

Hospital de Parral, Chile

Parral Hospital, Chile

Lucía López de Asiaín^a, Eva Payá^b, Ignacio Sancho^c, Teresa Sotelino Barreiro^d,

Jorge Sánchez Iglesias^e

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Pondio Ingenieros. Director de Proyectos. llopez@pondio.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Pondio Ingenieros. Ingeniero de Proyectos. epaya@pondio.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Pondio Ingenieros. Ingeniero de Proyectos. isancho@pondio.com

^d Arquitecto. Grupo Puentes. Directora Técnica Hospitales. teresasotelino@grupopuentes.com

^e Arquitecto. Luis Vidal + Arquitectos. Arquitecto Asociado. jsi@luisvidal.com

RESUMEN

Los hospitales de Cauquenes, Constitución y Parral forman parte de la Concesión Red Maule, proyecto que implica el diseño, financiación, dotación de equipamiento, construcción y posterior operación de tres recintos médicos ubicados en las comunas de Cauquenes, Constitución y Parral.

El sistema estructural elegido han sido pórticos de hormigón armado en ambas direcciones materializándose la aislación sísmica a nivel de planta baja mediante apoyos de neopreno situados en todos los soportes del edificio.

ABSTRACT

Cauquenes, Constitución and Parral hospitals are part of the Red Maule Concession, a project that involves the design, financing, equipping, construction and subsequent operation of three medical facilities located in the municipalities of Cauquenes, Constitución and Parral.

The structural system chosen was reinforced concrete frames in both directions, with seismic isolation at ground floor level by means of elastomeric supports located in all the building's columns.

PALABRAS CLAVE: hospitales en zona de alto riesgo sísmico, aislamiento sísmico, análisis dinámico tiempo-historia, modelo BIM.

KEYWORDS: hospitals in high seismic risk zone, seismic isolation, dynamic time-history analysis, BIM model.

1. Introducción

Los hospitales de Parral, Cauquenes y Constitución forman parte de la Concesión Red Maule, proyecto que implica el diseño, financiación, dotación de equipamiento, construcción y posterior operación de tres recintos médicos ubicados en las comunas de Cauquenes, Constitución y Parral y los que totalizan una superficie estimada de 123.000 m².

La construcción, con un presupuesto de aproximadamente 275 millones de euros, está siendo ejecutada íntegramente por una sola empresa constructora.

Tras el terremoto de Maule de 2010, las autoridades chilenas exigen que cualquier hospital público de nueva ejecución implemente un sistema de aislamiento sísmico. El sistema

estructural elegido han sido pórticos de hormigón armado en ambas direcciones materializándose la aislación sísmica a nivel de planta baja mediante apoyos de neopreno situados en todos los soportes del edificio.

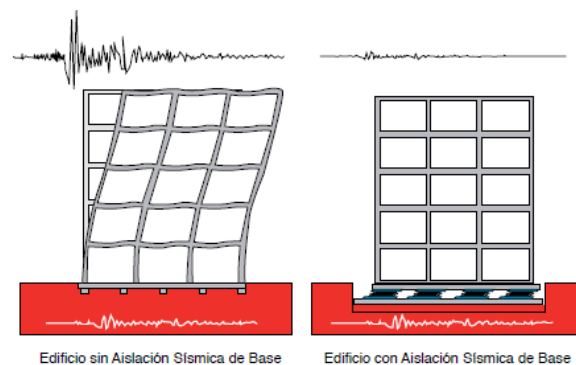
En este artículo nos vamos a centrar en el desarrollo del Hospital de Parral.

2. Descripción de la estructura

En particular el Edificio Principal del proyecto del Hospital de Parral, corresponde a una estructura de hormigón armado con sistema de aislamiento sísmico, con un nivel subterráneo (bajo aisladores) con uso principal de estacionamientos y estanques de agua, y 5 niveles más helipuerto sobre aisladores, donde se concentra el equipamiento e instalaciones hospitalarias propiamente dichas (camas, consultas, etc). El proyecto contempla también edificios menores en base fija.

