

**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y
REHABILITACIÓN SÍSMICA DEL HOTEL
SAMARINA DE PROPIEDAD DE LA
UNIVERSIDAD PENÍNSULA DE SANTA
ELENA, PARA LA CREACIÓN DE UN
MODELO DISIPADOR DE ENERGÍA.**

*Richard Ramírez, Armando Saltos, Pablo Lindao, Kervin
Chunga, Juan Garcés, Alexis Balón, Miguel Suárez,
Linda Ordóñez*

*Fecha de recepción: 18 de septiembre del 2015
Fecha de aceptación: 15 de diciembre del 2015*

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y REHABILITACIÓN SÍSMICA DEL HOTEL SAMARINA DE PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD PENÍNSULA DE SANTA ELENA, PARA LA CREACIÓN DE UN MODELO DISIPADOR DE ENERGÍA.

Richard Ramírez², Armando Saltos¹, Pablo Lindao², Kervin Chunga²,
Juan Garcés², Alexis Balón³, Miguel Suárez³, Linda Ordóñez³.

¹Centro de Investigación de Geociencias, Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE).

²Docente de la Carrera Ingeniería Civil – UPSE.

³Estudiante de la Carrera Ingeniería Civil – UPSE.

E-mail: armandosaltos@hotmail.com

Resumen

El Hotel Samarina está ubicado frente al mar, en la cota +12 m s.n.m., en el cantón La Libertad, Provincia de Santa Elena. Fue construido al final de la década de los 50. El hotel Samarina terminado en un 70%, se compone de planta baja y tres pisos altos y estructuras de hormigón armado. La superficie total del mencionado hotel es de 2638 m². Actualmente, se conoce que en el Ecuador y principalmente en la Provincia de Santa Elena, presenta una alta sismicidad por estar ubicada cercana a la zona de subducción de la placa de nazca y la placa sudamericana. A través de una evaluación y diagnóstico estructural, conforme a las normas ecuatorianas NEC 2011 o códigos uniformes de edificación UBC 97 la actual edificación no cumple el diseño sismoresistente, y de acuerdo al conocimiento actual se elaboró un diseño moderno donde se mejoró su nivel de desempeño o comportamiento sismo resistente ante la acción de un sismo moderado, y con la aplicación de un software libre denominado ETAB's se implementó un modelo con sistema de reforzamiento, compuesto de disipadores de energía colocados en las caras laterales y reforzamiento de columnas en los cuatro niveles que componen el edificio.

Palabras Claves: Rehabilitación, reforzamiento, estructura, normas, evaluación.

Abstract

The Samarina Hotel is located close to the sea, at 12 m s.n.m., at La Libertad, Province of Santa Elena. It was constructed at the end of the decade of the 50. The hotel has a ground floor and three high floors and it has reinforced concrete structures with surface of 26382. In the Ecuador and principally at Province of Santa Elena, has a high seismicity conditions because of it are located near to the zone of subduction of the Nazca South plates. An evaluation and structural diagnosis was performed, according to NEC 2011 proceeding, and also with the uniform codes of building UBC97. It is important to indicate that the actual building does not fulfill the design seismic resistant requirements. To improve the level resistant earthquake was performed. A system of reinforcement, spendthrifts' compound of energy placed in the lateral faces and columns reinforcement in four levels that compose the building was implemented with the software free ETAB's.

Keywords: Rehabilitation, strengthening, structure, standards, assessment.

1. Introducción

El Hotel Samarina está ubicado frente al mar de la costa ecuatoriana en el cantón La Libertad, Provincia de Santa Elena. La elevación con respecto al nivel del mar se sitúa en la cota +12 metros. El hotel Samarina terminado en un 70% se compone de planta baja y tres pisos altos, tiene estructuras de hormigón armado, paredes de bloque, instalaciones eléctricas y sanitarias empotradas, ventanas y puertas de aluminio y vidrio, cuartos de baños con piezas sanitarias de primera. La superficie total del mencionado hotel es de dos mil seiscientos treinta y ocho metros cuadrados.

