

Diseño Estructural para Edificio de Concreto Reforzado

Wilfred Rodríguez Torres
Ingeniería Civil
Balhan Alsaadi Altayeb, Ph.D.
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Universidad Politécnica de Puerto Rico

Abstracto — El artículo se enfoca en análisis y diseño estructural de un edificio en concreto reforzado. Se muestra un procedimiento lógico de diseño, en donde se pretende alcanzar una configuración estructural conforme a las necesidades y requerimientos de códigos aplicables. Dimensiones preliminares de miembros estructurales estas seleccionadas por factores arquitectónicos y consideraciones sísmicas. El procedimiento establecido comienza con la descripción del proyecto. Después de tener el concepto preliminar se definen objetivos y métodos de diseño. También se presenta como herramienta un programa de computadora que genera el espectro de respuesta sísmica. En el diseño se presentan; datos de suelo y el estudio del espectro de respuesta. Se definirán todas las fuerzas que actúan en la estructura para proceder con el análisis estructural. Presentar resultados y el diseño de detalles. En adición, se presenta un programa de vaciado de concreto.

Términos Claves — Concreto Reforzado, Diseño Estructural, Espectro, Terremoto.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Un edificio de 8 niveles en concreto reforzado será estructuralmente diseñado. El uso de la estructura será de residencias para personas de mayor edad. El edificio esta propuesto para construcción en el municipio de Fajardo en Puerto Rico. Está compuesto de 64 apartamentos distribuidos a 8 por nivel. En el diseño preliminar arquitectónico la estructura está compuesta de paredes y losas de pisos. También tiene áreas de escaleras y elevadores. El edificio consta de una planta de aproximadamente 4,900 pies cuadrados.

El sistema sismo-resistente está compuesto por paredes de cortante en dirección N-S y pórticos

exteriores en la dirección E-O, como muestra la Figura 1. No se consideraron deformaciones laterales en las losas teniendo así traslación rígida (diafragma) en las mismas. La geometría de los elementos mencionados está definida considerando la categoría de diseño sísmico, en adición a las consideraciones típicas. Las paredes y losas consisten en seis pulgadas de espesor, columnas de doce por dieciséis pulgadas y vigas de quince pulgadas de alto por diez pulgadas de ancho. Las vigas tienen un largo de 248 pulgadas. Columnas y paredes entre pisos poseen una altura de 8 pies.

Por otra parte la fundación será tipo “matre” con espesor variable en el área de los elementos verticales que llegan a la misma. Este espesor de la zapata tiene un máximo de 18 pulgadas y un mínimo de 6 pulgadas.

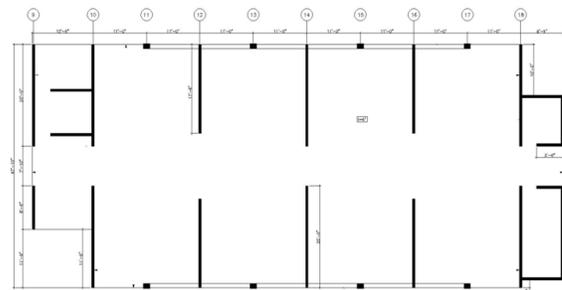


Figura 1
Planta Estructural

OBJETIVOS

- Presentar un diseño estructural que sea suficientemente resistente, rígido y dúctil a las cargas gravitacionales y sísmicas según los códigos de diseño [1].
- Desarrollar una herramienta practica en donde se facilite la generación de espectros de respuesta para el análisis estructural. Demostrar la utilización de resultados en un diseño real.