El terreno donde se emplazará el centro hospitalario se encuentra en la ciudad de Parral, en el terreno delimitado por la Avenida las Margaritas y la Avenida Dr. Mario Mujica.

El objetivo principal que debe cumplir un centro hospitalario es la continuidad de operación después de un evento sísmico. Para cumplir con este objetivo el Edificio Principal considera la incorporación de un sistema de aislamiento sísmico, el que concentrará la disipación de energía ante un evento sísmico severo, reduciendo la demanda sobre la estructura ubicada sobre el nivel de aislamiento. Por otro lado, la filosofía del diseño de las estructuras aisladas comprende no solo la protección de la vida durante un evento sísmico severo, sino también la reducción del daño de la estructura y sus contenidos. Así, el diseño de las estructuras aisladas considera los objetivos de desempeño establecidos en la norma [1] NCh2745. Of 2013.



Todos los edificios son construcciones aisladas, por tanto, no afectan la medianería con otras posibles edificaciones.

El sistema sismorresistente corresponde a marcos rígidos de hormigón armado con vigas en las dos direcciones. La estructura se desarrolla sobre una retícula típica de 7,8 m x 7,8 m, con voladizos de 3,9 m (medía crujía) en algunos niveles.



Figura 1. Ejecución de marcos rígidos de hormigón armado del Hospital de Parral.

Las columnas y vigas tienen dimensiones de acuerdo con los requerimientos de resistencia y rigidez, según se detalla más adelante.

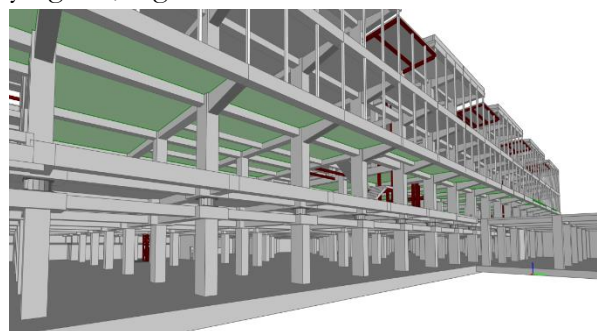


Figura 2. Sistema estructural del Hospital de Parral.

Estructura sobre la interfaz de aislamiento, la dimensión típica de columna es de 80x80cm, salvo los pilares que reciben las vigas de los voladizos y otros elementos apantallados, en que se usa una dimensión de 80x120cm y 120x80cm.

Las vigas de los voladizos se conectan con sus homólogos de niveles superiores e inferiores

mediante puntales metálicos que compatibilizan las deformaciones verticales entre pisos.



Figura 3. Estructura sobre aislamiento del Hospital de Parral.

Se presenta también un detalle esquemático de la estructuración típica de los módulos en voladizo (Figura 4).

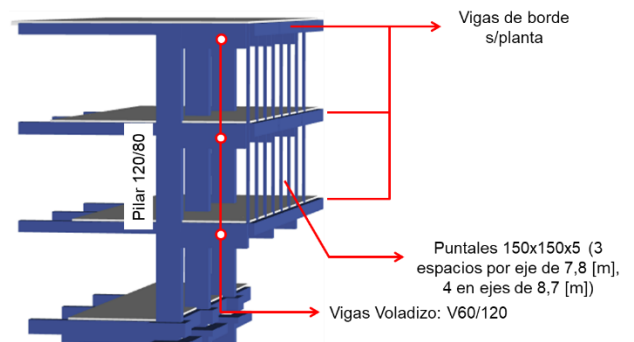


Figura 4. Secciones y detalle de estructuración voladizo.

Estructura bajo la interfaz de aislamiento, se usan pilares de dimensión 80x100cm, 120x80cm y 80x120cm, capiteles de 180x180cm y vigas de amarre de 75/50cm.