En esta edificación, de la Escuela de Hotelería y Turismo, por el estado de preservación, tiempo de uso y cambios en la normativa para el diseño y construcción de edificaciones, es necesario para evitar pérdidas humanas y materiales: Evaluarlas, Diagnosticarlas y Reforzarlas conforme las nuevas normas NEC 2011 o códigos uniformes de edificación UBC 97, de acuerdo al conocimiento actual y mejorar su nivel de desempeño o comportamiento sismo resistente ante la acción de un sismo moderado.

Los beneficiarios directos serán los estudiantes y docentes de la Universidad Península de Santa Elena, que tendrán un hotel – escuela, para desarrollar la parte académica y práctica profesional; y los beneficiarios indirectos serán los habitantes de la comunidad peninsular, que recuperarán una de las primeras edificaciones hoteleras emblemáticas de la región, y, además de que en este sitio se ha encontrado restos arqueológicos importantes, dando impulso al sector turístico de la Península de Santa Elena, por lo tanto, generará empleo a sus habitantes.

Actualmente se conoce que en el Ecuador y principalmente en la Península de Santa Elena, por estar ubicada cercana a la zona de subducción de la placa de nazca y la placa sudamericana, presenta una zona de alta sismicidad.

Las edificaciones construidas en el Ecuador tienen mayor vulnerabilidad sísmica que la de otros países que no tiene esta zona de subducción, esto se puso de manifiesto en los sismos del año de 1998, como el de Bahía de Caráquez y Canoa, en el que un importante número de edificios de hormigón armado colapsaron, o tuvieron daños importantes que impidieron su operación.

2. Metodología

En el estudio de evaluación estructural y reforzamiento sísmico de la estructura del edificio

del Hotel Samarina, se planteó la siguiente metodología dividida en 2 etapas:

Primera Etapa: Recopilación de información y ensayo de los materiales. En esta etapa se realizó toda la recopilación de la información de los estudios originales, elaboración de los planos y ensayos de los materiales.

- a) Inspección visual y verificación del estado de los diferentes elementos estructurales de la edificación.
- b) Revisión de las memorias técnicas y planos estructurales originales de la edificación.
- c) Relevamiento estructural de todos los niveles de la edificación.
- d) Ensayo de los materiales: Se realizaron ensayos al hormigón y al acero de refuerzo.



Figura 1. Fachada Principal del Hotel Samarina

Segunda Etapa: Análisis estructural, diseño del reforzamiento y costos referenciales.

- a) Evaluación de las cargas.
- b) Se evaluaron las solicitaciones que están actuando en la estructura como carga muerta, carga viva, acción sísmica y otras.
- c) Análisis estructural mediante modelos matemáticos en el computador.
- d) Con la información del relevamiento estructural y los ensayos de materiales, se generaron modelos matemáticos que reflejaron el comportamiento real de la estructura actual bajo la acción de las cargas.
- e) Evaluación y análisis de los resultados en base a la normativa NEC-11 del Código Ecuatoriano de la Construcción.
- f) Propuestas de reforzamiento estructural:

- Convencionales: ensanchamiento de elementos, incorporación de muros de cortante o pórticos especiales.
- No convencionales: como disipadores de energía.

g) Se analizaron las alternativas y se escogió la mejor desde el punto de vista técnico y económico, la cual fue la siguiente: Análisis y Diseño de los elementos de refuerzo consistió en la implementación del refuerzo en el modelo estructural de la edificación y la memoria técnica del diseño de los elementos.

h) Elaboración de planos de reforzamiento en la que constan: Planos ejecutivos de implementación del reforzamiento a escalas y que incluyen el proceso de ejecución y especificaciones de materiales.

i) Informe final del estudio.

2.1 Geología Local

Para determinar la formación rocosa sobre la cual subyace el Hotel Samarina, se consulto con planos geológicos del proyecto VRIL ESPOL, geosísmica realizada por el Dr. Kervin Chunga.

Se pudo apreciar mediante el estudio petrográfico la presencia de lutitas, areniscas y conglomerados con brecha que pertenecen a la formación cayo. El rumbo y buzamiento observado con la brújula Burton es de N55 W y 90 grados.

2.2. Ensayos de sismicidad y Estudio de suelos

En el ensayo de sísmica de refracción se refleja que la capa base no está distribuida de forma alineada, sino en forma de arco o sinclinal, puede estar informando que a lo largo de la línea de costa de la península exista este tipo de estructura o que sea de carácter local.