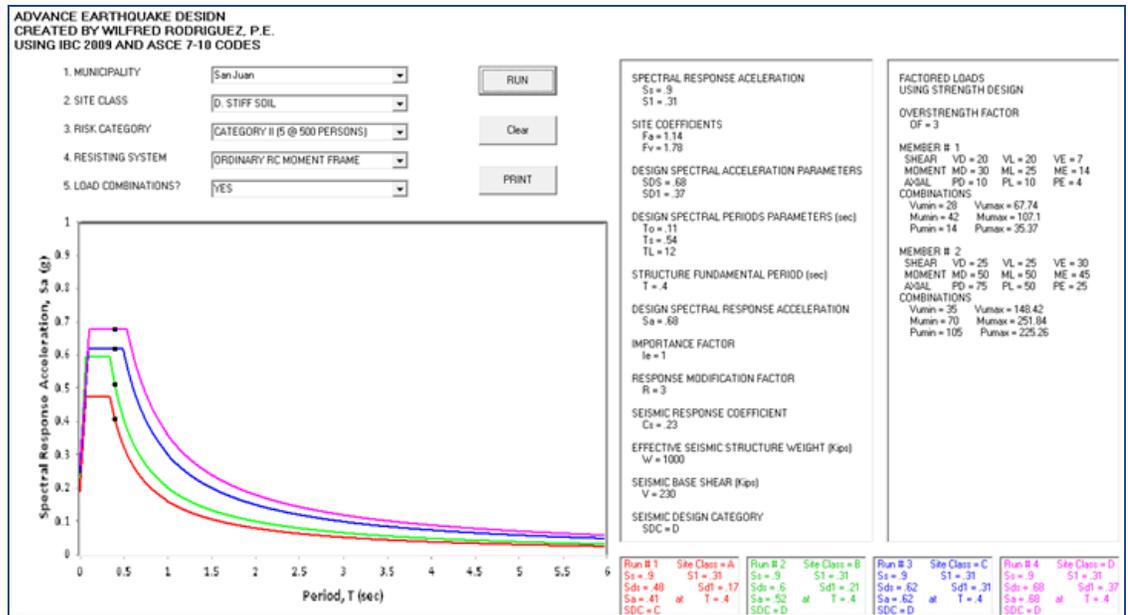


Figura 2
Ejemplo de Resultados del Programa Spectrum

MÉTODOS DE DISEÑO

El análisis y diseño de la estructura propuesta es realizada por la teoría de “elementos finitos”. Este análisis de elementos finitos es realizado por los programas comerciales utilizados.

Para considerar los efectos sísmicos se utiliza el método de carga lateral equivalente por medio de un análisis estático. Los parámetros requeridos para obtener el efecto sísmico serán generados por herramienta en donde se crea los espectros de respuesta [1][2][3].

PROGRAMA PARA ESPECTROS DE RESPUESTA SÍSMICA

Se desarrollo un programa de computadora como herramienta práctica que facilita los cálculos para obtener las fuerzas sísmicas utilizadas en el análisis estructural. Este programa fue creado en el lenguaje Visual Basic y está basado en ventanas en donde usted sigue instrucciones.[4]

El programa fue desarrollado usando el código correspondiente [2]. Su función principal es general el espectro de respuesta sísmica de una estructura para el diseño. También es capaz de calcular la

fuerza cortante en la base de la estructura. Además hay otra opción para factorizar las cargas encontradas en nuestro análisis, con estas cargas comienza el diseño del detalle.

El programa comienza con una ventana en donde usted debe escoger las opciones que serán la entrada de datos. Tiene dos columnas en donde se presentará resultados numéricos y otro espacio para presentar resultados gráficos.

Para observar el funcionamiento del programa se presentan varias corridas en donde se varia el suelo para observar los diferentes espectro para diferentes pueblos.[5]

Como se puede observar en la Figura 2 los resultados se muestran en distintas formas. La grafica muestra el espectro de respuesta de hasta 4 distintas opciones identificadas por distintos colores, también los resultados numéricos en colores corresponden al espectro de su mismo color. Por otra parte tenemos dos espacios donde muestran resultados de la ejecución resiente.

DISEÑO ESTRUCTURAL

A continuación se presenta el diseño de un edificio de concreto reforzado. Se observaran todas las etapas de diseño, como la definición de

parámetros para el análisis estructural, el análisis estructural por medio de programas comerciales y el diseño de los detalles.[6]

Descripción del Sitio

El sitio tiene una forma rectangular y es de aproximadamente 1.1764 cds en área. Basado en los planos existentes de topografía y las visitas al sitio se puede decir que el área es razonablemente plana.

Datos y Clasificación del Suelo

El estudio de suelo fue realizado por Turabo Testing, Inc. En el “boring” #1 (critico) en los primeros 5 pies existe terreno de bajo Qu, equivalente a 3.8 TSF.

Como recomendaciones, el estudio indica remover 5 pies del material no deseado. Rellenar con material A-2-6 o mejor, a un mínimo de 90% de compactación del máximo de la densidad seca obtenida en la prueba “proctor”. Usar un “bearing capacities” de suelo de 3,000 a 4,000 psf para zapatas aisladas o continuas y un modulo de suelo de 100 a 70 kcf.

Se sigue las recomendaciones del estudio. Se realizara la remoción de 5 pies de material y

rellenar 3 pies con material de clasificación A-2-6. Utilizar 4,000 psf como “soil bearing capacity” y 70 kcf como modulo de suelo.

