



Conference Paper

Análisis no lineal de la estructura del Hospital Darío Machuca Palacios del cantón La Troncal en Ecuador

Francisco Xavier Calle Guaraca, Bernardo Andrés Feijoo Guevara, and Ing. José Fernando Vásquez Calero

Universidad Del Azuay, Cuenca, Azuay, Ecuador

Abstract

The hospital "Darío Machuca Palacios" is located in La Troncal (Cañar-Ecuador). In the nonlinear dynamic analysis of this hospital was determined inconsistencies in its design, such as non-compliance with maximum permissible drifts established by the Ecuadorian Construction Standard (NEC, as per its Spanish acronym), demonstrating vulnerability and possible collapse of the hospital. Considering that it is an essential building according to the NEC of seismic danger, it needs to be maintained in correct post-earthquake operation. For this reason the behavior of the structure with seismic isolation systems at their base was simulated, offering results that analyzed in depth could determine that this measure of seismic protection is adequate.

Keywords: nonlinear dynamic analysis, essential building, seismic isolation systems.

Resumen

En el cantón La Troncal, provincia de Cañar, Ecuador, se encuentra ubicado el hospital "Darío Machuca Palacios". Al realizar el análisis dinámico no lineal de esta entidad hospitalaria se determinaron inconsistencias en su diseño, como el incumplimiento de las máximas derivas permisibles que establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción de peligro sísmico (NEC – peligro sísmico), demostrando alta vulnerabilidad y riesgo de posible colapso de la entidad hospitalaria. Considerando que es una edificación esencial según la NEC de peligro sísmico, es necesario que esta se mantenga en correcto funcionamiento post-terremoto. Por esta razón se simuló el comportamiento de los pórticos estudiados con sistemas de aislamiento sísmico en su base, ofreciendo resultados que analizados a profundidad podrían determinar que esta medida de protección sísmica es adecuada.

Palabras claves: Análisis dinámico no lineal, estructura esencial, aislamiento sísmico,

Corresponding Author:

Francisco Xavier Calle Guaraca
uao68221@uazuay.edu.ec

Received: 15 November 2017

Accepted: 5 January 2018

Published: 4 February 2018

Publishing services provided
by Knowledge E

© Francisco Xavier Calle Guaraca et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons](#)

[Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Selection and Peer-review under the responsibility of the ESTEC Conference Committee.



1. Introducción

El hospital de tipo básico “Darío Machuca Palacios” del cantón La Troncal, provincia de Cañar en Ecuador, en la región sierra. Cuenta con un área de construcción de 2202 metros cuadrados distribuidos en 9 bloques. Los servicios que brinda el hospital son: consulta externa, hospitalización, Emergencia, Centro Quirúrgico y Obstétrico, Laboratorio Clínico, Imagenología. La entidad de salud posee 32 camas y en esta laboran 158 personas entre médicos, enfermeros y personal administrativo.

La zona sísmica en donde está emplazada la edificación presenta una caracterización de peligro sísmico alta, según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC - Peligro Sísmico, 2014) y presenta un suelo tipo D. Al ser una edificación que brinda servicios de salud, según la norma, es una edificación esencial por tanto su factor de importancia es de 1.5. (Villota, 2016)

2. Modelación de la Estructura

Se analizaron cuatro pórticos del hospital de los bloques 2, 6, 7 y 8 ya que presentan similitudes en su configuración geométrica y sus propiedades mecánicas con los pórticos restantes. Los elementos estructurales fueron modelados de acuerdo a las características de diseño originales del edificio, por lo que no se ha establecido ninguna modificación en su configuración.

Los elementos estructurales analizados presentan confinamiento, característica que mejora el comportamiento del hormigón armado ante las fuerzas que actúan sobre estos. La resistencia última a compresión del hormigón es de $f'_c=2,1$ kn/cm² y el módulo de elasticidad es $E=15000pf'_c$, para vigas, columnas y losas. El acero de las varillas de refuerzo es acero de grado 60 ($f_y=42$ kn/cm²).