En el ensayo de REMI, se observa que el paquete de rocas sedimentarias estratificadas que se encuentra desde la superficie hasta el basamento rocoso estable, está representado al parecer, por intercalaciones de areniscas y calizas.

Como se observó en el ensayo REMI, es de destacar que el rango de oscilación del nivel medio del mar(mareas), así como el efecto de las olas , se produce a través de una capa de roca blanda y agrietada, estos efectos pueden estar causando socavación en las mismas, y debido al peso de las estructuras del HOTEL se está asentado este sector, originando los fenómenos de agrietamientos existentes.

En el estudio de suelo del Hotel Samarina, se exploró las condiciones y características del suelo, además, de la profundidad del estrato rocoso. los ensayos fueron realizados con tubo shelby, cuyos resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de suelos-SUCS

Estrato	Profundidad m	Clasificación SUCS	Descripción	Humedad %	IP %	Pasante #200
1	0-2 m	LL	Limo color amarillo pardo	25-34	14-16	63-67
2	2-3 m	CL	Arcilla color amarillo pardo	28.72	19	56
3	3 m		Lutita meteorizada			

2.3. Relevamiento arquitectónico y estructura del edificio

El edificio principal del Hotel Samarina, es una estructura de hormigón armado, está conformado por una cimentación con zapatas aisladas arriostradas, columnas rectangulares, losa plana nervada en dos direcciones con macizo alrededor de las columnas, mampostería no reforzada de bloque de hormigón y revestida con enlucido. No existen muros de cortantes ni mampostería armada.

El edificio en planta está conformado por dos bloques separados por una junta (Figura 3).

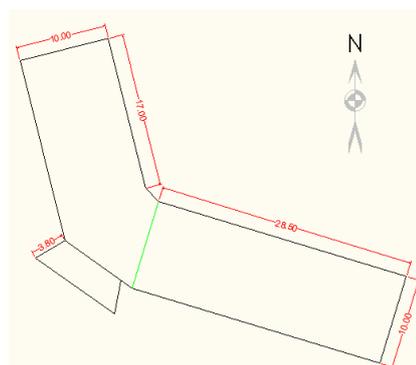


Figura 3. Planta general hotel Samarina

Los elementos analizados fueron los siguientes: zapatas, columnas, losas, marquesinas, juntas, escaleras, muro de acantilado, pasarela.

3. Evaluación y diagnóstico de los materiales

En el hotel Samarina, se evaluó la resistencia en conjunto de los miembros que la conforman, y de forma individual mediante ensayos no destructivos y destructivos. Los ensayos se realizaron con ayuda de los estudiantes de la asignatura Comportamiento de Materiales con la guía del Ing. Armando Saltos.

En los materiales ensayados básicamente se evaluó la resistencia a la compresión y a la tracción

de los dos materiales que dan la resistencia a la estructura respectivamente: hormigón y acero.

-Hormigón.- las principales características a analizadas fueron: la resistencia a la compresión del hormigón y la carbonatación.

Se realizaron ensayos no destructivos con el esclerómetro en columnas y losas, cuyos resultados se muestran en las Tablas 3,4, 5.

Tabla 3. Resistencia a la compresión del hormigón y carbonatación

Nombre de la columna	RESISTENCIA f'c (Kg/cm ²) DE CADA TOMA	RESISTENCIA PROMEDIO f'c (Kg/cm ²)	CARBONATACIÓN DEL CONCRETO
Columna planta baja	300 260 310	280	NO ENCONTRADA



Figura 3. Ensayo de Esclerómetro y prueba de carbonatación.

Tabla 4. Resistencia a la compresión del hormigón

COLUMNA 4			PROMEDIO (Kg/cm ²)
MEDIDA DEL ESCLERÓMETRO	DIRECCIÓN	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	
42	0°	380	438.33
46	0°	450	
59	0°	530	
49	0°	500	
40	0°	350	
44	0°	420	
COLUMNA			PROMEDIO (Kg/cm ²)
MEDIDA DEL ESCLERÓMETRO	DIRECCIÓN	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	
42	0°	380	324
39	0°	340	
44	0°	420	
32	0°	238	
34	0°	260	
35	0°	280	
40	0°	350	

-Acero Estructural.- en el hotel Samarina, encontramos al acero en forma de barras lisas longitudinales y en alambros o barras para flejes transversales (estribos).

