

Aplicación del diseño por capacidad al cálculo estructural de edificio destinado a hostel – comparación con normas anteriores

Omar Rodríguez

osr610@gmail

Andrés A. Saavedra

ingandressaavedra@ingenieria-sys.org

Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, UCASAL

Resumen

Se diseñó la Arquitectura del edificio, bajo la normativa vigente – Código de Edificación, Código de Planeamiento Urbano y Ambiental de la ciudad de Salta y Decretos del Ministerio de Turismo de la Nación para la categorización de Hoteles. El cálculo estructural se realizó siguiendo dos filosofías. Primeramente, se establece un cálculo siguiendo los lineamientos de las normas sísmicas INPRES CIRSOC 103/I edición 1991, INPRES CIRSOC 103/II edición 1991, además de las INPRES CIRSOC 101 edición 1982 e INPRES CIRSOC 201 edición 1996. La filosofía del diseño sísmico predominante en este marco, es el de resistencia (rotura), y se modeló la Estructura mediante el software ECALC 2004. Posteriormente se aplicaron las normas INPRES CIRSOC 103/I edición 2013, INPRES CIRSOC 103/II edición 2013, INPRES CIRSOC 101 edición 2005 e INPRES CIRSOC 201 edición 2005. Lo primero que se realiza, es el Análisis Sismorresistente a partir del Método Estático. Luego, se efectúa el Diseño por Capacidad de la estructura, develando el comportamiento estructural en rotulación (de acuerdo al mecanismo de colapso planteado). Finalmente, se hace uso de las rigideces y las armaduras determinadas para elaborar el Análisis Estático No Lineal (Norma FEMA440).

Palabras Clave

Cálculo Estructural, Normas Sísmicas.

Abstract

The architecture of the building was designed, under current regulations - Building Code, Urban and Environmental Planning Code of the city of Salta and Decrees of the Ministry of Tourism of the Nation for the categorization of Hotels. The structural calculation was carried out following two philosophies. First, a calculation is established following the guidelines of the seismic standards INPRES CIRSOC 103 / I edition 1991, INPRES CIRSOC 103 / II edition 1991, in addition to INPRES CIRSOC 101 edition 1982 and INPRES CIRSOC 201 edition 1996. The predominant seismic design philosophy Within this framework, it is that of resistance (breakage), and the Structure was modeled using the ECALC 2004 software. Subsequently, the standards INPRES CIRSOC 103 / I edition 2013, INPRES CIRSOC 103 / II edition 2013, INPRES CIRSOC 101 edition 2005 and INPRES CIRSOC 201 2005 edition. The first thing that is carried out is the Earthquake Analysis from the Static Method. Then, the Capacity Design of the structure is carried out, revealing the structural behavior in labeling (according to the proposed collapse mechanism). Finally, the stiffnesses and reinforcements determined are used to develop the Nonlinear Static Analysis (Standard FEMA440).

Keywords:

Structural Calculation, Seismic Standards.

Introducción

1. Acerca del Diseño de Arquitectura

El Diseño se planteó, a partir de un eje de simetría central (para la distribución de las habitaciones), es decir perpendicular a la Línea Municipal. Esto es, para lograr una adecuada y simplificada distribución de las habitaciones (ver Figura 1).

El Edificio consta entonces de 30 habitaciones con baño privado, dispuestas en 3 bloques. Las correspondientes al bloque N°1 y N°4, poseen una dimensión interior de 15,20 m²; ahora bien, respecto a las habitaciones del bloque N°2, estas poseen una dimensión interior de 14,00 m² (en todos los casos se respeta las dimensiones mínimas estipuladas por el código de edificación). Los 3 bloques, conforman una Estructura en forma de “U”. Esto es para garantizar la iluminación y ventilación de todos los locales habitacionales del hostel, y para facilitar la circulación de las personas. Por otro lado, en el sector del Frente, se ubica la recepción, un pequeño restaurante, baños (de varones y mujeres independientemente), cocina y dormitorio de servicio en la Planta alta (con acceso independiente desde la Galería).

Se proyectó una playa de estacionamiento, para el acceso y permanencia transitoria de los vehículos de los pasajeros (en ciertos casos). Se tuvo en cuenta la aplicación de todas aquellas restricciones y normativas pautadas por los Códigos de Edificación y Planeamiento Urbano para el Diseño y ubicación de los Locales del Edificio [1], [2].