3. Análisis dinámico no lineal

Se analizaron cuatro pórticos del hospital de los bloques 2, 6, 7 y 8 ya que presentan similitudes en su configuración geométrica y sus propiedades mecánicas con los pórticos restantes.

Para la obtención de los resultados, se utilizó el software libre OpenSees (Open System for Earthquake Engineering Simulation), el cual utiliza un entorno en elementos finitos para poder simular la respuesta estructural de un sistema bajo la acción

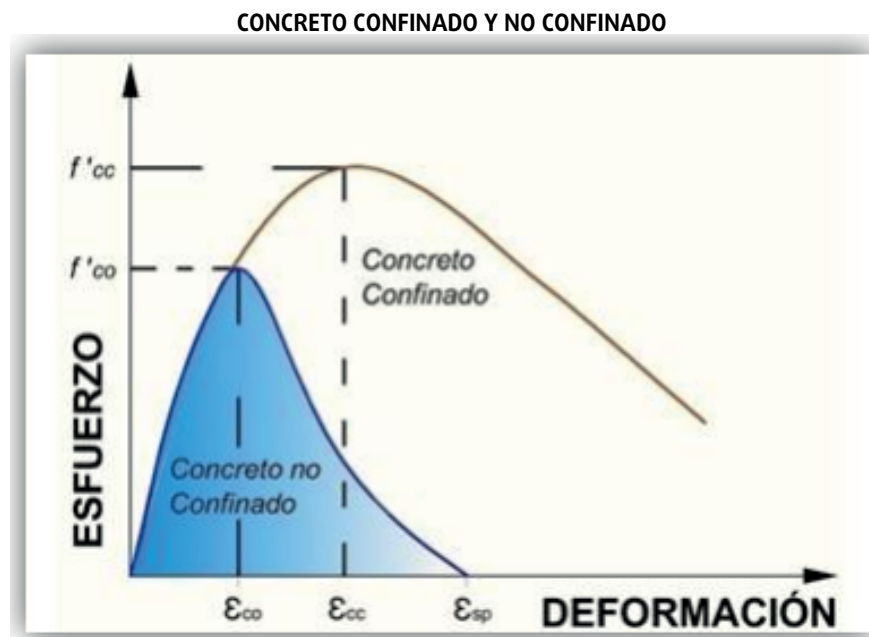


Figura 1: Relación esfuerzo deformación del concreto confinado y no confinado (Merchán Salinas, 2010)

sísmica. En este software primero se realizó un análisis modal para obtener el periodo fundamental de los pórticos analizados.

TABLA 1: Periodos fundamentales de los pórticos analizados (Calle & Feijoo, 2017)

PERIODOS FUNDAMENTALES	
PÓRTICO	PERIODO (seg)
Pórtico Bloque 2	0.685
Pórtico Bloque 6	0.491
Pórtico Bloque 7	0.437
Pórtico Bloque 8	0.345

Se ejecutó un análisis dinámico no lineal. Con este los desplazamientos de diseño no son establecidos, sino que se determinan directamente a través del análisis dinámico usando el movimiento del suelo y el análisis tiempo historia. La respuesta calculada puede ser muy alta, ya que es sensible a las características del terreno individual por lo cual se debe analizar los desplazamientos con más de un evento sísmico. (FEMA-356, 2000)

En la NEC-peligro sísmico, se indica que los análisis paso a paso en el tiempo se realizan utilizando no menos de 3 eventos sísmicos registrados, escalados previamente, por ello, en el análisis dinámico no lineal se desarrolló utilizando 3 eventos sísmicos obtenidos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, ocurridos el 16 de

TABLA 2: Sismos utilizados en el análisis dinámico no lineal (Calle & Feijoo, 2017)

EVENTOS SÍSMICOS	
SISMO	DURACIÓN
ASDO-N	80.04 seg
AMNT-E	50.04 seg
AMNT-N	50.04 seg

abril de 2016 en el cantón Pedernales, provincia de Manabí en Ecuador de magnitud 7.8 en la escala de Richter, y con un espectro de diseño en aceleraciones con un nivel de excedencia del 2% en 50 años (Periodo de retorno (T_r) de 2500 años).