Tabla 5. Resistencia a la compresión del hormigón

LOSA 1			PROMEDIO (Kg/cm ²)
MEDIDA DEL ESCLERÓMETRO	DIRECCIÓN	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	
46	(-)90°	490	390
50	(-)90°	550	
48	(-)90°	520	
39	0°	340 (PARED)	
LOSETA			PROMEDIO (Kg/cm ²)
MEDIDA DEL ESCLERÓMETRO	DIRECCIÓN	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	
40	(-)90°	400	427.86
44	(-)90°	460	
46	0°	450	
41	0°	370	
50	(-)90°	550	
36	(-)90°	340	
42	(-)90°	425	

Para determinar qué características tiene el acero utilizado en la construcción del hotel Samarina se determinaron las propiedades del acero, para lo cual fue necesario tomar una muestra de:

- Densidad.
- Resistencia a la tracción.
- Estabilidad (corrosión).
- Ductibilidad.

Tabla 6. Resultados de ensayos de acero de refuerzo en laboratorio UPSE

<i>Ensayo de acero de refuerzo 20mm</i>	
Límite de fluencia; fy	275,34 MPa.
Resistencia; fu	385,47 MPa
% Alargamiento; Al	38,93 %

Para la distribución del acero en columnas se empleó el ESCÁNER BOSCH.



Figura 4. Escaneo de varillas con equipo de láser óptico BOSCH.

La distribución de acero en los 4 niveles que conforman la estructura en estudio se detalla a continuación:

COLUMNAS

-En el primer nivel y segundo nivel, que corresponden a la cota +12.15m y la +15,70m respectivamente, la columna consta de 16 varillas de diámetro 25mm, con estribos de varilla lisa de 10mm de diámetro y espaciados cada 17 cm.

-En el tercer y cuarto nivel, correspondientes a las cotas +18.40m y +21.13m respectivamente, las columnas constan de 12 varillas de diámetro de 25mm, con estribos de varilla lisa de 10mm de diámetro y espaciados cada 17cm.

El recubrimiento libre es de 4cm, tomados entre el estribo y la superficie exterior del hormigón.

LOSAS

Existen 2 tipos de nervios que conforman la losa: Nervio Central y Nervio en Zona Columna.

- Los Nervios Centrales constan de 3 varillas de 25mm de diámetro, en la parte superior; y 2 varillas de 20mm de diámetro, en la parte inferior.

- Los Nervios en Zona Columna constan de 2 varillas de 25mm de diámetro, en la parte superior; y 2 varillas de 20mm de diámetro, en la parte inferior.

4. Modelo y evaluación estructural actual del Hotel Samarina

El edificio se modeló a través del software libre ETABs, que es un programa de análisis y diseño estructural basado en el método de los elementos finitos, con características especiales para el análisis y diseño estructural de edificaciones. Este programa trabaja dentro de un sistema de datos ingresados, todo lo que se necesita es integrar el modelo dentro de un sistema de análisis y diseño con una versátil interfase.

Los datos ingresados al software empleado se presentan en las Tablas 7 y 8.

Tabla 7. Datos técnicos ingresados

SISTEMA ESTRUCTURAL			
SISTEMA	APORTICADO		
COLUMNAS	60x40 cm.	NERVIOS	12x13 cm
	50x40 cm.		12x25 cm
SISTEMA DE LOSAS		NERVADA (e= 30 cm.)	
f'c (Kg/cm2)-COLUMNAS Y NERVIOS		280	

Tabla 8. Datos generales ingresados

DATOS GENERALES			
FUNCIÓN	EDIFICIO HOTEL		
UBICACIÓN	LA LIBERTAD, SANTA ELENA		
ÁREA	309.21 metros cuadrados.		
NIVELES	4	H PRIMER NIVEL	3.27 m.
		H SEGUNDO NIVEL	2.4 m.
		H TERCER NIVEL	2.43 m.
		H CUARTO NIVEL	2.36 m.

5. Vulnerabilidad Sísmica del Hotel Samarina

Se conoce que en el Ecuador y principalmente en la Península de Santa Elena, por estar ubicada cercano a la zona de subducción de la placa de nazca y la placa sudamericana presenta una zona de alta sismicidad.