La clasificación del suelo está basada en los códigos [2]. Para obtener la clasificación se utilizo los valores de N (Standard penetration test). Según Ecuación (1) “N” promedio es:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (1)$$

$$N = \frac{5 + 5 + 5 + 5 + 5}{\frac{5}{25} + \frac{5}{21} + \frac{5}{25} + \frac{5}{28} + \frac{5}{33}} = 25.82$$

El valor está entre 15 y 50, “D. Stiff Soil”. Por otra parte también se quiere verificar si nuestro suelo es tipo F. Según código [2], el suelo es tipo F si el suelo es vulnerable a fallo o colapso por cargas sísmicas, licuefacción, arcillas sensitivas ó si son arcillas de alta plasticidad (En capa de 25 pies tener PI>75) ó arcillas “soft/medium stiff” (En capa de 120 pies tener Su < 1000 psf). Nuestro suelo no se comporta de la forma descrita por lo tanto nuestro suelo es tipo “D”.

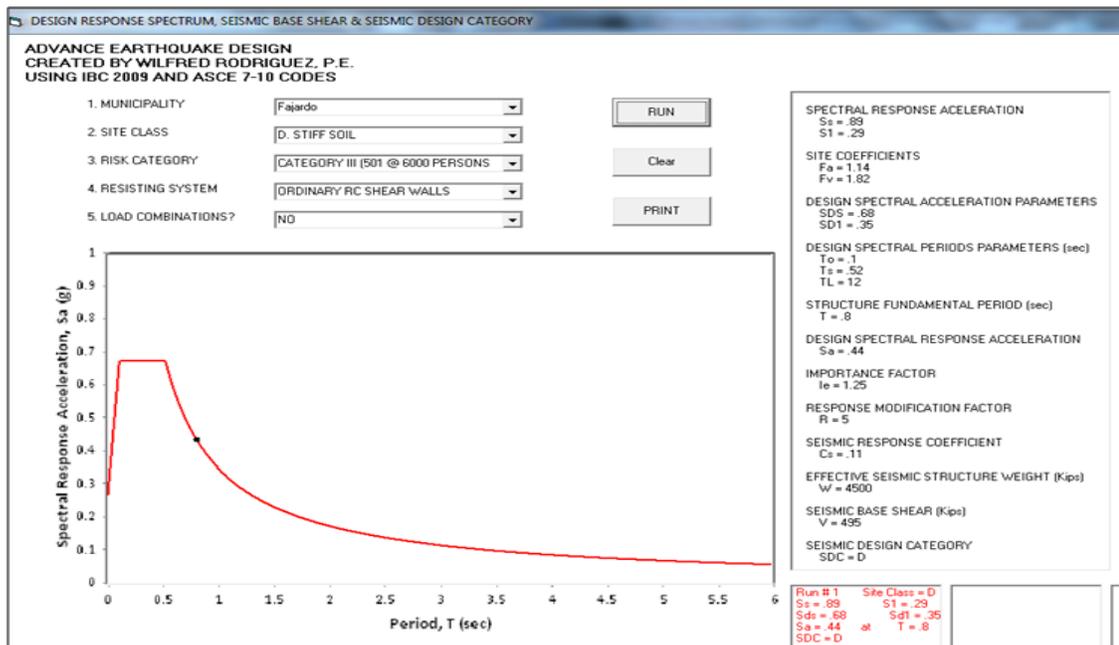


Figura 3
Espectros de Respuesta Sísmica

Espectro de Respuesta Sísmica

Para el diseño de estructuras sujetas a movimientos del suelo causados por terremotos se consideran varios criterios establecidos en los códigos[2][3]. Utilizando estos criterios y parámetros se desarrolla la curva de espectro de respuesta para nuestro diseño.[7]

El espectro de respuesta que se usara en el diseño será generado por el programa de computadora desarrollado y discutido en la sección #3 de este informe. Para obtener los resultados del programa se tienen que conocer los datos iniciales a entrar. Los datos de este caso son: municipio de Fajardo, suelo tipo “D”, categoría de riesgo II, sistema de resistencia sísmica tipo paredes de cortante y por ahora “No” en la combinaciones de cargas. También hay entrar el periodo fundamental de vibración igual a 0.8 segundos (asumir 10% del número de pisos) y el peso de la estructura de 4500 kips. Después de usar el programa obtenemos el espectro y la categoría de diseño sísmico “D” (ver Figura 3).

Modelo Analítico

Los modelos analíticos propuestos están basados en criterios geométricos, resistencia, ductilidad y rigidez lateral. Se evaluarán varias alternativas hasta encontrar la composición estructural adecuada que cumpla con los objetivos.