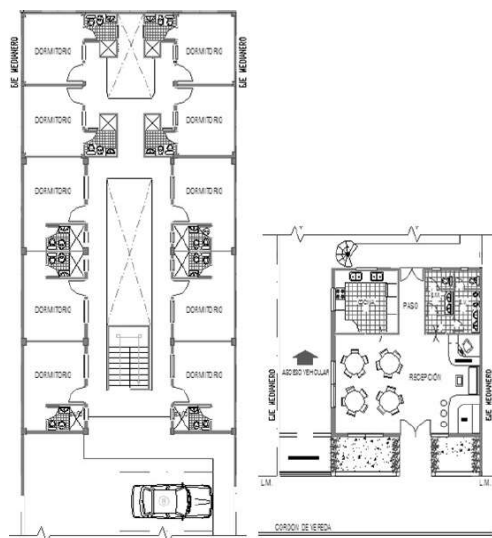


Figura 1: Planta tipo – Sector habitaciones - Recepción

2. Sobre las Acciones Sísmicas

Para la determinación de las solicitaciones sísmicas se aplicó el Método Modal Espectral a partir del programa ECALC 2004, también verificado mediante un cálculo a mano. Para ello se siguieron los lineamientos del reglamento CIRSOC 103 parte I edición 1991 [3].

Este procedimiento se basa en el análisis dinámico aproximado, en el que la respuesta de la estructura se obtiene mediante una combinación adecuada de las contribuciones modales, las cuales están caracterizadas por la máxima respuesta de cada modo afectada por los coeficientes de participación modal. Este indica la extensión en que cada modo contribuye a la respuesta total de la estructura.

2.1. Determinación de las solicitaciones sísmicas: ECALC 2004

Cálculo sísmico dinámico según Normas CIRSOC 103/I edición 1991

Método: superposición modal - dirección “X”

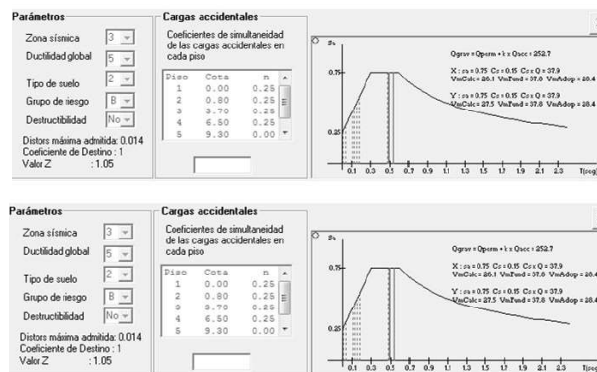


Figura 2: Parámetros para la determinación de las fuerzas sísmicas

Resultados Obtenidos:

Corte en la base para modo fundamental:	37.8 t	Piso	Cota	Corte	Corrim.	distor.
Corte en la base calculado:	28.1 t	(m)	(t)	(cm)		
Corte en la base adoptado:	28.4 t	1	0.000	28.357	0.000	0.002
Pseudoaceleración modal:	0.75	2	1.000	27.990	0.034	0.009
Periodo modal:	0.50 seg	3	3.700	18.465	0.529	0.008
		4	6.500	2.639	0.950	0.004
		5	9.300	1.154	1.171	0.000
		6	9.470	0.000	1.172	0.000

Figura 3: Resultados del método Superposición Modal – Dirección X

2.2. Solicitaciones Sísmicas obtenidas - Método Dinámico Modal Espectral

Se consideró un modelo de 3 modos de vibración.

Esquema de cálculo (ver Figura 4)
 Resultados obtenidos: Diagramas de corte en ambas direcciones (ver Figura 5)

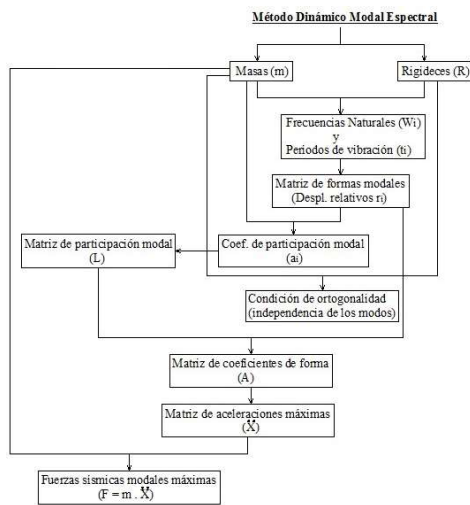


Figura 4: Esquema de Cálculo

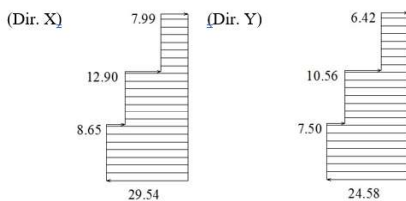


Figura 5: Diagramas de Corte

2.3. Solicitaciones Sísmicas obtenidas - Método Estático Equivalente

Se determinarán aquí las acciones globales de la Estructura en término de acciones y deformaciones aplicando el Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistente INPRES CIRSOC 103, Parte I, Construcciones en General, Año 2013 [4]. El análisis se realiza en dos direcciones independientemente y se supone que tanto los desplazamientos como los movimientos torsionales en cada dirección están desacoplados, es decir, que no influyen mutuamente.