Las edificaciones construidas en el Ecuador tiene una mayor vulnerabilidad sísmica que la de otros países que también se ubican en esta zona de subducción, esto se puso de manifiesto en los sismos del año 1998, como el de Bahía de Caráquez y Canoa, en la que un importante número de edificios de hormigón armado colapsaron, o tuvieron daños que impidieron su operación.

Las edificaciones que se encuentran en el predio y en especial el hotel Samarina, que tiene 4 plantas que consta de una superestructura de hormigón armado que fue construida hace más de 50 años, a finales de los años 60. En estas edificaciones, de la Escuela de Hotelería y Turismo, por el estado de preservación, tiempo de uso y cambios en la normativa para el diseño y construcción de edificaciones, es necesario para evitar pérdidas humanas y materiales: evaluarlas, diagnosticarlas y reforzarlas conforme las nuevas normas NEC 2011 o códigos uniformes de edificación UBC 97 o de código de rehabilitación como lo es el FEMA, de acuerdo al conocimiento actual, y mejorar su nivel de desempeño o comportamiento sísmo resistente ante la acción de un sísmo severo.

6. Reforzamiento y Protección del Hotel Samarina

El reforzamiento del Hotel, es consecuencia de un diagnóstico que determinó que el sistema es vulnerable sísmicamente, es decir, que prevalece el criterio de prevención antes que reparación. El reforzamiento logra que la estructura esté preparada para resistir un sísmo, pasando de insegura a sísmo-resistente.

Tipo de reforzamiento aplicable al Hotel Samarina:

Existen varias técnicas de reforzamiento que depende de las necesidades que tenga la estructura, en general se puede aplicar alguna o algunas de las siguientes opciones:

- Construcción de muros estructurales.
- Revestimiento con fibra compuesta.
- Diagonales rigidizadoras.
- Reforzamiento de columnas: diagonales con amortiguadores.

Siendo esta última, Reforzamiento de Columnas, la que se aplico al Hotel Samarina, y cuyo desarrollo se tratará en la siguiente sección.

7. Modelo de Diseño Disipador de Energía para la Rehabilitación Sísmica del Hotel Samarina.

Las características del concreto y del acero de refuerzo especificadas para el diseño e ingresadas al software ETABS, son:

Resistencia a compresión del concreto:

$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad del concreto:

$E_c = 251000 \text{ kg/cm}^2$

Peso específico del concreto:

$\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$

Coefficiente de Poisson:

$\nu = 0,2$

Módulo de corte

$0,417 \times E_c = 104667 \text{ kg/cm}^2$

Esfuerzo de fluencia del acero: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Los resultados con este modelo de análisis son:

- Ubicación de los dispositivos de amortiguamiento: A continuación se muestran la distribución propuesta mediante gráficos obtenidos del programa ETABS, en sentido X-X y en sentido Y-Y.

- Total disipadores en sentido X-X: 16 disipadores.

- Total disipadores en sentido Y-Y: 30 disipadores.

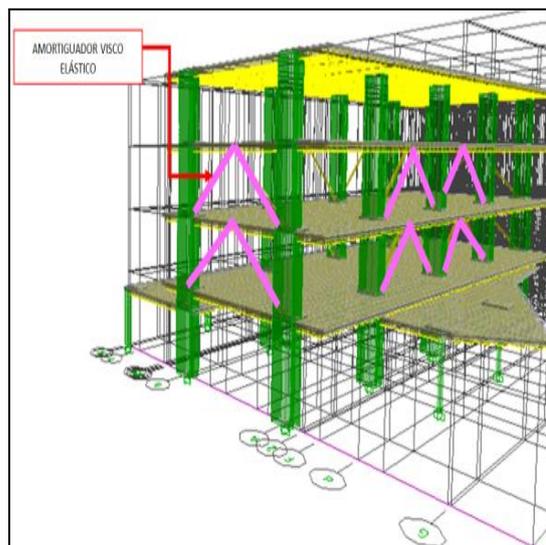


Figura 5. Disposición de dispositivos amortiguadores visco elásticos (Damping)

Tomando en consideración los resultados del diseño final propuesto se puede definir las propiedades de los dispositivos con ayuda de la información proporcionada por los diversos fabricantes.

El principal fabricante de los dispositivos de amortiguamiento es la marca de origen estadounidense TAYLOR DEVICES INC.