Para análisis no lineal se recomienda un amortiguamiento entre el 2% y 5%(FEMA P695, 2009), en este estudio se consideró un amortiguamiento propio del 3%.

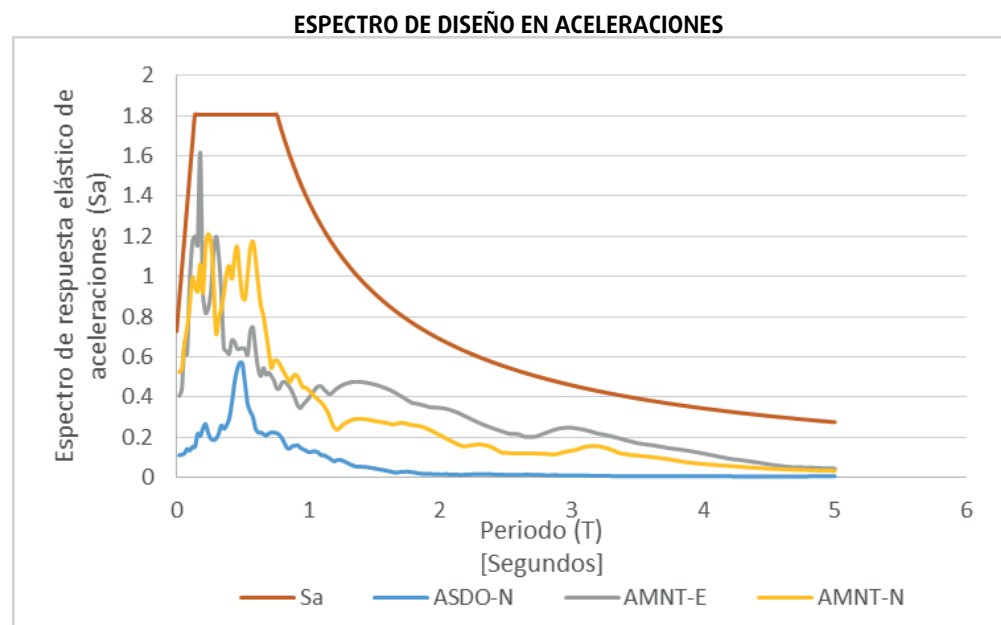


Figura 2: Espectro de diseño en aceleraciones con un nivel de excedencia del 2% en 50 años y sismos utilizados en el análisis. (Calle & Feijoo, 2017)

4. Resultados

Con este análisis se obtienen las derivas inelásticas de los diferentes pórticos, las cuales deben ser comparadas con las máximas permisibles que están establecidas en la NEC – Peligro sísmico, en donde se indica que las derivas inelásticas en ningún caso deben ser superiores al 2%.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA 3: Derivas inelásticas pórtico bloque 2 analizadas para un $T_r = 2500$ años

DERIVAS PÓRTICO BLOQUE 2				
SISMO	Planta	ΔM	$\Delta\%$	Resultado
ASDO-N	cubierta	0.0551765	5.52%	no cumple
	1ra planta	0.0698852	6.99%	no cumple
AMNT-E	cubierta	7.67406	767.41%	no cumple
	1ra planta	7.20537	720.54%	no cumple
AMNT-N	cubierta	0.103019	10.30%	no cumple
	1ra planta	0.0762211	7.62%	no cumple

TABLA 4: Derivas inelásticas pórtico bloque 6 analizadas para un $T_r = 2500$ años

DERIVAS PÓRTICO BLOQUE 6			
SISMO	ΔM	$\Delta\%$	Resultado
ASDO-N	5.37	537.00%	no cumple
AMNT-E	4.6202	462.02%	no cumple
AMNT-N	5.40332	540%	no cumple

La aplicación de aisladores elastoméricos de base tiene el propósito de reducir la respuesta sísmica aumentando el periodo fundamental de las estructuras y limitando las fuerzas transmitidas a la fundación. Los aisladores sísmicos permiten un incremento considerable del amortiguamiento así, controlando y reduciendo los desplazamientos relativos y las derivas.