Este método se basa en la simplificación de considerar la plastificación de la estructura por medio de un factor de modificación de la respuesta R , aplicado al espectro de diseño elástico.

Esto supone que la estructura puede plastificar más o menos uniformemente en toda su extensión.

Esquema de cálculo: se muestra en la Figura 6

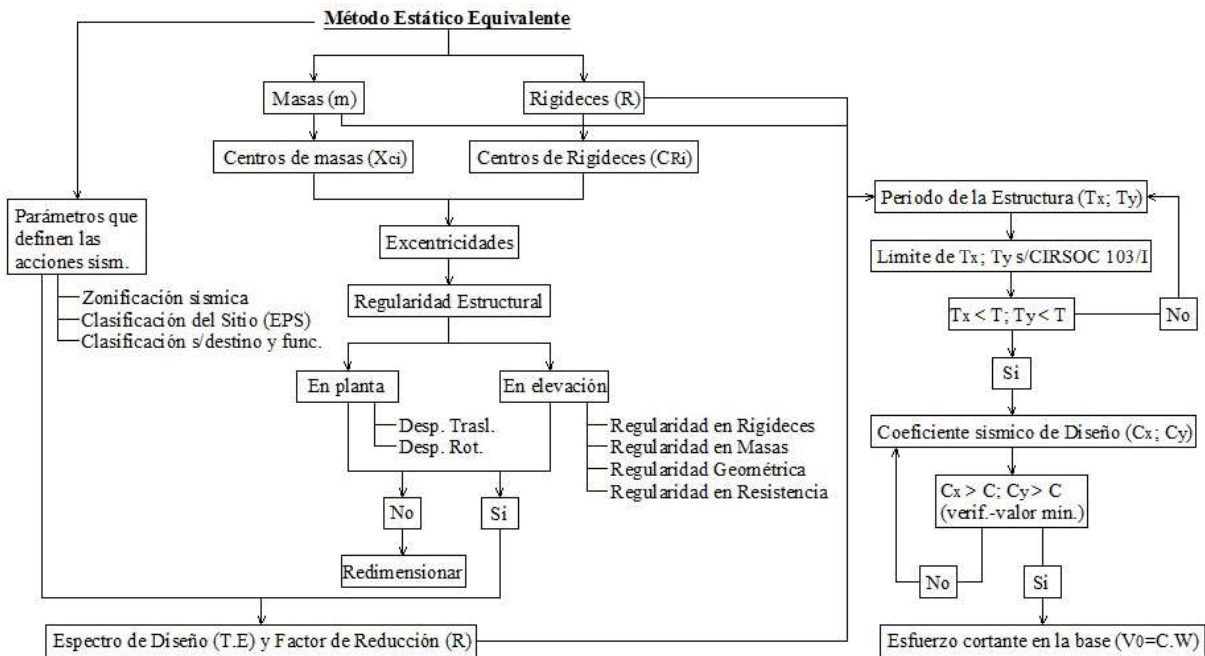


Figura 6: Esquema de Cálculo

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 7, en donde se observa que Dirección X = Dirección Y

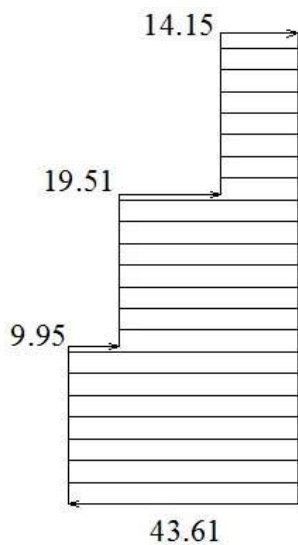


Figura 7: Diagrama de Corte

Verificación de la distorsión horizontal de piso (ver Figura 8):