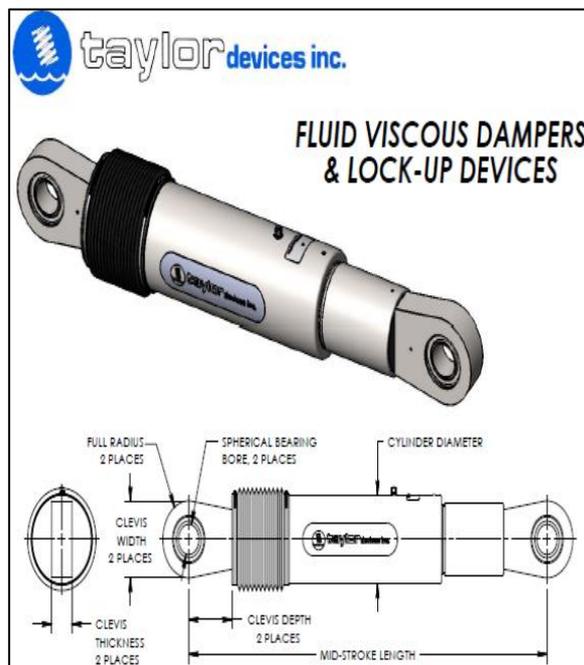


Figura 6. Tipo de dispositivo Taylor (Disipadores de energía)

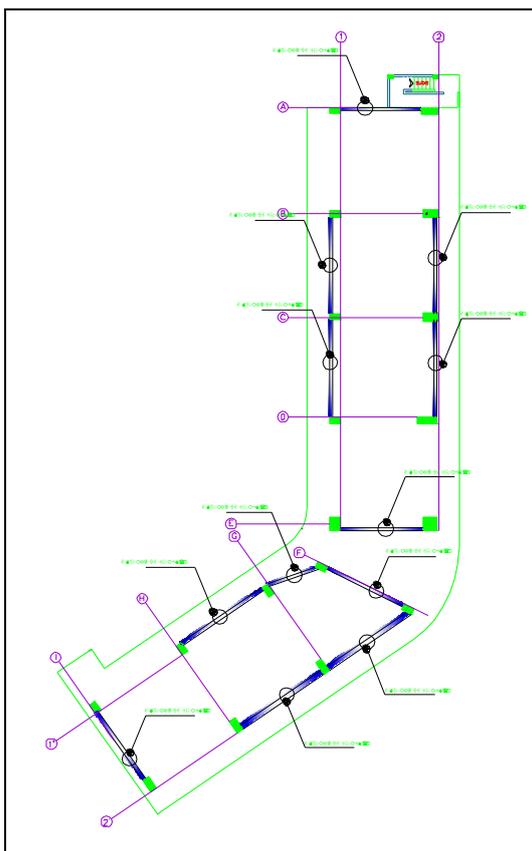


Figura 7. Ubicación dispositivos amortiguadores en segundo nivel del edificio.

8. Rediseño de columnas

Se diseñaron 2 columnas representativas por tener mayores esfuerzos axiales y estar conectadas a los dispositivos a través de sus nudos; estas son las columnas de la planta baja y primer nivel en forma general y las columnas superiores. Se procedió a analizar el edificio con el espectro reducido, y después se aplicaron los factores de amplificación de fuerza a los desplazamientos.

Según esto, las secciones de las columnas existentes en el hotel Samarina no son resistentes cuando se aplican las fuerzas sísmicas. Entonces el rediseño de las columnas es: un recubrimiento de 20 cm para las columnas de 60 x 40 cm y de 15 cm para las columnas de 50 x 40. La distribución de acero de refuerzo requerido es: 48 varillas de 14mm para las columnas de 80cm x 100cm; y de 44 varillas de 14mm para las columnas de 70cm x 80cm, con estribos de 10mm espaciados cada 10cm.

Para el primer y segundo nivel le corresponden las columnas de 80cm x 100cm; y, para el tercer y cuarto nivel le corresponden las columnas de 70cm x 80cm.

