los cuales no son permitidos por diámetro ni por separación máxima permitida por la actual NSR-10. Las vigas secundarias no cuentan con estribos de refuerzo que permitan responder a la demanda de fuerza cortante y esta tiene que ser asumida por el concreto para soportar el cortante. Esta situación es crítica y de alto riesgo pues el concreto ha perdido su capacidad debido al tiempo de servicio lo cual puede ocasionar una falla frágil. En la losa de cubierta se encontraron manifestaciones patológicas severas causadas por filtración de aguas las que originan eflorescencias y cultivos biológicos que causan el desprendimiento del pañete. La mampostería encontrada en la edificación es, no estructural conformada por 150 muros donde se identificó fisuras por retracción del fraguado, cambio del material, modificación del uso (puertas, acondicionadores de aire), fisuras horizontales en la base del muro por corrimiento en el plano hasta de 6 mm ocasionando fisuras diagonales con descascaramiento de los bordes a compresión y fisuras diagonales que se extienden hacia las partes superiores del muro (AIS, 2004). En la patología funcional se estableció niveles continuos equivalentes de decibeles (L_{aeq}) registrándose valores promedios de 79,0 dBA, 81,1 dBA y 75,40 dBA para las respectivas aulas de clase 403, 405, y 406 encontrándose niveles máximos ($L_{AFmáx}$) hasta de 111,2 dBA ubicados en las horas de mayor tránsito vehicular

que corresponden a las horas pico del medio día y las 5 p.m. (Ver Cuadro 2), esto ha reflejado un exceso de ruido que dificulta el uso como salones de clase pues el Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (resolución 0627, 2006) y NTC 4595 (2006a) establece como máximo nivel de ruido en salones de clase 65 dBA.

Medición del ruido (Aula 403)				
MEDICION	HORA L		aeq	LAFmáx
	INCIO	FINAL	(dBA)	(dBA)
1	09:04:15	09:19:15	84,1,9	2,0
2	10:06:15	0:22:15	81,8,8	6,3
3	11:50:17	2:04:17	84,2	111,2
4	14:37:39	4:54:39	74,8,8	5,6
5	16:02:08	6:17:08	74,0,8	6,3
6	16:45:47	17:00:47	77,4	86,2
			Promedio	79,0,8
				9,8

Tabla 2. Medición del ruido aula 403.
Fuente: Y. Motta y M. Pérez

El modelamiento estructural indica que derivas del 1% de la altura (NSR-10) son excedidas con valores altos hasta de un 18,52% en la dirección principal Y-Y, es decir en la dirección corta (Ver Figura 4 y 5). Esto es debido a que el flujo plástico en el concreto ocasiona una reducción en el módulo de elasticidad de 6 veces en su valor esperado para una edificación nueva, esto ha generado sobre la construcción una excesiva flexibilidad que ocasiona efectos de segundo orden principalmente en las columnas.

Derivas por piso

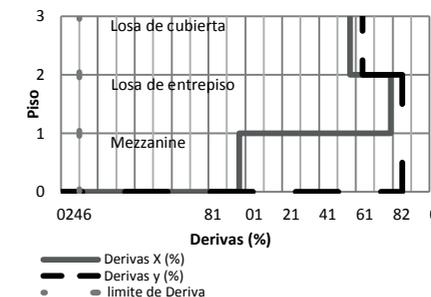


Figura 7. Derivas por piso.
Fuente: Y. Motta y M. Pérez



Conclusiones

Esta investigación permitió establecer que la pérdida de Ecsede alrededor de 6 veces del esperado para una edificación nueva. Esta degradación en el concreto genera sobre las edificaciones construidas antes de 1998 un aumento en su deformación de tal forma que no se ajusta a los requerimientos actuales de una deriva máxima permitida menor al 1%, pues la deriva máxima encontrada es de 18.52%, esto obligará a la edificación a ser reforzada a fin de cumplir lo dispuesto en la NSR-10.