Dirección "x"					
NIVEL 1	$\theta_{skx} = (d_{ubk} - d_{ubk-1})/h_{sk} = \Delta s_k/h_{sk}$	0.006	<	0.015	verifica
NIVEL 2	$\theta_{skx} = (d_{ubk} - d_{ubk-1})/h_{sk} = \Delta s_k/h_{sk}$	0.000	<	0.015	verifica
NIVEL 3	$\theta_{skx} = (d_{ubk} - d_{ubk-1})/h_{sk} = \Delta s_k/h_{sk}$	0.000	<	0.015	verifica
Dirección "y"					
NIVEL 1	$\theta_{skx} = (d_{ubk} - d_{ubk-1})/h_{sk} = \Delta s_k/h_{sk}$	0.001	<	0.015	verifica
NIVEL 2	$\theta_{skx} = (d_{ubk} - d_{ubk-1})/h_{sk} = \Delta s_k/h_{sk}$	0.000	<	0.015	verifica
NIVEL 3	$\theta_{skx} = (d_{ubk} - d_{ubk-1})/h_{sk} = \Delta s_k/h_{sk}$	0.000	<	0.015	verifica

Figura 8: Verificación de Dirección "x" e "y"

3. Acerca del Modelado

En esta etapa se realiza el modelo en un software representando la estructura del edificio para efectuar sobre el mismo el análisis estructural. El programa que se utiliza es el ECALC 2004, el cual se basa en la aplicación del método de rigidez matricial.

Es fundamental que el modelo sea lo más representativo posible a la realidad, ingresar de manera correcta los datos, y tener una idea aproximada de los resultados a obtener para evitar confusiones. Se analiza en 2 direcciones ortogonales el comportamiento del edificio frente a los estados límites últimos, el longitudinal (eje y) y el transversal (eje x); respecto de la dirección "x" se distribuyen 4 pórticos, y en la dirección "y" se dispuso de dos pórticos.

El método de análisis sísmico será el método modal espectral, que consiste en esquematizar la acción sísmica a partir de un valor calculado por la superposición modal; es aplicable a estructuras de configuración regular de distribución de rigideces y masas tanto en planta como en altura y con influencia en los modos de vibración.

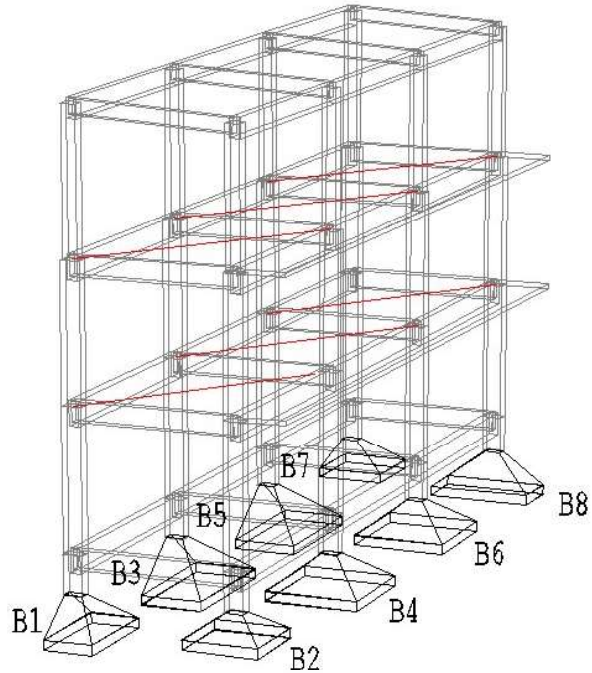


Figura 9: Modelo Estructural del Bloque N°1

4. Diseño Alternativo

Para modelar el bloque n° 1 (ver Figura 10) se utilizó el Software SAP 2000, tanto para la obtención de los esfuerzos que lo solicitan como para la realización de los análisis no lineales.

4.1. Reglamentos utilizados:

Reglamento CIRSOC 101-2005 [5]: Cargas permanentes y sobrecargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras.

Reglamento CIRSOC 101-1982 [6]: Cargas y Sobrecargas Gravitatorias para el Cálculo de las Estructuras de Edificios.

Reglamento CIRSOC 201-2005: Estructuras de Hormigón Armado.

Reglamento INPRES CIRSOC 103-2013: Construcciones sismorresistentes Parte I y Parte II.

