

Diseño y Construcción del Hospital Quillota-Petorca con aislamiento basal

Design and Construction of Quillota-Petorca Hospital with base isolation

Carlos Castro ^a, Ramón Sánchez Fernández ^b, Rubén Alonso Alonso ^c y Ángel Sánchez de Dios ^d

^a Civil Engineer. Head of Structural Department at Sacyr Chile ccastro@sacyr.com

^b Sacyr. Chair of Structural and Architectural Department. rsfernandez@sacyr.com

^c MSc. Structural Engineer. Sacyr. Structural Department. raalonso@sacyr.com

^d MSc. Civil Engineer-Structural Engineer. Sacyr. Structural Department. asanchezd@sacyr.com

RESUMEN

El nuevo Hospital Biprovincial Quillota-Petorca que Sacyr está diseñando y construyendo se ubica dentro de una de las zonas con más alta sismicidad en el mundo afectada recientemente por grandes eventos (2015 Mw=8.4; 2014, Mw=8.2; 2010, Mw=8.5). Es fundamental asegurar la continuidad operativa de los hospitales, considerando el uso de nuevas tecnologías de aislamiento basal. Se ha considerado un plano de aislación combinado entre aisladores de goma (LRB y RB) y deslizadores lubricados, apuntando a lograr una transmisión mínima de la acción dinámica del suelo sobre el edificio, minimizando el riesgo de daños estructurales, y no estructurales.

ABSTRACT

The new Quillota-Petorca Hospital that Sacyr is designing and building is located in one of the most seismic zones worldwide. In recent years this zone has been affected by large earthquakes (2015 Mw=8.4; 2014, Mw=8.2; 2010, Mw=8.5). During such events it is paramount to ensure continuous operation of the hospital, which has been achieved considering new base isolation systems. An isolated plane has been designed by using rubber bearings (LRB & RB) together with lubricated sliders, which has allowed to minimize the dynamic action derived from the soil into the building structure and its content.

PALABRAS CLAVE: hospital, aislamiento basal, aisladores, continuidad operativa.

KEYWORDS: hospital, base isolation, isolators, continuous operation.

1. Descripción del Proyecto

El nuevo Hospital Biprovincial Quillota Petorca, que reemplazará al actual Hospital San Martín de Quillota, es parte del Plan Nacional de Inversiones en Salud del Gobierno de Chile, que generará un cambio histórico y trascendental en

la infraestructura sanitaria, equipamiento clínico, transporte de usuarios y recursos humanos en la red pública de salud. Contempla una inversión de 114 millones de dólares (figura 1)

El recinto de salud favorecerá a más de 320 mil personas de diez comunas, contando con una superficie construida de 73.204 m² y ofrece 282 camas de hospitalización, 9 pabellones quirúrgicos, 32 boxes médicos, 19 boxes para otros profesionales, 25 salas de procedimientos, 3 salas de parto integral, 15 cupos de diálisis, Unidad de Salud Mental, Unidad de Medicina Ambulatoria, 6 plantas de hospitalización, helipuerto, auditorio y capacidad para 551 estacionamientos. Además considera un aumento considerable en la dotación de funcionarios.

El contrato adjudicado a Sacyr es del tipo de Proyecto y Obra en el marco del Modelo 108 lo que significa que el cobro de la obra se realiza tras el cumplimiento de unos hitos previamente definidos, lo cual implica una componente importante de financiación de la obra

El terreno tiene un desnivel de forma continua, desde los 132 msnm hasta los 133.5 msnm en una distancia de 300 [m]. Existe una napa freática localizada entre 4 y 4.5 [m] de profundidad bajo el nivel de terreno.

Debido a lo anterior, se ha determinado que el nivel del primer piso se encuentre en el nivel 135 msnm, con el propósito intrínseco de mitigar la vulnerabilidad de recintos funcionales en caso de inundación.



Figura 1. Emplazamiento General Hospital Biprovincial Quillota-Petorca.

1.1 Distribución Arquitectónica.

El Hospital se ha diseñado como un edificio moderno, flexible funcionalmente y eficiente energéticamente, teniendo como principal preocupación la satisfacción del usuario.