En la primera alternativa evaluada (ver Figura 4) se presenta un sistema de paredes siguiendo la arquitectura propuesta. Por inspección, este sistema en respuesta sísmica será muy rígido en una dirección. Esta alternativa no es viable ya que no presenta un balance entre rigidez y ductilidad.

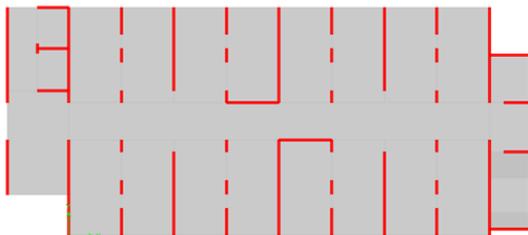


Figura 4
Planta de Modelo A

El modelo propuesto en la alternativa “B” muestra un sistema de paredes resistente a cortante combinadas con columnas, como muestra la Figura 5. En esta alternativa se mejoro la ductilidad sin embargo distribuye mas cargas laterales a las paredes de las escaleras y elevadores. Además crea un problema de posible falla por fuerza cortante en la losa. Esta falla puede ocurrir en el perímetro que está en contacto con las columnas. De acuerdo a las situaciones mencionadas se tiene que descartar esta alternativa.

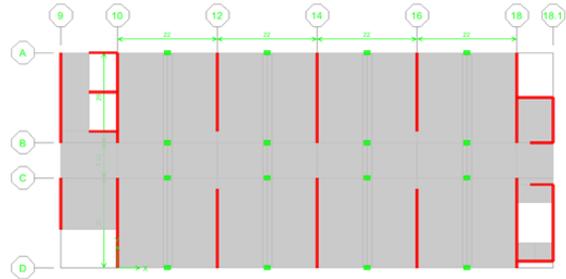


Figura 5
Planta Modelo B

La alternativa “C” (ver Figuras 6 y 7) presenta una solución que cumple con los objetivos establecidos para un diseño estructural que tenga una respuesta sísmica adecuada. Este modelo basado en la interacción de paredes y pórticos de concreto reforzado provee la resistencia, ductilidad y rigidez necesaria a fuerzas laterales y gravitacionales.

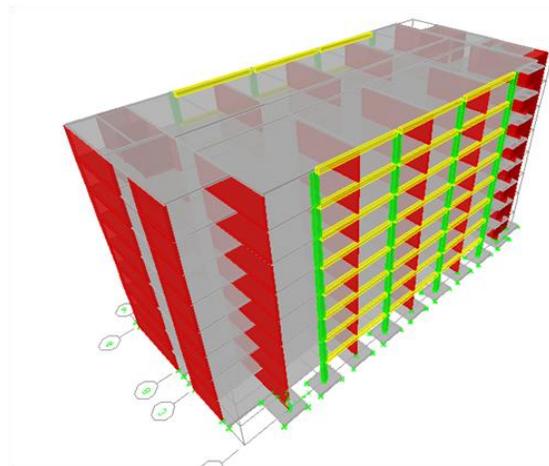


Figura 6
Modelo C en Tres Dimensiones

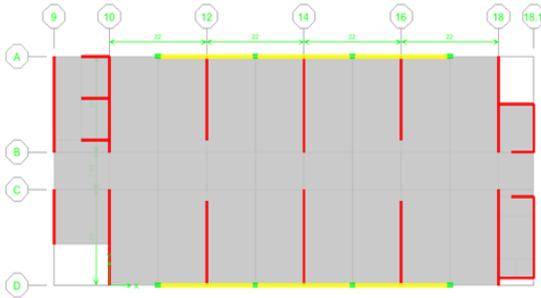


Figura 7
Planta Modelo C

Cargas Aplicadas

Para el análisis estructural se consideraron cargas muertas, vivas y sísmicas según se muestra en las Tablas 1 y 2. Para la carga muerta, el programa de análisis automáticamente hace el cálculo, sin embargo se tiene añadir el peso de las terminaciones, particiones y fachadas. Las cargas sísmicas están basadas en el estudio del espectro.