Por otro lado, se realizó otro análisis modal de los pórticos, pero ahora aplicando el sistema de protección sísmica de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo. Para la selección de los aisladores se recurrió a catálogo proveedores y se seleccionó el aislador en base al peso de la estructura.

TABLA 5: Derivas inelásticas pórtico bloque 7 analizadas para un $T_r = 2500$ años

DERIVAS PÓRTICO BLOQUE 7			
SISMO	ΔM	$\% \Delta M$	Resultado
ASDO-N	0.0624536	6.25%	no cumple
AMNT-E	5.78132	578.13%	no cumple
AMNT-N	0.118863	11.89%	no cumple

TABLA 6: Derivas inelásticas pórtico bloque 8 analizadas para un $T_r = 2500$ años

DERIVAS PÓRTICO BLOQUE 8			
SISMO	ΔM	$\% \Delta M$	Resultado
ASDO-N	0.0533379	5.33%	no cumple
AMNT-E	0.0460501	4.61%	no cumple
AMNT-N	0.0416188	4.16%	no cumple

TABLA 7: Capacidad máxima de carga axial de los dispositivos de aislamiento sísmico. (Dynamic Isolation System, 2007)

CAPACIDAD DE CARGA AXIAL DE AISLADORES DE BASE		
Capacidad de carga axial	Desplazamiento máximo	Diámetro del aislador
P max	D max	Do
kN	cm	cm
450	15	30,5
700	15	35,5
900	20	40,5
1150	25	45,5
1350	30	52
1800	36	57
2700	41	65
3100	46	70
3600	46	75
4000	51	80
4900	56	85
5800	56	90
6700	61	95
7600	66	100

Al realizar los análisis variando la altura y el diámetro de plomo, se determinó que las medidas más adecuadas para los aisladores son:

Luego de realizado al análisis modal introduciendo los aisladores, los periodos obtenidos aumentaron significativamente y para los pórticos son los siguientes.

TABLA 8: Dimensiones de los dispositivos de aislamiento sísmico. (Dynamic Isolation System, 2007)

CATALOGO DE AISLADORES DE BASE							
Do	H	# capas de goma	Di	L	t	# de orificios	φ orificio
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Mm
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33

TABLA 9: Medidas de dispositivo para análisis dinámico no lineal con aislamiento sísmico

DIMENSIONES DEL AISLADOR	
	DIMENSIONES
D1	305 mm
DL	25 mm
H	280 mm

5. Conclusiones

Realizado el análisis dinámico no lineal de la estructura con factor de importancia $I = 1,5$ y analizados los resultados, se determina que las derivas máximas permisibles (2%) que establece la NEC no se cumplen. Las derivas arrojadas por este análisis en

TABLA 10: Incremento del periodo con sistema de aislamiento sísmico.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS MODAL CON AISLAMIENTO BASE				
PÓRTICO	Período sin aislamiento	Período con aislamiento	Incremento	% Incremento
Pórtico 2	0.685 seg	2.18 seg	3.182	318%
Pórtico 6	0.491 seg	1.786 seg	3.637	364%
Pórtico 7	0.437 seg	1.170 seg	2.677	268%
Pórtico 8	0.345 seg	1.027 seg	2.977	298%