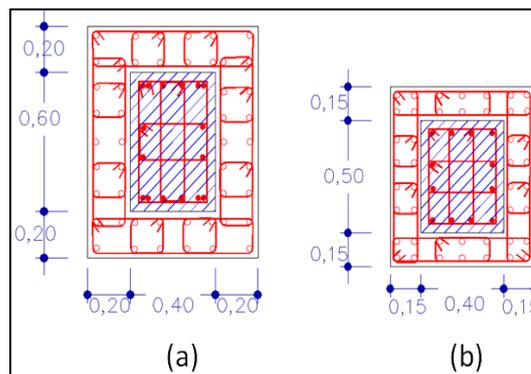


Figura 8. Distribución del acero de refuerzo y nuevo espesor de columnas reforzadas. (a) Columnas de 1er y 2do nivel, (b) Columnas de 3er y 4to nivel.

Por lo tanto, se reforzarán **233.2** metros lineales de columnas en el edificio a intervenir, lo que representa un total de 80 columnas localizadas en los cuatro niveles del Hotel Samarina.

El total de varillas de 10mm de diámetro a emplear en el reforzamiento es de 933 por un ala del edificio, dando un total de **1866** varillas; y el de 14mm es 556 por ala, dando un total de **1112** varillas. Cada varilla tiene una longitud de fábrica de 12m.

El volumen total de hormigón de $f'c=280\text{kg/cm}^2$ a emplear en el reforzamiento es de 60.03 m³ por ala, dando un total de **120.06** m³.

9. Conclusiones

- Del análisis estructural realizado al hotel Samarina existente se concluye que es necesario el reforzamiento de su estructura en especial las columnas para reducir su vulnerabilidad sísmica y salvaguardar la vida de los usuarios y su propiedad de acuerdo al rediseño de sus secciones transversales de sus columnas y la implementación del modelo con disipadores de energía según especificaciones tales como las presentadas en este trabajo (tomadas de NEC2011 y FEMA).
- Se puede indicar que el relevamiento arquitectónico y estructural del hotel Samarina es válido para este tipo de estudios.
- El hormigón y acero de refuerzo se encuentran en buen estado salvo en sitios puntuales donde el hormigón y acero deben de reemplazarse por completo.
- Con el modelo estructural obtenido en ETABS se pudo evaluar el desempeño estructural ante un espectro de respuesta NEC-2011.

- Se puede indicar que el peligro es alto y la vulnerabilidad sísmica del Hotel Samarina es tal que pone en peligro la vida de los usuarios sino se realiza el reforzamiento.

- El reforzamiento de las secciones de las columnas y colocar amortiguadores de fluido visco elástico en las dos pisos y en dos direcciones en la estructura del hotel Samarina está basado en el diseño por desempeño moderno a partir de la derivada objetivo de 1.58% (según HAZUS) y es el adecuado para mantener un control de daño extensivo y/o seguridad de vida.

10. Agradecimientos

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo, haciendo posible su culminación exitosa, por ello quedamos agradecidos por la participación desinteresada, de la empresa SIKA S.A. como de los estudiantes de la cátedra de Comportamiento de Materiales de la carrera de Ingeniería Civil.

11. Referencias Bibliográficas

- [1] Tesis.Guevara_Diego_y_Torres_Percy_Edificio_Aporticado Amortiguadores.
- [2] Tesis. Boza_Zuen_y_Galan_Danny_ Disipadores _Energia_Ehevron
- [3] Comparación de derivas de pisos en Sudamerica-Ceinci (Escuela Politécnica Del Ejercito).
- [4] Dynamics Of Structures (Anil K. Chopra)
- [5] Nehr Commentary On The Guidelines For The Seismic Rehabilitation Of Buildings (FEMA 273-274).
- [6] Guía Popular De Construcción Sismo Resistente (CEC-2000).
- [7] Capítulo 2 De Norma Ecuatoriana De Construcción (NEC-2011).
- [8] Diseño Por Desempeño De Edificaciones En Hormigón Armado Con Muros De Corte Utilizando El Programa Etabs (Ronald Alejandro Cueva Jiménez).
- [9] Estudio De La Seguridad Sísmica Y Diseño Del Reforzamiento Estructural De Una Vivienda De Tres Pisos (Jacqueline Vanessa Ochoa Román).
- [10] Learning Of Etabs Software (Prakashsiyani, Saumil Tank, Paresh V. Patel - Eterdcs-Nirma Uni. 25-29 May 2009).