Tabla 1
Cargas Gravitacionales

Carga	Detalles	Valor
Muerta	El peso propio, calculado automáticamente por programa de análisis ETABS.	-
Muerta	Carga uniforme en losas. (Terminaciones + Particiones)	35 psf
Muerta	Carga uniforme en vigas (cargas de fachadas)	350 psf
Viva	Carga uniforme en losas. (Para uso residencial)	40 psf
Viva	Carga uniforme en losas. (Pasillos y cuartos públicos)	100 psf

Tabla 2
Parámetros Sísmicos

Símbolo	Detalles	Valor
Ss	Aceleración espectral a .2 segundos	.89
S1	Aceleración espectral a 1 segundos	.29
Clase	Clase de Suelo	D
SDs	Aceleración de diseño espectral a .2 segundos	0.68
SD1	Aceleración de diseño espectral a 1 segundos	0.35
R	Factor de modificación de respuesta	5
I	Factor de importancia	1.25

Análisis Estructural

Para el análisis estructural se utilizaron dos programas comerciales de Computers and Structures, Inc. El análisis del modelo dual seleccionado se realizó en el programa ETABS. Para la interacción de suelo-estructura, el análisis y diseño de cimentaciones se utilizó el programa SAFE.

ETABS es un programa de análisis y diseño estructural basado en el método de elementos finitos. El método gráfico de interacción usado en el programa, permite ser versátil y productivo, tanto si se está analizando un pórtico bidimensional o realizando un análisis dinámico de un edificio en tres dimensiones.[8]

Para realizar el análisis de la estructura propuesta se definieron la geometría, materiales y las fuerzas externas que actuaran en la estructura. Dentro de la definición geométrica también se define el sistema estructural escogido. El sistema a estudiar está compuesto de ocho niveles con elementos estructurales llamados diafragmas, paredes de corte, vigas y columnas.

Después de definir todos estos parámetros se realiza el análisis. Se debe verificar varias cuantificaciones como: las deflexiones en las losas y los desplazamientos laterales relativos entre niveles. Según muestra los resultados los desplazamientos relativos entre pisos son aceptables ya que son menores que el 1.5% de la altura.

Para el análisis de losas y zapatas se utilizó el programa SAFE. Sus funciones van desde el diseño del "layout", hasta el diseño y la producción de dibujo de detalles. El programa integra todos los aspectos del proceso de diseño de ingeniería en un entorno cómodo y fácil. También ofrece beneficios para el ingeniero, con su combinación entre visualización gráfica, la capacidad de análisis y la facilidad de uso.[9]

Observando Figura 8 se puede ver el comportamiento o deformada de la losa estructural en reacción a las cargas gravitacionales. De este análisis se desprende que la deflexión máxima a

largo plazo de la losa es de 0.54 pulgadas. Esta deflexión se compara con el cómputo de deflexión permisible que presenta el código según la Ecuación (2) [10].

$$\delta = \frac{l}{480} = \frac{22 * 12}{480} = 0.55 \text{ pulg.} \quad (2)$$

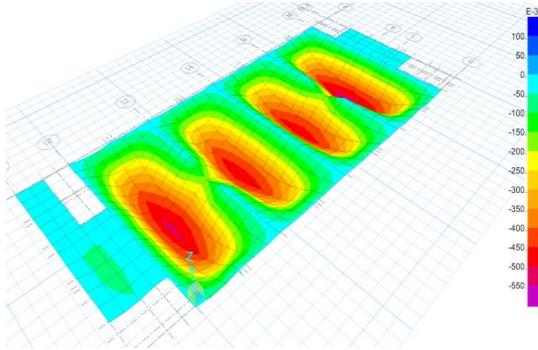


Figura 8
Deflexiones de la Losa (pulg.)

En el análisis de la fundación de la estructura se redimensiono la zapata de acuerdo a la presión de suelo permitida. Se utilizo para el análisis un modulo de suelo de 70 kcf y una presión permitida de 4,000 psi. También se verifico el espesor para que no falle por fuerzas cortante. Se evaluaron varias alternativas antes de llegar a la solución final, un matre con variación en espesor.

En la Figura 9, se puede observar la sombra que indica los cambios en espesor. En la Figura 10, se muestra las presiones generadas en el suelo siendo 3194 psf la presión máxima generada. Esta presión está por debajo de la permitida (4000 psf).