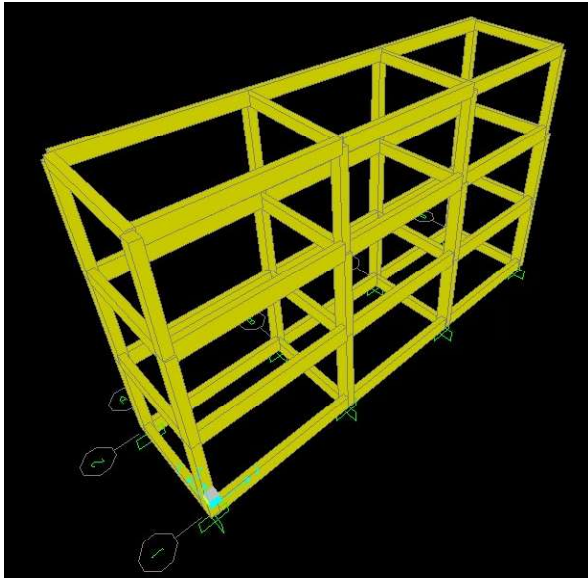


Figura 10: Estructura modelada en SAP2000

4.2. Cálculo Estructural aplicando el Método de Diseño por Capacidad

Primeramente, se definió un mecanismo de colapso que determina las zonas del sistema sismorresistente, que tendrán incursiones plásticas severas. Esas zonas se diseñaron y

detallaron apropiadamente para que disipen energía bajo deformaciones inelásticas severas. Por otro lado, se diseñaron los sectores de los elementos que no se rotulan para que tengan la suficiente resistencia para asegurar su comportamiento elástico mientras las fuentes de disipación de energía desarrollan toda su capacidad.

4.3. Mecanismo de Colapso propuesto:

En ambas direcciones se forman rótulas en los extremos de vigas y base de columnas.

