

RETROCAPACITACION DE LA TORRE DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL JORGE CHAVEZ

Casabonne, R.C. Ing. Civil

Gallegos, Casabonne, Arango, Quesada Ingenieros. carloscasabonne@gca-ings.com

Blondet, S.M.

Catholic University of Peru, Department of Engineering. mblondet@pucp.edu.pe

Herrera, E. L, Ing. Civil

Gallegos, Casabonne, Arango, Quesada Ingenieros. email luisherrera@gca-ings.com

Gallegos, V.H. Ing. Civil

Gallegos, Casabonne, Arango, Quesada Ingenieros. Email. gallegos @speedy.com .pe

RESUMEN

La torre del aeropuerto de Lima diseñada y construida hace 50 años tiene 10 pisos. Es vulnerable sísmicamente por a problemas de configuración y detallado. Se decidió recientemente retrocapacitala estructura para reducir su riesgo sísmico a los estándares vigentes.

Se consideraron varias opciones. Se decidió retrocapacitar la estructura reduciendo la demanda sísmica incorporando de disipadores viscosos en ubicaciones seleccionadas.

La Filosofía consistía en proveer a la estructura de suficiente capacidad de disipación de energía para garantizar su respuesta elástica durante el sismo de diseño de la norma vigente. Esta condición se lograría si las fuerzas de diseño en los elementos de la estructura no excedieran de aquellas producidas durante los sismos previos soportados.

La estructura original fue analizada para el record de sismos históricos para estimar las fuerzas admisibles en cada elemento. Se consideraron diversas configuraciones de ubicación de disipadores, para optimizar el costo de la retrocapacitación y conveniencia de la operación.. Se ejecuto una serie de análisis dinámicos, con el sismo de diseño, para cada configuración Se seleccionó la mejor de las configuraciones y se prepararon planos de construcción de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

ABSTRACT

The Lima Airport control tower is a 10 story reinforced concrete structure designed and built almost 50 years ago. The tower is seismically vulnerable due to configuration and detailing problems. It was decided to retrofit it to reduce its seismic risk to present standards.

Many retrofit options were considered. It was decided to retrofit the structure by reducing the seismic demand through the incorporation of viscous dampers at selected locations.

The retrofit philosophy was to provide to the structure enough energy dissipation capacity to guarantee elastic response during the design earthquake, specified in the 2003 Peruvian Seismic Code. This condition would be attained if the design element forces would not exceed those produced during previous earthquakes.

The original structure was analyzed under historical seismic records to estimate the allowable forces in each structural element. Several arrangements of viscous dampers were then considered, in order to optimize retrofit cost and convenience of building operation. A series of nonlinear dynamic analyses were performed for each retrofit configuration under the design ground motions, to verify that the structural elements would remain elastic.

The best configuration of viscous dampers was then selected, and construction drawings were prepared according to manufacturer's specifications.

1. INTRODUCCION

El aeropuerto internacional Jorge Chávez en el Callao, está en proceso de ampliación y remodelación. En el proceso están incluidas la Torre de Control y Oficinas, el edificio del Terminal y también el puente peatonal. Todas estas estructuras de concreto fueron diseñadas y construidas en la primera parte de la década de los sesenta. Su filosofía de diseño y detallado corresponden a estándares de ingeniería aplicables en esa época.

A pesar de que durante lo últimos cuarenta años las estructuras se comportaron exitosamente y soportaron sin daños tres terremotos moderados –1966, 1970 y 1974–, su configuración estructural así como resistencia, rigidez y ductilidad, no conforman con el código sísmico vigente.

Debido a esto es que Lima Airport Partners vio la necesidad de retrocapacitar dichas estructuras.

2. OBJETIVOS DE LA RETROCAPACITACION

Las consideraciones preliminares sobre el estado de los edificios del aeropuerto, revelaron que no era factible económicamente retrocapacitar las estructuras a las exigencias de la norma vigente. Esto tampoco era necesario.

Los lineamientos económicos para la retrocapacitación fueron el de hacer una inversion y no un gasto, minimizar la inversión, minimizar la inversión, reducir la vulnerabilidad del sistema estructural y su contenido y aceptar daños como correspondientes a costos de mantenimiento asegurables.

El objetivo de la retrocapacitación fue el de asumir el riesgo estructural en acuerdo con la filosofía implícita o explícita en todos los códigos para estructuras nuevas: a) no daño en sismos menores y frecuentes; b) daños menores en sismos moderados menos frecuentes y c) no colapso sismos fuertes poco frecuentes.