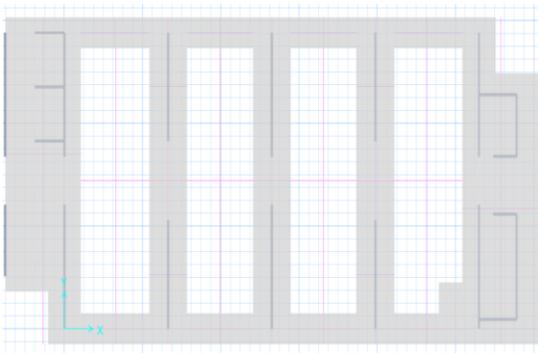


Figura 9
Alternativa Final para Zapata

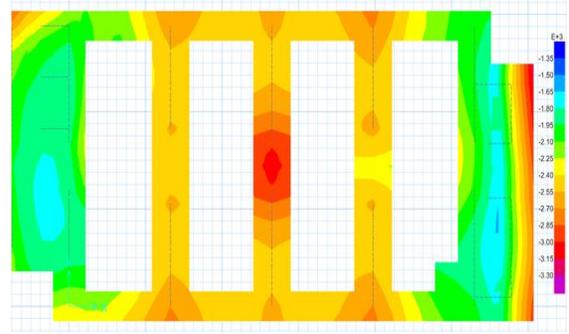


Figura 10
Presiones de Suelo

Resultados

Se presentan los resultados obtenidos mediante los programas que se utilizaron para el análisis. Estos resultados representan las fuerzas internas de los miembros estructurales y están expresados en kips pies. En la Tabla 3 presenta resultados de los miembros críticos y en la Figura 11 se presentan los resultados de la zapata.

Tabla 3
Resultados del Análisis

Tipo	Carga	Axial	Corte	Momento	
Pared	Muerta	516.94	24.80	227.45	
	Viva	186.92	22.04	136.15	
	Sismo	44.05	53.09	1189.32	
Columna	Muerta	85.35	0.85	2.96	
	Viva	24.31	0.41	1.41	
	Sismo	11.85	3.50	16.91	
Vigas			Corte	Momento (neg.)	Momento (pos.)
	Muerta	2.43	6.52	3.90	
	Viva	0.81	2.38	1.10	
	Sismo	3.54	18.38	18.38	