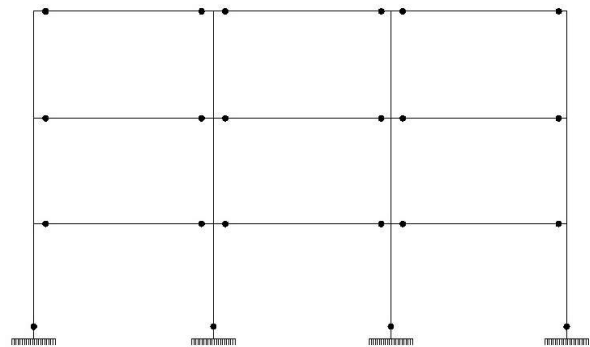


Figura 11: Mecanismo de colapso adoptado

Esquema de cálculo

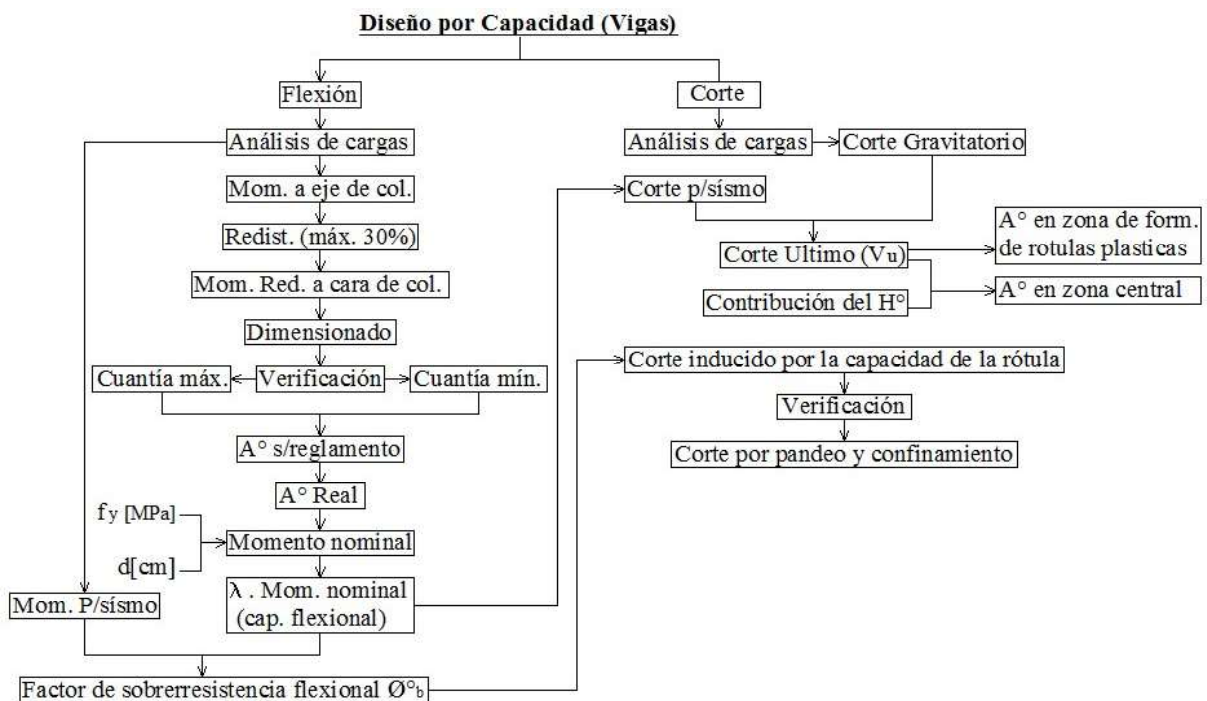


Figura 12: Esquema de cálculo

Para el diseño por capacidad de las columnas, es importante destacar que las solicitaciones de diseño para zonas donde se prevé la formación de rótulas plásticas, serán distintas que las correspondientes al resto de las columnas. En este caso, solo se deberá tener en cuenta esto en las columnas de la planta baja, ya que son las únicas que se van a rotular en la base.

En el primer caso, los momentos a considerar provienen de la combinación de estados de cargas más desfavorables; el corte de diseño se lo obtiene en función de la capacidad de sobrerresistencia de las rótulas que se forman en la columna; el cálculo del esfuerzo axial de diseño es indistinto para las columnas en donde se prevé o no la formación de rótulas plásticas y se calcula teniendo en cuenta el esfuerzo axial inducido por la sobrerresistencia flexional de las rótulas de todas las vigas considerando además las cargas gravitatorias. Por otro lado, en el resto de las columnas y capitel de las de planta baja, para la determinación de momentos de diseño, incidirá el factor de amplificación dinámica (que depende del período fundamental de la estructura), el factor de sobrerresistencia flexional de las vigas, el momento debido al sismo y el corte de diseño para dichas columnas. Con respecto al corte, éste estará en función del corte debido al sismo y al factor de resistencia flexional de las vigas.

Resultados Obtenidos (ver Figura 13)

Nivel de Cálculo	Elemento	Estado	A ^o Plástico / A ^o Corte	Diagrama
DISEÑO POR ROTURA	Viga V1 (0.20 m x 0.40 m)		Arriba 6 # 12 2 # 12 6 # 12 Abajo 4 # 12 2 # 12 4 # 12 Emb. # 6 # 10 # 6 # 15 # 6 # 10	
	Columna C1 (0.40 m x 0.25 m)		Baso 2 # 12 2 # 12 2 # 12 Arriba 3 # 12 3 # 12 3 # 12 Emb. # 6 # 10 # 6 # 15 # 6 # 10	
DISEÑO POR CAPACIDAD	Viga V1 (0.20 m x 0.40 m)		Arriba 4 # 12 2 # 12 4 # 12 Abajo 4 # 12 2 # 12 4 # 12 Emb. # 6 # 10 # 6 # 15 # 6 # 15	
	Columna C1 (0.40 m x 0.25 m)		Baso (0) 4 # 16 + 4 # 12 Baso 4 # 16 + 2 # 12 Arriba (0) 2 # 16 Arriba 2 # 16 Emb. # 6 # 10 # 6 # 15 # 6 # 15	

Figura 13: Resultados obtenidos

5. Resultados del PUSHOVER

$$\Delta_{roof} = 3\% H_e = 32 \text{ cm} \text{ (según Norma FEMA 440)}$$

Al someter al bloque a las acciones del empuje lateral se observó un buen comportamiento global de la estructura, generándose las rótulas según el mecanismo de colapso seleccionado. A su vez las que se formaron no alcanzaron un grado de deformación que pueda llevar el edificio a la ruina.

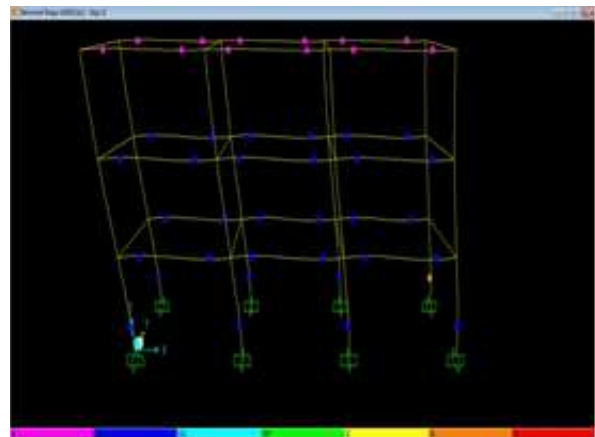


Figura 14: Comportamiento de la estructura – Empuje lateral según X

En los primeros pasos se comienzan a formar rótulas en las vigas del nivel más bajo subiendo hacia los pisos de arriba. También comienzan a aparecer las primeras rótulas en columnas de planta baja, en el sentido de aplicación de la carga lateral.