3. LA TORRES DE CONTRO Y OFICINAS

La torre del aeropuerto es una edificación de planta rectangular de diez pisos con estructura dual de concreto armado. La foto de la izquierda de la figura 1. muestra la torre el año de su terminación y la foto de la derecha una vista reciente del edificio.

El edificio tiene un sótano parcial en el área cercana y alrededor de las cajas de ascensor y escaleras.

Las cajas de escalera y ascensores están excéntricas con relación a la planta de la edificación produciendo asimetría. El primer piso tiene una mezanine parcial creando una doble altura en el extremo.

La estructura está cimentada con pilotes de punta de concreto armado que atraviesan el estrato de suelo de limo, arena y arcilla con una potencia de 3m aproximadamente y penetran 7m en el estrato de conglomerado compacto cuya potencia es mayor a 300m en esa zona del valle del río Rimac. Aunque el empleo de pilotes puede parecer innecesario con suelo de esas características, su uso se debió a la presencia de agua subterránea muy superficial que obligaba al uso de equipos, para deprimir la napa, que no estaban disponibles. Aprovechando esta circunstancia de la presencia de pilotes, las zapatas de los pórticos intervenidos se reforzaron mediante la técnica de excavar por debajo de los pilotes hasta el estrato de conglomerado para construir la nueva zapata, por debajo de la existente, dejando temporalmente dicha zapata apoyada sobre los pilotes descubiertos.



Figura 1. Torre del Aeropuerto

4. DEFICIENCIAS DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

El edificio fue diseñado el año 1960, previo al gran sismo de Alaska y previo a la primera norma peruana de diseño sismo resistente. En esa época el conocimiento del fenómeno sísmico era insuficiente y lo mismo ocurría con la estructuración sismo resistente. Las bases del diseño eran estáticas y no se tenían herramientas para la evaluación de los efectos dinámicos sobre la estructura. La flexibilidad de la estructura no era un tema que controlar y el desarrollo de diseño dúctil era incipiente.

En consecuencia de las condiciones de diseño, la estructura adolecía de: a) Torsión excesiva; b) Flexibilidad Excesiva; c) Configuración con Piso Blando; d) Separación insuficiente con edificios adyacentes; e) Baja ductilidad; f) Anclajes del refuerzo y confinamiento sin criterios de ductilidad; g) Insuficiente capacidad sísmica para resistir sismos fuertes. La figura 4, abajo muestra una conexión viga-columna donde se aprecia una de las deficiencias.

La configuración de la torre se muestra en la figura 3.

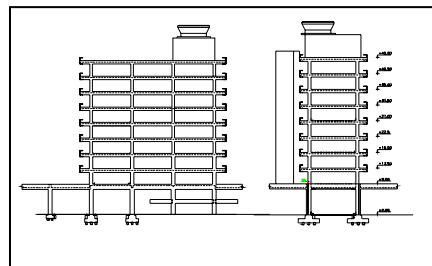


Figura 2. Elevaciones de la Torre.

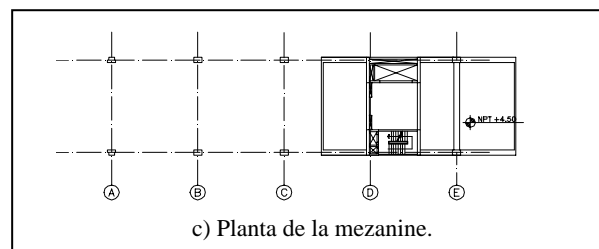
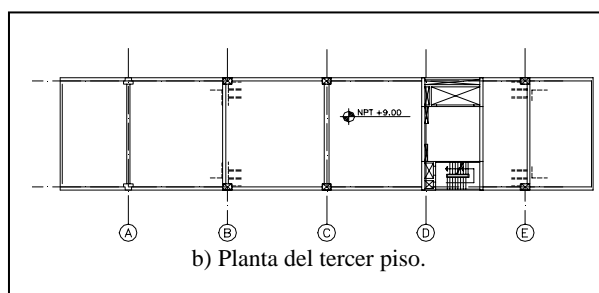
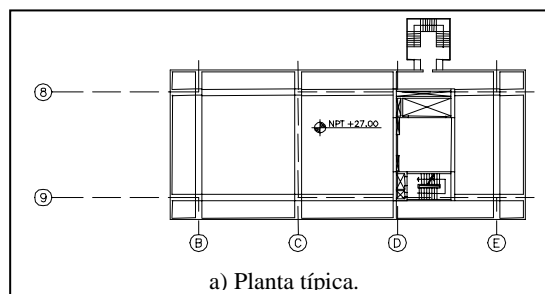


Figura 3. Plantas de la Torre.

5. REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL

No fue la intención de la retrocapacitación propuesta cumplir con todos los aspectos del código sísmico vigente. El código debe ser de observancia estricta para las nuevas edificaciones y éste no era el caso.

La retrocapacitación propuesta siguió en términos generales los lineamientos de la Guía para la Rehabilitación Sísmica de

Edificaciones publicada por la Agencia Federal de Administración de Desastres (FEMA) en los Estados Unidos.

De acuerdo a dicha guía, el propósito de la intervención estructural es el de proveer a la estructura con los recursos suficientes para proteger la vida y limitar los daños tanto estructurales como no estructurales.

La base para intervención propuesta fue la de mantener las características dinámicas de la estructura para evitar incremento de la respuesta sísmica. Su aumento resultaría en un incremento sustancial del costo de la retrocapacitación. El aspecto esencial fue el de minimizar la masa adicional incorporada a la estructura y ello condujo al uso de elementos de acero.

En términos generales los elementos de refuerzo deberían suplementar y no reemplazar la capacidad existente de la estructura. Adicionalmente, los nuevos elementos incorporados a la estructura, deberían reducir o mantener la demanda sísmica en los elementos existentes.

La intervención propuesta se ajustó a los principios de ingeniería siguientes:

- 5.1 La operación en el edificio debe mantenerse durante la implementación de la retrocapacitación con la menor molestia posible.
- 5.2 El costo de la retrocapacitación debe ser tan bajo como posible.
- 5.3 El esquema de retrocapacitación debe ser simple, maximizando el uso de recursos locales y minimizando el tiempo de construcción.
- 5.4 No debe comprometerse la operación futura de la edificación.

6. INFORMACION DISPONIBLE

El diseño de la estructura de concreto armado se basó en el código ACI 318-56; los planos del diseño original muestran un detallado sin criterios de ductilidad – anclajes deficientes, confinamientos del concreto insuficiente, el refuerzo transversal en vigas y columnas es el necesario para atender las necesidades por corte.

Durante el proceso constructivo se modificó sustancialmente el diseño: el núcleo de circulación vertical fue construido con encofrado deslizante y las vigas en ambas direcciones se diseñaron y construyeron postensadas con cables continuos pasantes en los muros de concreto. De estos planos no se tiene registro excepto la evidencia in situ de los anclajes de los cables en los extremos de las vigas y la descripción del diseño proporcionada por el ingeniero Héctor Gallegos diseñador original del sistema.

Se trató de realizar el levantamiento del refuerzo de vigas y columnas mediante ultrasonido. Obtuvimos información confiable del refuerzo de columnas pero no de las vigas por el gran espesor entre la superficie y el refuerzo formado por el acabado y el recubrimiento y por la imposibilidad de evacuar las oficinas para realizar trabajos de picado de los acabados y recubrimiento para llegar a la armadura. En definitiva la información obtenida fue limitada, pero confiable.

7. OPCIONES PARA LA RETROCAPACITACION

La forma tradicional de resistir las fuerzas sísmicas es la de proveer a la estructura una combinación de resistencia y ductilidad. Se confía en la ductilidad del sistema para evitar fallas catastróficas durante sismos severos a expensas de daños en elementos estructurales y no estructurales. En el caso de la torre del aeropuerto, el detallado de los elementos estructurales hace dudoso que el sistema sea capaz de desarrollar ductilidad suficiente para sobrevivir un sismo severo. Era necesario por tanto retrocapacitar la estructura.

Se analizaron dos conceptos fundamentales para retrocapacitar: a) aumentar la capacidad y b) reducir la demanda.

Para aumentar la capacidad se analizaron tres opciones: reforzar los elementos de concreto engrosando secciones, adicionando arriostres concéntricos en determinados pórticos, creando un sistema perimetral de pórticos de acero con arriostres excéntricos. Las dos primeras opciones eran sumamente costosas e inviábiles por las molestias tremendas que generaban para las operaciones normales en el edificio. La tercera opción se descartó por las dificultades que se encontraron para la fijación de los nuevos elementos a los extremos de las vigas postensadas existentes.

Para reducir la demanda se analizaron básicamente sistemas de disipación de energía.

De los dos principios básicos de disipación de energía: a) *deformación inelástica de sólidos* ya sea por flexión, fricción, o por deformación por corte y b) disipación de energía *usándole flujo de fluidos*, elegimos *disipadores de fluido viscoso* porque no requieren ser reemplazados después de su funcionamiento y no requieren mantenimiento.