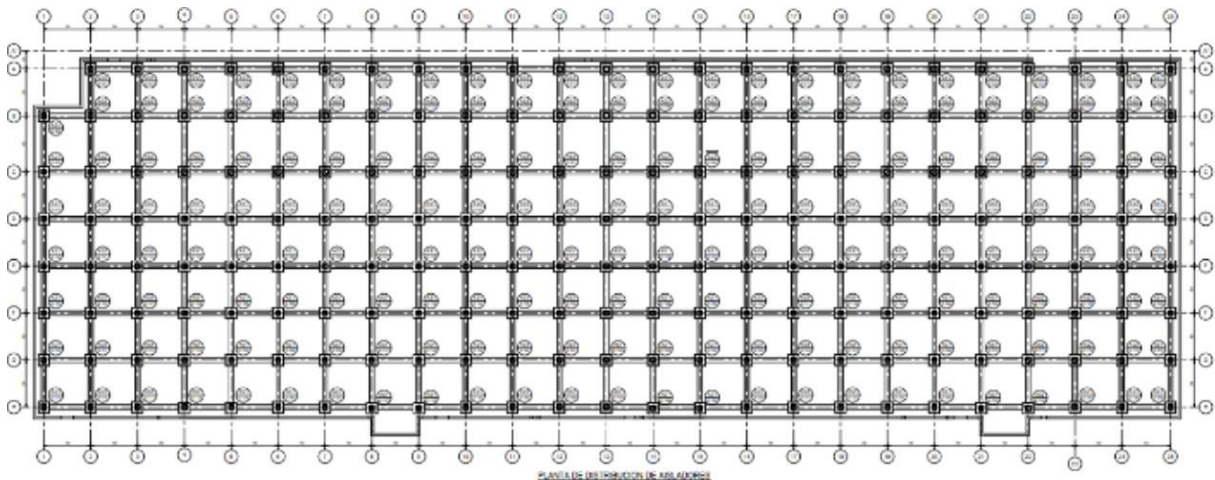


Figura 5. Estructura bajo aislamiento del Hospital de Parral.



Figura 6. Estructura sobre aislamiento y bajo aislamiento del Hospital de Parral

- AS1:
 $K_v = 1201150 \text{ [kN /m]}.$
 $K_h = 1013.5 \text{ [kN /m]}.$
 Total, aisladores tipo AS1: 94.

- AS1:
 $K_v = 1201150 \text{ [kN /m]}.$
 $K_h = 1013.5 \text{ [kN /m]}.$
 Total, aisladores tipo AS1: 94.

- AS2:
 $K_v = 1554750 \text{ [kN /m]}.$
 $K_h = 1250.3 \text{ [kN /m]}.$
 Total, aisladores tipo AS2: 50.
- AS3:
 $K_v = 2000590 \text{ [kN /m]}.$
 $K_h = 1502.3 \text{ [kN /m]}.$
 Total, aisladores tipo AS3: 55.

K_v : Rigidez vertical por aislador [kN/m]
 K_h : Rigidez horizontal por aislador [kN /m]

El diseño de los aisladores se realiza a través de un proceso iterativo, mediante el cual se busca la convergencia de las cargas sobre los aisladores y los desplazamientos, encontrando el amortiguamiento efectivo óptimo del sistema.

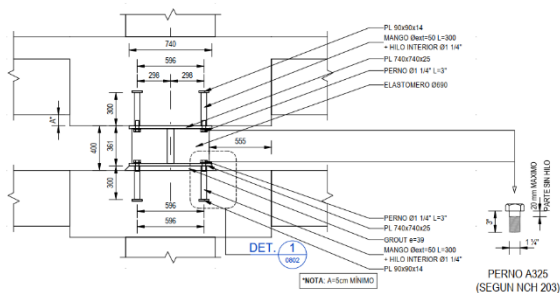


Figura 7. Detalle general de aislador con núcleo de plomo AS1.