Se compone de dos elementos principales: zócalo de 3 plantas y torre de hospitalización de 6 plantas, buscando concentrar en un solo volumen todos los recintos hospitalarios.

El eje longitudinal del edificio separa circulaciones públicas y técnicas tanto dentro como fuera del edificio haciendo las veces de nexo de unión del edificio.

En el nivel subterráneo se ubican los accesos a estacionamientos y patio de camiones.

1.2 Relaciones funcionales.

El ordenamiento funcional dentro del hospital se simplifica debido a su volumetría, la cual se ordena en torno al eje longitudinal. Este eje alberga la circulación principal del hospital, tanto en niveles inferiores, como en los niveles de hospitalización, conectando todos los servicios hospitalarios de cada piso.

Los núcleos de circulaciones verticales están asociados a este eje, siendo polos de cruces entre circulaciones verticales y horizontales.

Este eje central que conforma la circulación mixta, ordena jerárquicamente los flujos. Dentro de las unidades ambulatorias (norte) se generan circulaciones en el mismo sentido (oriente / poniente) que comunican internamente cada unidad, es decir, los flujos menores internos.

Para la conexión entre estas dos escalas de circulaciones aparecen pasillos transversales asociados a salas de espera o hall de ascensores y escaleras.

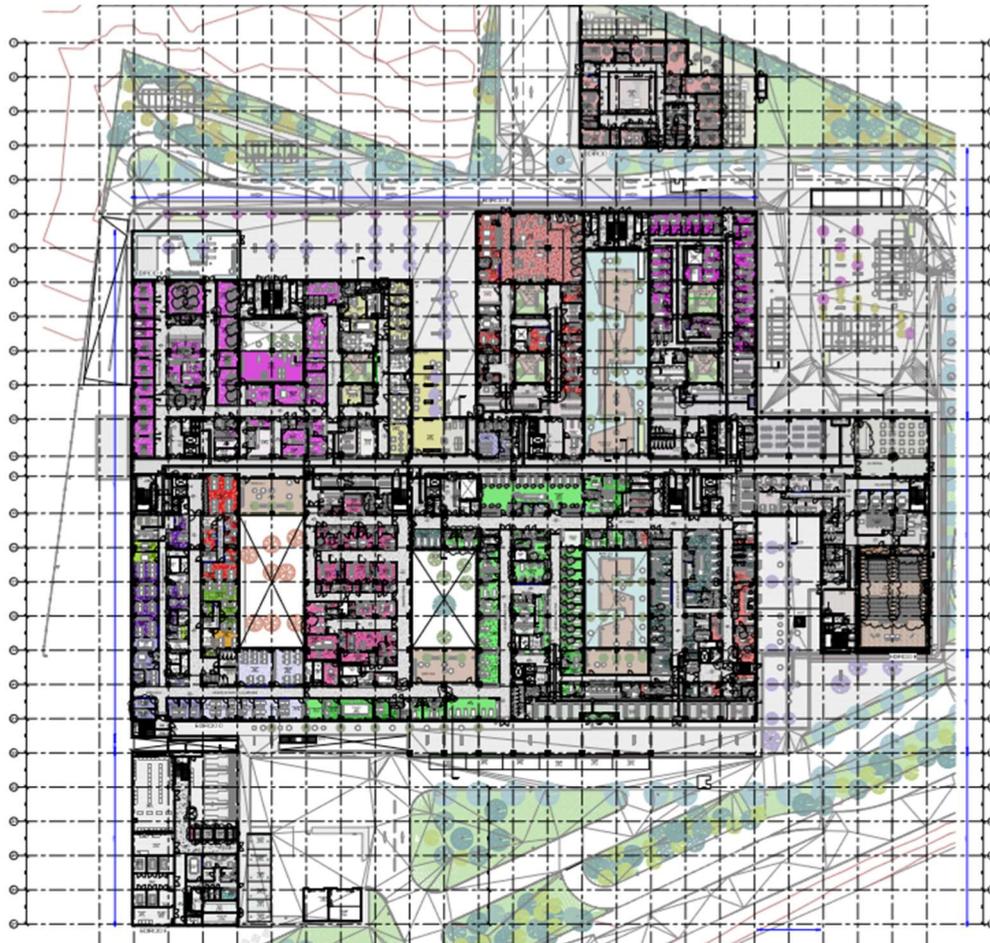


Figura 1. Planta Primer Piso Arquitectura.