Se puede apreciar como continúan apareciendo rótulas hacia el último nivel, además se observa como el grado de deformación de las rótulas ya presentes, se va incrementando, desde el nivel inferior hacia arriba. Esto significa que existe una continua disipación de energía en la estructura de los elementos más débiles hacia los más fuertes; que es justamente lo que se pretende.

Se puede ver que solo las columnas de planta baja se rotulan, respetando el mecanismo de colapso adoptado al inicio del diseño por capacidad. Lo cual refleja que el bloque se comporta de manera apropiada ante las solicitaciones inducidas por el empuje lateral aplicado.

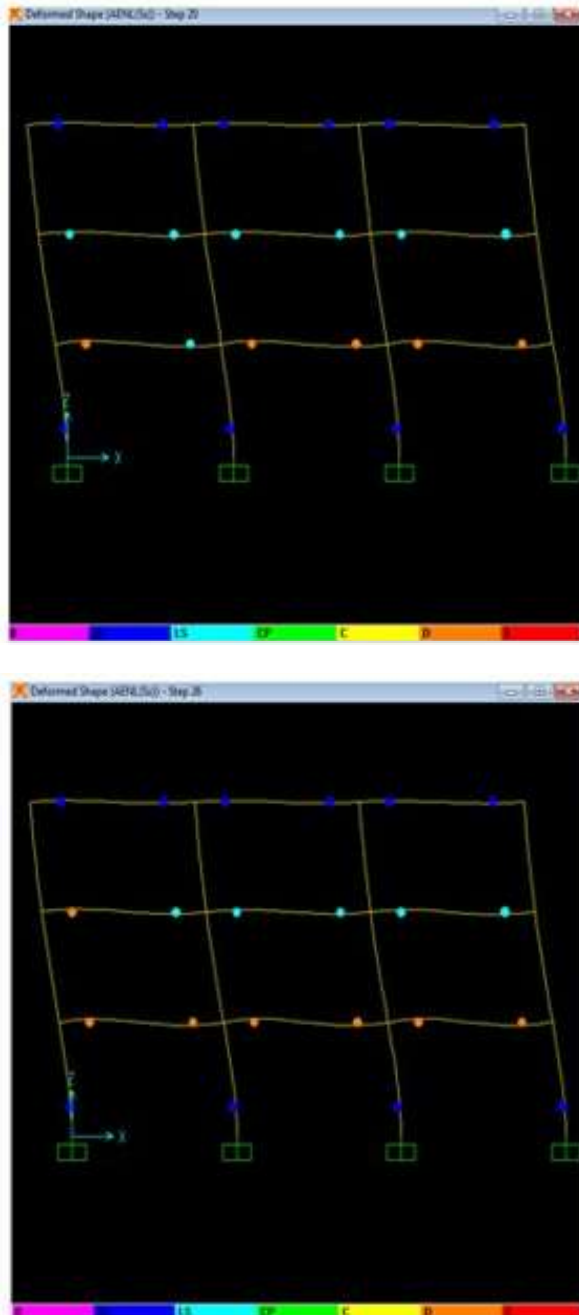


Figura 15: Secuencia de formación de rótulas plásticas – Step 20-26

El paso 26 representa el final de la secuencia de formación de rótulas plásticas, aquí el programa detiene el proceso iterativo, ya que se alcanzó el máximo desplazamiento estipulado por el usuario. Como podemos observar en la última imagen, no se produce el colapso de la estructura.

5.1. Comportamiento de la estructura diseñada por rotura

$\Delta_{roof} = 3\% H_e = 32 \text{ cm}$ (según Norma FEMA 440)

Realizando una comparación con el proceso de rotulación de la estructura diseñada por capacidad, respecto a la misma diseñada por rotura, se observa que, si bien ésta rotula con un mecanismo de colapso aceptable, la deformación alcanzada en las rótulas es mucho mayor que en el diseño por capacidad, mostrando así una menor capacidad de disipar energía.

Para tener una idea más apropiada de lo que sucede se mostrará a continuación una imagen del estado de la estructura diseñada por rotura al final de la secuencia de formación de rótulas plásticas.