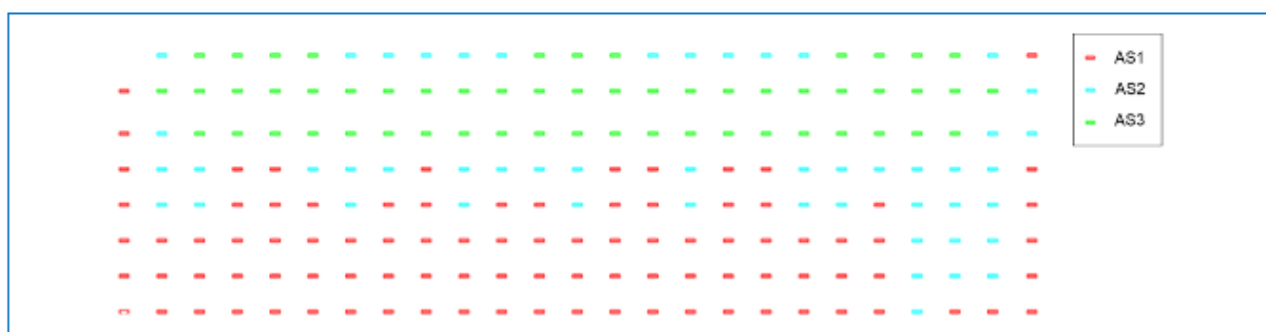


Figura 8. Distribución de aisladores en planta.

La estructura del Edificio Principal se proyecta como una estructura sin juntas de dilatación. Por ello, para controlar los efectos de retracción se consideran pausas de hormigonado

predeterminadas. Estas pausas corresponden a franjas que abarcan elementos verticales y horizontales en las cuales se deja un receso del hormigonado por al menos 30 días o bien hasta

que los hormigones colindantes cumplan una edad de 30 días o más. Dentro de esta franja se disponen los empalmes de la armadura de modo que el edificio quede desconectado en este sector y permita acomodar la deformación por retracción en las zonas que quedan entre pausas. De esta forma se controla que la deformación por retracción no sea mayor a los 5cm definidos en los Criterios de Diseño del proyecto y que es considerada en el diseño del sistema de aislamiento sísmico.

Para el Edificio Principal se considera una cimentación mediante losa de fundación, debido a la presencia del nivel freático.

Para el análisis y diseño, se considera el caso más desfavorable entre la presencia o no del nivel freático, tanto para los esfuerzos internos en la losa, como para evaluar levantamientos y tensiones de contacto con el suelo. La altura de agua considerada como subpresión es $h_w = 4,07$ [m], determinada de acuerdo con el nivel base de la cimentación y la cota del acuífero detectado, según se informa en el Informe de Mecánica de Suelos.

El diseño de la losa de fundación contempla la verificación de la Estabilidad global a flotación. También ha sido necesario el análisis del agotamiento del nivel freático durante la construcción.



Figura 9. Cimentación del Hospital de Parral

El diseño de elementos de contención del proyecto corresponde a muros de contención de sección variable en el perímetro del edificio principal. Estos muros se diseñan para resistir los empujes estáticos y dinámicos derivados de las propiedades del suelo, la presencia del nivel freático y de las aceleraciones horizontales asociadas al sismo de diseño.

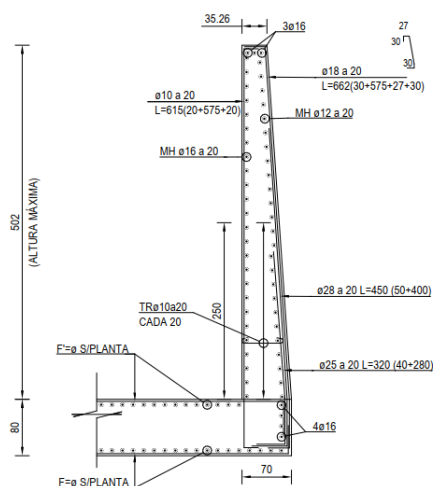


Figura 10. Cimentación del Hospital de Parral.