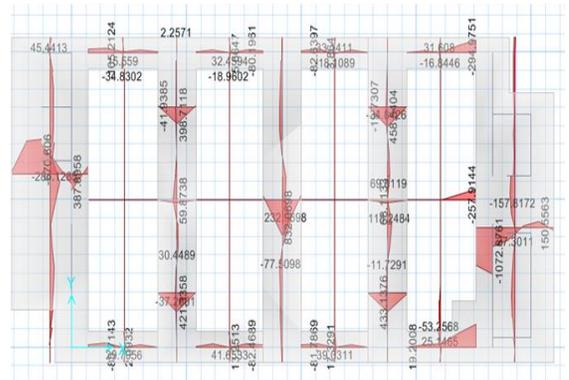


Figura 11
Momentos en Zapata

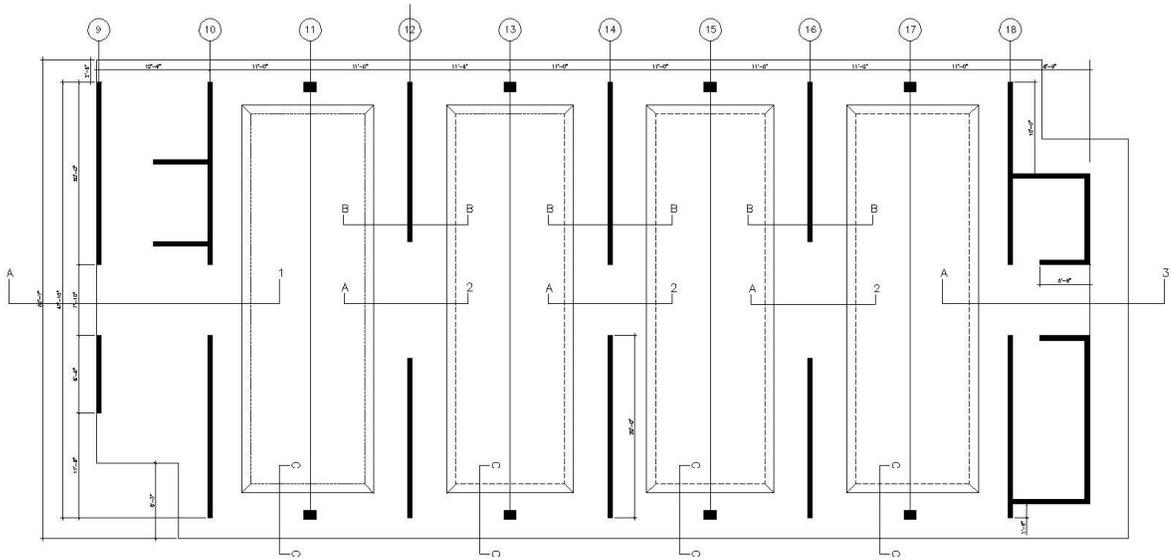


Figura 13
Zapata Estructural

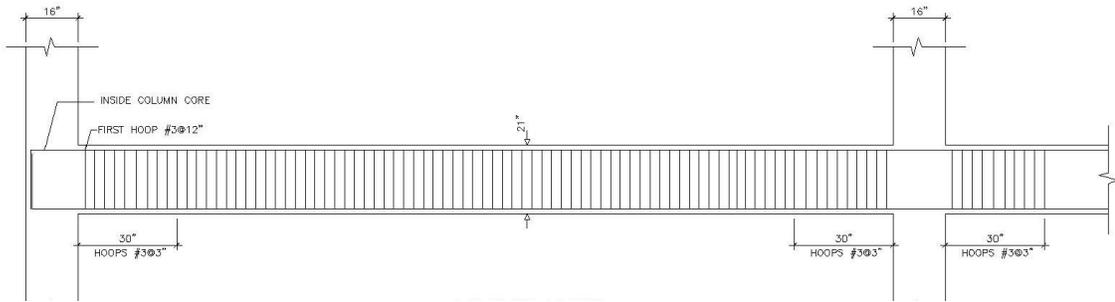


Figura 14
Detalle de viga

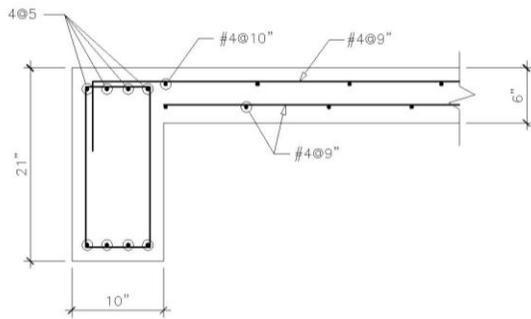


Figura 15
Seccion de Vigas

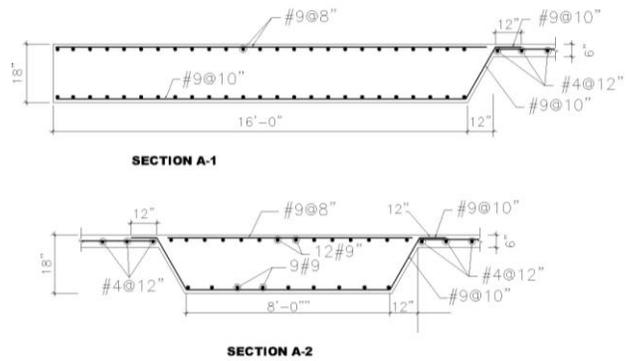


Figura 16
Secciones de Zapata

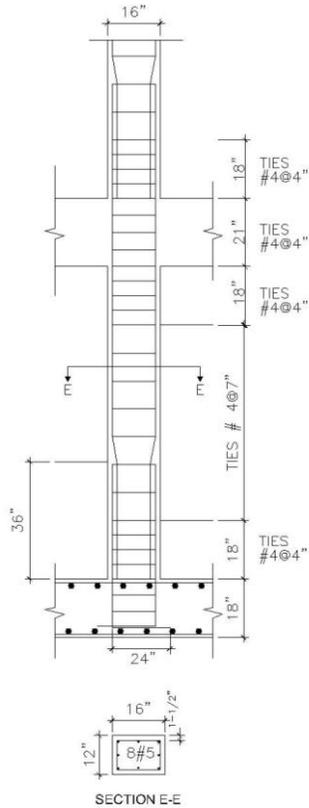


Figura 17
Seccion de Columnas

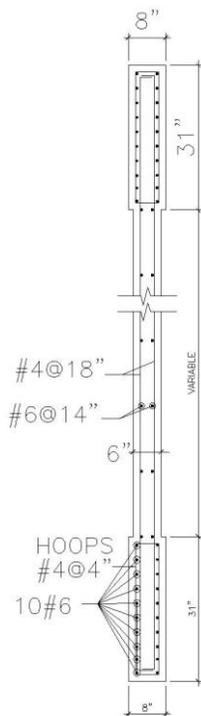


Figura 18
Seccion de Paredes

VACIADO DE CONCRETO

Se define una secuencia de vaciado, por medios de juntas de construcción. La cantidad de concreto que se puede verter entre juntas depende de varios factores como el tiempo de servido del concreto, la cantidad de obreros y el tiempo disponible.