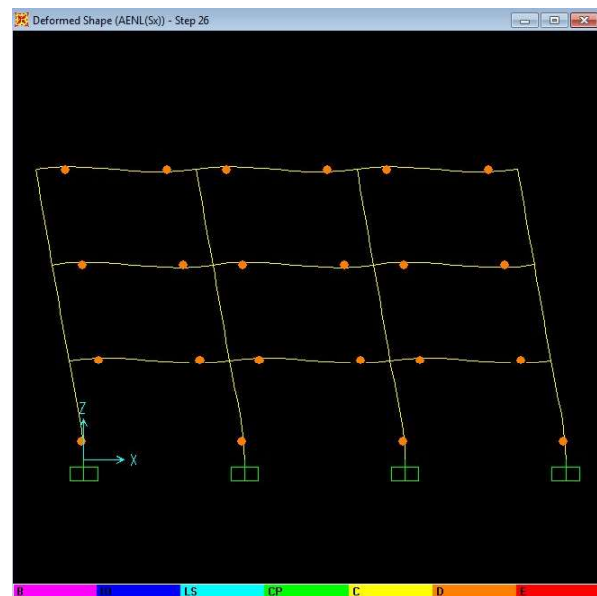


Figura 16: Estado final de rotulación – diseño por Rotura – Step 26

Como se puede apreciar, el grado de deformación de las rótulas es elevado en todos los elementos de la estructura. Ya no se cuenta con la reserva estructural que se tenía en las columnas de planta baja en el diseño por capacidad, recordando que, para ese caso, en la finalización de la secuencia de rotulación, las rótulas solo se deformaban hasta el valor IO (la parte azul de la escala).

6. Conclusiones

La aplicación del software de cálculo ECALC 2004, nos permite reemplazar sistemas de pórticos planos por espaciales. Se abandona

aquí el concepto de estructura plana con el flujo de tensiones a través de vigas y columnas de sección limitada, por estructuras con el flujo de tensiones repartido en superficies más amplias, las que al distribuirse en una zona mayor tienen una reducción de los valores unitarios y permiten obtener un notable ahorro de material.

El comportamiento de la edificación diseñada por capacidad refleja la facultad de disipación de energía de la misma, por medio de la formación de las rótulas plásticas. Durante los análisis no lineales realizados se observó que cuando la edificación alcanza su punto de desplazamiento máximo estipulado, las rótulas plásticas se formaron primero en las vigas, por lo tanto, se concluye que la edificación cumple con el criterio columna fuerte - viga débil.

Se observa que con el análisis no lineal se obtienen mecanismos de colapso exactamente iguales para el edificio diseñado por capacidad y por rotura. Con la diferencia de que, para el primer caso, el grado de deformación alcanzado en las rótulas plásticas, es mucho menor.

Comparación de las dos ediciones del reglamento CIRSOC 103/I:

La influencia del sitio de emplazamiento de la construcción en el reglamento 103/2013, impacta a diferencias del reglamento 103-1991 (que tenía en cuenta un solo factor de amplificación aplicable a la zona del espectro controlada por la velocidad) no sólo en la zona controlada por la velocidad de la onda de corte, sino también en la zona controlada por la aceleración, dando lugar entonces a los coeficientes C_a y C_v . Los mismos no solo son función del sitio, sino también del nivel de peligrosidad sísmica de la zona.

Críticas respecto al nuevo reglamento 103-2013: el periodo fundamental depende sólo de la rigidez de las componentes estructurales, y varía mucho si se trabaja con rigideces basadas en secciones brutas o en secciones agrietadas reglamentarias. De cualquier manera, se supone que conocidas las dimensiones de la estructura se conoce su periodo fundamental, esto es, la rigidez es independiente de la resistencia. Sin embargo, en el caso de estructuras que van a incursionar en el campo inelástico, esta suposición es inválida.

Referencias Bibliográficas

- [1] Municipalidad de la Ciudad de Salta, s. d. (2017). *Código de Edificación de la Ciudad de Salta*
- [2] Municipalidad de la Ciudad de Salta, s. d. (2017). *Código de Planeamiento Urbano y Ambiental de la Ciudad de Salta*
- [3] INTI. (1991). *INPRES-CIRSOC 103 Normas Argentinas Para Construcciones Sismoresistentes*. Buenos Aires: INTI.
- [4] INTI. (2013). *INPRES-CIRSOC 103 Reglamento Argentino para Construcciones Sismoresistentes*. Buenos Aires: INTI.
- [5] INTI. (2005). *INPRES-CIRSOC 201 Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón Armado*. Buenos Aires: INTI.
- [6] INTI. (1982). *INPRES-CIRSOC 101 Cargas y Sobrecargas Gravitatorias para el Cálculo de las Estructuras de Edificios*. Buenos Aires: INTI