El diseño BIM del proyecto se realiza según las Normativas Chilenas BALIS, con un trabajo interactivo continuo entre los equipos de arquitectura, estructura e instalaciones. Esto permite llevar a cabo un chequeo semanal de las

interferencias entre las distintas especialidades que garantice la viabilidad de la construcción en tiempo real. El proyecto se llega a solapar con la construcción por los plazos de aprobación de las autoridades chilenas, por lo que esta coordinación es de vital importancia para una correcta ejecución en obra.

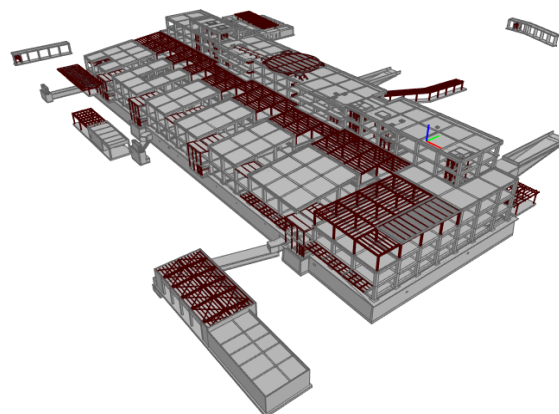


Figura 11. Modelo BIM de Hospital de Parral.

3. Cálculo de la estructura

El modelo de la estructura considera un comportamiento lineal elástico de los elementos acuerdo a sus propiedades de rigidez con su sección bruta y los módulos de elasticidad correspondientes a las distintas materialidades

(hormigón y acero). Para simular la rigidez del nudo entre vigas y columnas se define una longitud del nudo como semirrígido. Con este valor se reconoce un grado de flexibilidad del nudo.