El rol principal de los disipadores es el absorber parte de la energía sísmica y por tanto reducir la demanda de disipación de energía en los elementos principales de la estructura, reducir los desplazamientos y los posibles daños en la estructura.

La figura 5, abajo muestra los componentes principales de un amortiguador de fluido viscoso.

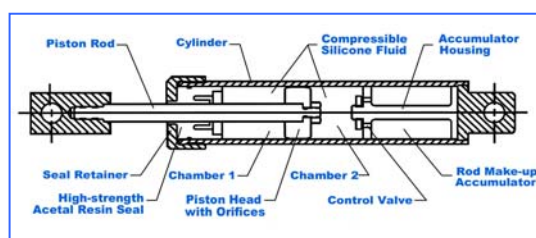


Figura 5. Disipador de fluido viscoso (Taylor dampers)

Los disipadores de fluido viscoso, al reducir la energía aumentan el amortiguamiento y reducen la demanda que provienen de la aceleración y desplazamientos. Además, al estar las velocidades y desplazamientos desfasados, las fuerzas de los amortiguadores, que son dependientes de la velocidad, no introducen fuerzas adicionales en la estructura.

8. CRITERIOS BASE PARA LA RETROCAPACITACION

La información disponible no permitía establecer la capacidad resistente de la estructura ni tampoco establecer su comportamiento mediante procedimientos como el "push

over” por ejemplo. Sin embargo hay evidencia del comportamiento de la edificación en los sismos pasados. La estructura ha sufrido innumerables sismos menores y tres sismos moderados – 1996 --, 1970---, 1974, sin acusar ningún daño estructural ni arquitectónico excepto la caída de algunas planchas de mármol que revisten las columnas del primer piso.

Durante estos eventos sísmicos, la estructura permaneció en el rango elástico. La experiencia pasada demuestra competencia por lo menos hasta sismos magnitud 7.75 cuya aceleración máxima fue de 0.29g.

Dado que la exigencia reglamentaria pide capacitar las estructura para resistir fuerzas horizontales correspondientes a aceleraciones espectrales de 0.4 g, el sistema para retrocapacitar la estructura debería garantizar que el cortante basal producido por el sismo de diseño con 0.4g, no sería mayor que el sufrido por la estructura durante eventos previos. Este criterio de retrocapacitación se muestra en el gráfico de la figura 6.

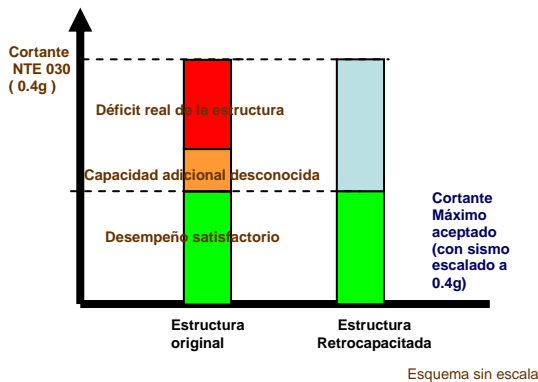


Figura 6. Criterio de retrocapacitación (gráfico sin escala)

Las metas para la retrocapacitación fueron, por tanto:

1. El cortante basal máximo aceptado, debido a un sismo escalado a 0.4g, debe ser menor o igual máximo cortante soportado por la estructura durante sismos pasados.
2. Los disipadores deben proveer suficiente energía de disipación para asegurar que las fuerzas internas no exceden las máximas fuerzas registradas durante sismos pasados.

9. ANALISIS SISMICO

Para el análisis sísmico se utilizaron dos tipos de análisis:

- El análisis dinámico espectral, con el que se estimaron los desplazamientos y fuerzas internas de la estructura original, y sirvió para tener una base de referencia para los análisis tiempo historia.
- El análisis tiempo historia, que involucra directamente el registro de 7 sismos peruanos, escalados a 0.4g. Los resultados sirvieron para determinar el grado de amortiguamiento necesario en la estructura y estimar las fuerzas y velocidades en los disipadores sísmicos provistos.

Ambos análisis asumen un comportamiento lineal elástico de la estructura. La geometría de la estructura se determinó de la información de planos y de su confrontación de la realidad de sitio. El módulo de rigidez $E_c I_g$ a flexión se afectó, por los factores siguientes:

Vigas no presforzadas	0.5
Vigas presforzadas	1.0

Columnas	0.7
Placas hasta el Gran Techo	0.5
Resto de placas	0.8

10. SISTEMA DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA

Para determinar el amortiguamiento requerido en la estructura retrocapacitada, se incorporó disipadores de fluido viscoso en ubicaciones seleccionadas en la estructura. La figura 7 muestra los amortiguadores y la estructura de soporte en un piso típico. La figura 8 muestra los amortiguadores en el primer piso, la mezzanine se muestra achurada.