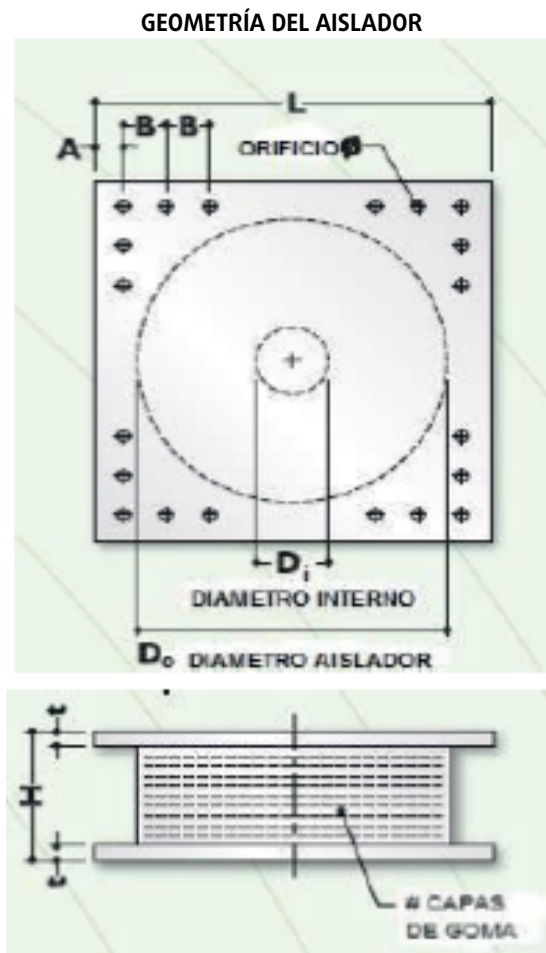


Figura 3: Detalle de los dispositivos de aislamiento sísmico. (Dynamic Isolation System, 2007)

su mayoría superan al 10%, es decir, es un indicador de colapso parcial a total de la estructura.

El aumento en el periodo fundamental de la estructura dado el análisis modal con aislamiento sísmico, demuestra que los aisladores elastoméricos de base son una correcta opción para la protección sísmica, no obstante, la implementación de esta medida de mitigación se la debe considerar en la fase de diseño de la entidad, puesto que la instalación de estos elementos una vez construida la estructura se torna muy difícil, costosa y prácticamente imposible.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) e investigadores en el área de hospitales proponen directrices que permitan la funcionalidad continua de los hospitales post-terremoto, debido a las urgencias médicas que se presentarían con un evento catastrófico. Se concluye que el hospital analizado, después del análisis realizado, no tendría la capacidad de mantenerse funcional luego de ocurrido un evento sísmico catastrófico

Se debería realizar el análisis dinámico no lineal de todas las entidades de salud existentes, así como las que se construirán a futuro, con el fin de procurar la funcionalidad continua y la limitación del daño.

Es recomendable que además se realicen análisis no lineales del hospital y se pruebe con otros dispositivos de mitigación sísmica como disipadores viscosos y se concluya la necesidad urgente de disminuir la alta vulnerabilidad del hospital y así contar con hospitales seguros frente a desastres.

Referencias

- [1] Calle, F., Feijoo, B. (2017). "ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DEL "HOSPITAL DARÍO MACHUCA" (La Troncal) LA MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y REFUERZO PARA DISMINUIR SU VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL". Universidad del Azuay.
- [2] Dynamic Isolation System. (2007). Aislamiento sísmico para edificaciones y puentes.
- [3] FEMA-356. (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, (November).
- [4] FEMA P695. (2009). Quantification of building seismic performance factors. Fema, (June), 421.
- [5] NEC - Peligro Sísmico. (2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC: NEC-SE-DS - Peligro Sísmico/Diseño Sismo Resistente. <https://doi.org/10.4067/S0717-69962013000200001>
- [6] Merchán Salinas, R. V. (2010). *USO DE OPENSEES PARA GENERACIÓN DE SECCIONES CON FIBRAS PARA ELEMENTOS (VIGA, COLUMNA) PARA EL ANÁLISIS NO-LINEAL DE UNA ESTRUCTURA*. UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA. Retrieved from <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1557/3/romel.pdf>
- [7] Villota, I. (2016). Evaluación estructural de la Entidad Hospitalaria "Hospital Darío Machuca Palacios" del Cantón La Troncal – Provincia de Cañar, para cuantificar las amenazas y vulnerabilidad de la edificación hospitalaria. UNIVERSIDAD DEL AZUAY.

Autorización y Exención de Responsabilidad

Los autores Francisco Calle y Bernardo Feijoo autorizan al ESTEC a publicar el documento en las actas de la conferencia. Ni ESTEC ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el documento.