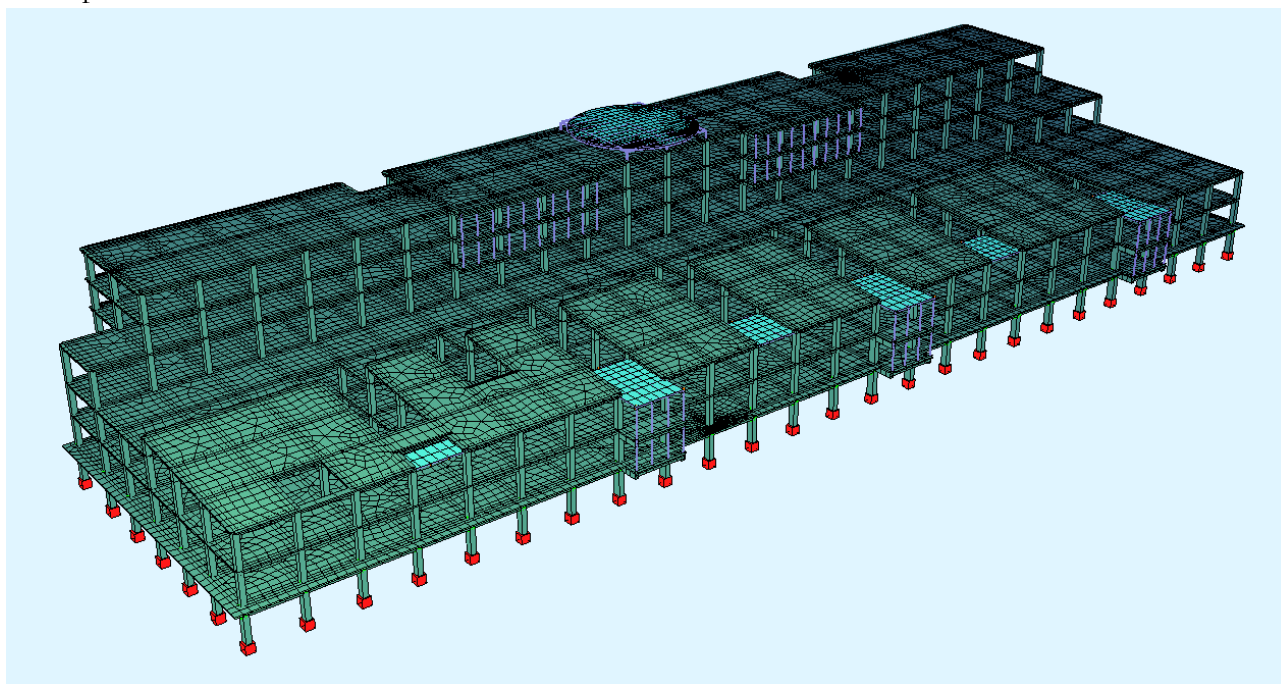


Figura 12. Imagen modelo computacional en SOFISTIK. Edificio principal.

En esta etapa, la relación constitutiva de los elementos del sistema de aislamiento sísmico también se considera lineal elástica, considerando las propiedades equivalentes para los desplazamientos de diseño.

Los esfuerzos y desplazamientos sísmicos son calculados a partir de un análisis tiempo historia que incorpora las propiedades no lineales de los aisladores sísmicos. Se utiliza este procedimiento de análisis debido al requerimiento establecido en 6.5.3 de [1] NCh2745. Of 2013 para estructuras ubicadas en suelos que no califiquen como tipo I, II o III. En el caso del Hospital de Parral el suelo está caracterizado como suelo tipo E según [2] NCh433 y [3] DS61 o tipo IV para la norma [1] NCh2745. Of 2013, por lo que el uso del análisis tiempo historia es mandatorio.

El procedimiento para la generación de los casos sísmicos de diseño se describe a continuación:

1. Se seleccionan 7 registros sísmicos compatibles con la sismicidad de la zona, y se separan sus componentes X e Y.
2. Cada uno de los registros unidireccionales es *compatibilizado* con el espectro de sitio definido en el Estudio de Riesgo Sísmico.
3. Se define cada registro de diseño bidireccional (XY) de manera que las componentes se combinan en proporción 100% / 65%.