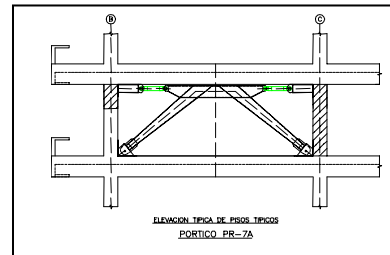


Figura 7. Disipadores y estructura de soporte en piso típico.

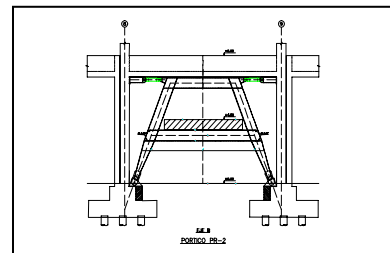


Figura 8 Esquema de los disipadores y estructura de soporte en primer nivel.

La estructura retrocapacitada fue luego analizada para los 7 sismos históricos peruanos, escalados a 0.4g. El coeficiente de disipación requerido para los disipadores fue ajustado hasta que el cortante basal calculado para sismo escalado a 0.4g, fuera menor que el cortante basal de la estructura original durante sismos pasados. La figura 9 muestra los resultados obtenidos para el sismo de octubre 1966 escalado a 0.4 g.

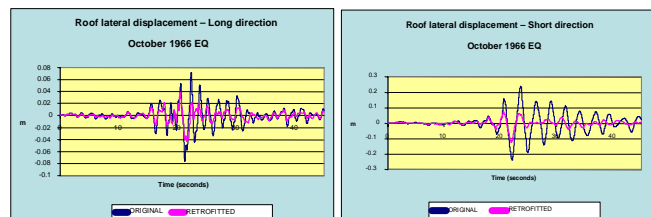
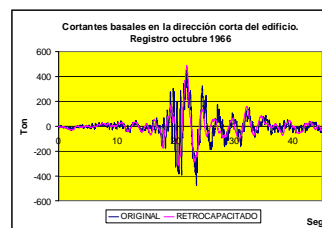


Figure 12. Desplazamiento en el techo.

La respuesta de desplazamiento de la estructura original bajo el sismo de octubre de 1966, escalado a 0.4g, se presenta en

la figura 10. la figura 11 muestra la envolvente de desplazamiento correspondiente.

11. ENVOLVENTE DE DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS

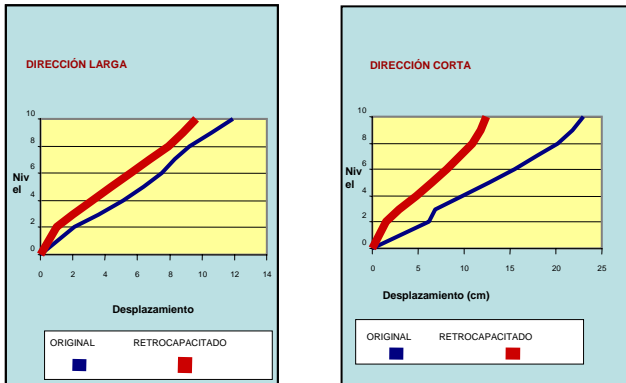


Figure 13. Envolturas de desplazamiento pico.

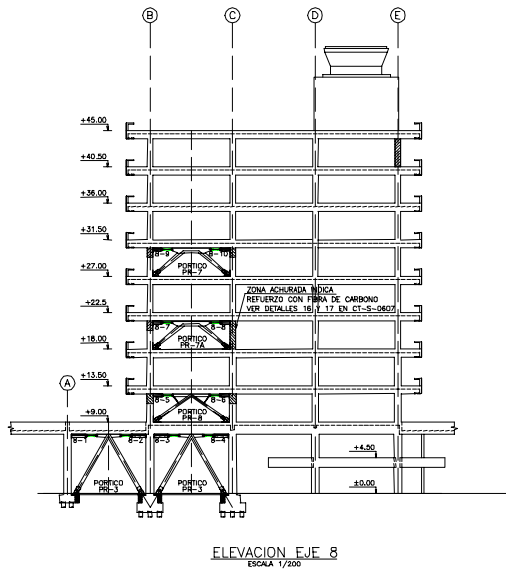


Figure 14. Disposición final de disipadores. Portico longitudinal.