El edificio presenta la patología de la columna corta la cual deberá ser corregida. Esta patología puede generar excesos de fuerzas a cortante donde se presenta la discontinuidad de muro cuando ocurran sismos. Adicionalmente se encontró oxidación en la unión de columnas y zapatas en el 49% de las columnas auscultadas, cultivos biológicos y eflorescencias en la parte superior de la losa de cubierta y en la inferior respectivamente.

La clasificación de zona de amenaza sísmica intermedia establecida en la NSR-10 para las construcciones ubicadas en Ocaña con aceleraciones pico efectiva de 0.20g, no ha sido excedida en los 14 años de registro acelerográfico del INGEOMINAS.

Funcionalmente se establece que los niveles de ruido son excedidos en gran proporción por lo que se recomienda la adecuación de las instalaciones con puerta acústicas y ventanas dobles con vidrio fijo para que este no interfiera con las actividades desarrolladas en las aulas, de lo contrario el edificio debe destinarse para un uso diferente a salones de clase.

Referencias Bibliográficas

Alcaldía municipal de Ocaña. (2011). Plan de Ordenamiento Territorial (POT). Ocaña, Norte de Santander.

Asociación de Ingeniería Sísmica, AIS.(2004). Guía de Patologías constructivas, estructurales y no estructurales. Bogotá D. C. Colombia.

Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica. Norma sismo resistente.(2010). Reglamento

colombiano de construcción sismo resistente. Bogotá D.C. Colombia.

Das B. M. (2001). Principio de ingeniería de cimentaciones. Capacidad de carga y asentamientos para las estructuras. 4ta ed. México: editorial International Thomson Editores, S.A.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas NTC 2.(2000a). Norma Colombiana del ensayo de tracción para materiales metálicos. Método de ensayo a temperatura ambiente. Ensayo de tracción a varillas de acero lisas. Tercera actualización. Bogotá D.C. Colombia.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas NTC 451. (2000c). Norma Colombiana de ladrillos cerámicos macizos. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto. Segunda actualización. Bogotá D.C. Colombia.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas NTC 673. (2000b). Norma Colombiana para concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto. Segunda actualización. Bogotá D.C. Colombia.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas NTC 1493. (1999). Suelos. Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad. Primera actualización. Bogotá D.C. Colombia.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas NTC 1495. (2001). Suelos. Ensayo para determinar el contenido de humedad de suelos y rocas, con base en la masa. Bogotá D.C. Colombia.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas NTC 1522.(1979). Norma Colombiana de suelos. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado. Bogotá D.C. Colombia.

Marín J., (1979). Comportamiento del concreto armado a flexo compresión. Universidad Central de Venezuela. Folleto de estructuras N°6. 4ª impresión. Caracas. Venezuela.

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (2006). Resolución 0627 de abril del 2006, Norma nacional de emisión del ruido y ruido ambiental. Bogotá D. C. Colombia.

Motta S. Y. y Pérez M. (2011). Trabajo de grado "Patología estructural y funcional del Edificio UFPSO sede la Primavera". Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Ocaña, Colombia

Pauw A. (1960). "Static modulus of elasticity of concrete as affected by density"; en ACI Journal, Proceedings, 57, 6, pp. 679-687, diciembre. USA.

Richard F.E., and Brown. R. L. (1934). An Investigation of Reinforced Concrete Columns. Universidad de Illinois. Estación experimental de Ingeniería, Boletín 267. USA.

Sánchez G. D. (2006). Durabilidad y patología del concreto. 2 ed. Asocreto, 216p. Bogotá D.C.

SAP 2000 V14.Advanced 14.2.0 (2010) Structural Analysis Program, computer and structures Inc., Berkely, California, USA.

Torres N. A. y Villate B. E. (1983). Topografía aplicada. Universidad Nacional de Colombia. 3era ed. Editorial Norma. Bogotá D.C. Colombia.