Se utilizara una junta de construcción tipo “llave”, como muestra la Figura 19 [10]. La ubicación de estas juntas se muestra en las Figuras 20 y 21.

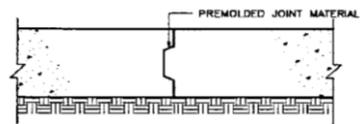


Figura 19
Junta de Construcción

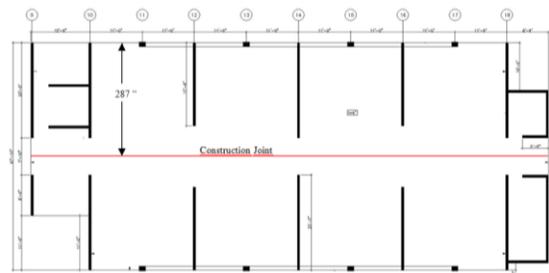


Figura 20
Junta de Construcción en Losas

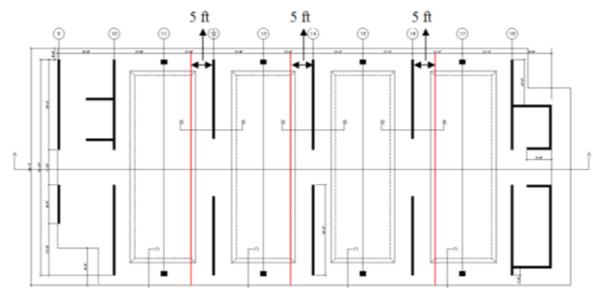


Figura 21
Juntas de Construcción en Zapata

CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

La utilización del programa desarrollado para la creación de espectros es una herramienta útil que facilita los cálculos referentes al aspecto sísmico. También se puede observar los distintos comportamientos al variar los factores determinantes. Otro aspecto relacionado a

programas es el uso de ETABS y SAFE para el análisis. La utilización de estos programas llevan a una optimización del diseño estructural, por lo consiguiente con la utilización del los programas se pueden obtener grandes beneficios, ya sea en rapidez en el Cálculo o en la optimización de modelos en poco tiempo.

La geometría final tiene bases en la arquitectura pero la definen las consideración sísmicas. En algunas paredes se utilizo elementos de bordes y/o doble camada de refuerzo. En columnas se tomaron las precauciones necesarias para en confinamiento del concreto. En vigas se uso refuerzo continuo en tope y fondo, también se tomaron consideraciones especiales en la colocación de los aros. La geometría de la zapata está definida por las presiones de suelo permitidas.

Este diseño deja la posibilidad de hacer investigaciones futuras acerca de una posible optimización en el mismo. Dentro de estos trabajos futuros se puede investigar un análisis usando inercia equivalente de los elementos estructurales, utilizar un modelo dinámico.

REFERENCIAS

- [1] Paulay Thomas, Priestley M.J.N., “ Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings”, *John Wiley & Sons*, Vol. No. 1, 1992, pp. 1-695
- [2] American Society of Civil Engineering., “ Minimum Design Loads for Building and Structures”, *ASCE Standard*, Vol. No. 7, 2010, pp. 1-503
- [3] International Code Council., “ International Building Code”, *International Code Family*, Vol. No. 1, 2009, pp. 1-635
- [4] Rodriguez Torres Wilfred, “ Spectrum Program”, *Advance Earthquake Design*, v10.7, 2012, pp. 1-1
- [5] International Code Council., “ Puerto Rico Building Code”, *International Code Family*, Vol. No. 1, 2011, pp. 1-61
- [6] McCormac, Jack., “Design of Reinforced Concrete”, *Addison Wesley Longman*, Vol. No. 4, 1998, pp. 1-400
- [7] Paz Mario, Leight William, “Structural Dynamics”, *Theory and Computation*), Vol. No. 1, 2001, pp. 1-630
- [8] Computers and Structures Inc., “ Extended 3D Analysis of Building Systems”, *Computers and Structures Inc*, Nonlinear Version 9.7.2, 2010.
- [9] Computers and Structures Inc., “ Slab Analysis by the Finite Element Method”, *Computers and Structures Inc*, Standard Version 12.3.1, 2010.
- [10] American Concrete Institute, “ Building Code Requirements for structural concrete”, *ACI 318*, Vol. No. 1, 2011, pp. 1 -475
- [11] American Concrete Institute, “ Detailing Manual”, *ACI Standards*, Vol. No. 1, 2004, pp. 1 -475
- [12] Alsaadi Altayeb, Balhan., “Advance Earthquake Design”, *Class Notes*, Vol. No. 1, date 2012