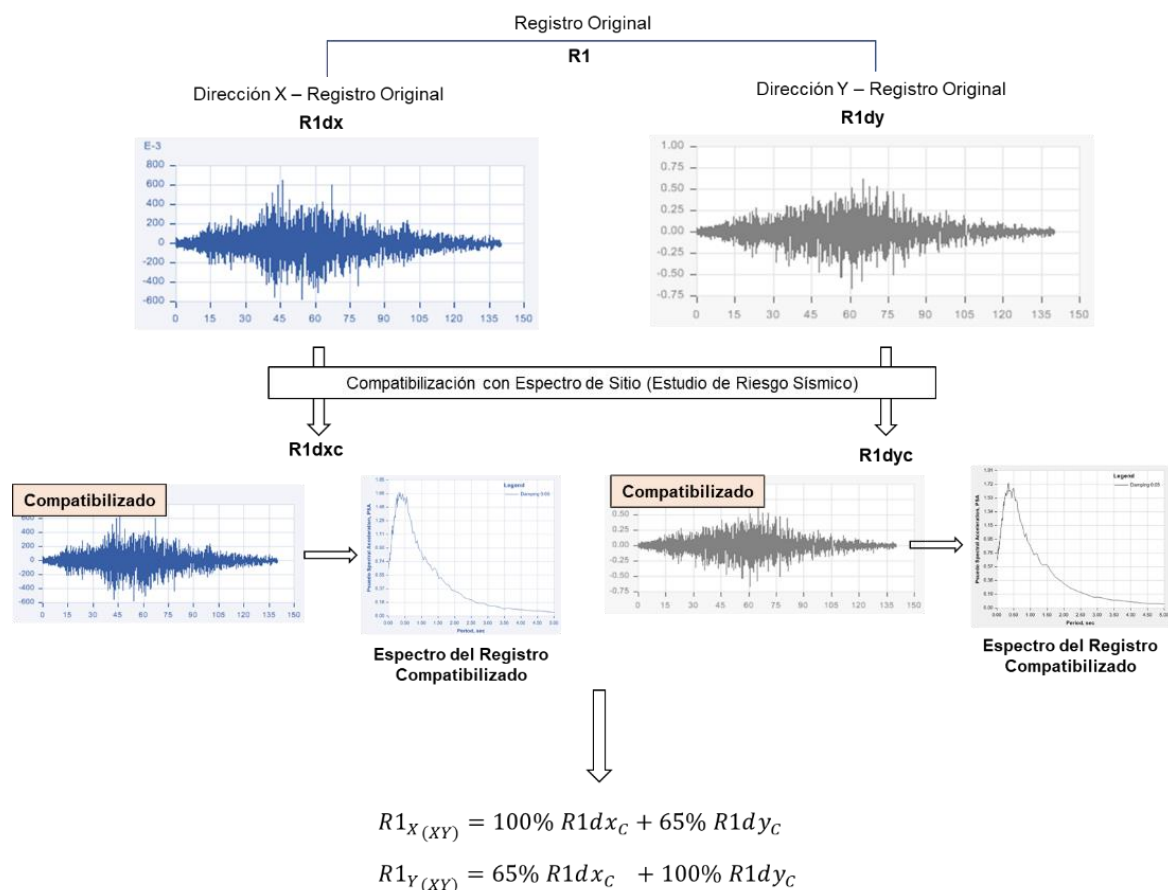


Figura 13. Procedimiento para la generación de los espectros.

4. Se precarga la estructura con una carga tipo *Rampa No Lineal* de $D+0.5L$ antes de correr los casos no lineales de cada registro. Posteriormente se debe restar $D+0.5L$ al promedio de los 7 registros para no duplicar las cargas en las combinaciones de diseño (donde D se corresponde con las cargas permanentes y L con las sobrecargas de uso).
5. El caso sísmico de diseño para el sismo en la dirección X e Y se define como sigue:
 - i. $SX = \alpha \times (R1_{X(XY)} + R2_{X(XY)} + R3_{X(XY)} + R4_{X(XY)} + R5_{X(XY)} + R6_{X(XY)} + R7_{X(XY)}) \cdot \frac{1}{7}$
 - ii. $SY = \beta \times (R1_{Y(XY)} + R2_{Y(XY)} + R3_{Y(XY)} + R4_{Y(XY)} + R5_{Y(XY)} + R6_{Y(XY)} + R7_{Y(XY)}) \cdot \frac{1}{7}$

α y β son factores de calibración
6. Por último, las fuerzas obtenidas de los casos sísmicos SX y SY , se combinan con las cargas viva, muerta, eventual y las que correspondan aplicando los factores establecidos por el método de diseño LRFD para el diseño de los elementos de hormigón armado.

4. Conclusiones

El proyecto y la ejecución de los hospitales de Cauquenes, Constitución y Parral han supuesto un reto ingenieril al realizar el proyecto de la estructura fuertemente condicionado por las importantes solicitaciones sísmicas y los requerimientos arquitectónicos necesarios de las dotaciones hospitalarias.

En el diseño sismorresistente de los hospitales se ha buscado una solución que asegure un equilibrio entre la rigidez, la resistencia y la ductilidad global de la estructura.

Al aplicar un sistema de aislamiento mediante aisladores elastoméricos con núcleo de plomo se permite proyectar una estructura capaz de resistir la acción sísmica trabajando más allá del límite de fluencia sin una pérdida significativa de su resistencia, lo que permite evitar el colapso y limitar los daños.

5. Referencias

A continuación, listamos las normas sísmicas a las que se exige cumplimiento para las estructuras hospitalarias en Chile:

- [1] NCh2745. Of 2013: Análisis y Diseño de Edificios con Aislación Sísmica, 2003.
- [2] NCh433. Of 1996. Mod 2009: Diseño Sísmico de Edificios.
- [3] DS61. Aprueba Reglamento que fija el Diseño Sísmico de Edificios.