Hacia el sur, el ordenamiento de las circulaciones es similar, pero al tratarse de grandes unidades, las circulaciones internas son mayores en sus largos como cantidades.

Resumidamente, el eje central del hospital alberga principalmente las circulaciones públicas de conexión con las distintas unidades del hospital.

1.3 Apilamiento vertical.

En el sótano se alojan las plazas de estacionamientos y los recintos de apoyo logístico.

En Primer Piso se ubica el nivel de urgencia, imagenología y administración hacia el sector norte, consultas y procedimientos, toma de

muestras, farmacia, medicina física, hospital de día y corta estadía de salud mental. En este mismo nivel se considera el jardín infantil independiente del edificio principal.

En Segundo piso, hacia el norte se ubican consultas y procedimientos, unidad de odontología, laboratorios, hacia el sur, áreas de parto integral, UPC infantil, UCI neo, pabellones, UPC adultos.

En Tercer piso, hacia el norte dipalipsis, consultas y procedimientos, hacia el sur, diálisis, salas apoyo.

En Cuarto y Quinto piso, 3 bloques de hospitalización, incluyendo 3 estaciones de enfermería.

En Sexto piso, 2 bloques de hospitalización y el tercer bloque de libre disponibilidad ante futura expansión.

Se han considerado solo escaleras interiores presurizadas facilitando la evacuación en caso de emergencia.

2. Proyecto de estructuras.

El proyecto de estructura y aislación sísmica del nuevo Hospital biprovincial Quillota-Petorca consideró, en su proceso de análisis y diseño el estado del arte de la ingeniería sismorresistente alrededor de mundo, alejándose de la filosofía de diseño tradicional. Para el diseño del sistema de aislación sísmica se desarrollaron modelos no lineales, con el software ETABS, considerando las relaciones constitutivas fuerza-deformación de cada uno de los dispositivos considerados (aisladores de goma con y sin núcleo de plomo y deslizadores friccionales lubricados) para el diseño de la superestructura se consideraron modelos lineales que incluyen las rigideces y amortiguamientos equivalentes para el sistema de aislación.

La filosofía de diseño tradicional, está orientada a lograr estructuras que aun cuando presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad excepcionalmente severa. Esto supone que después de la ocurrencia de un sismo, el edificio debe ser desalojado hasta que un equipo de especialistas lo revise y dé luz verde a la ocupación del mismo.

Nivel de diseño sísmico	Operación Permanente	Ocupación Inmediata	Protección de la vida	Prevención del colapso
Frecuente (50%/30 años)	✘			Comportamiento inaceptable (para edificios nuevos)
Ocasional (50%/50 años)	◆	✘		
Raro (10%/50 años)	●	◆	✘	
Muy raro (10%/100 años)	●	●	◆	

Fuente: OPS / VISION 2000

● Hospitales
 ◆ Instalación peligrosa
 ✘ Instalación convencional
 ● Hospitales con Aislamiento Sísmico

Figura 3. Filosofía de diseño para estructuras hospitalarias según OPS.

Para el caso de infraestructura hospitalaria esta filosofía no es suficiente, debido a que lo que se busca es la continuidad operacional del hospital, en sus servicios claves, después de un evento sísmico severo ya que es en esos momentos cuando la necesidad de uso de esta infraestructura va a resultar clave .

Según la Organización Panamericana de la Salud, para el diseño de estructuras hospitalarias se debe considerar la filosofía de diseño recogida en la figura 3.

Para lograr estos objetivos es fundamental considerar un sistema de protección sísmica, que en este caso se trata de un sistema de aislación basal, diseñado de acuerdo a la normativa chilena la cual tiene los objetivos de desempeño siguientes:

- i. Resistir sismos pequeños y moderados si daño en elementos estructurales, componentes no estructurales y contenidos del edificio.
- ii. Resistir sismos severos sin que exista: falla del sistema de aislación; daño significativo a los elementos estructurales y daño masivo a elementos no estructurales.

Para cumplir con estos objetivos, los requisitos propuestos limitan la respuesta inelástica de la superestructura a una fracción menor de lo que se permite para edificios convencionales. Consecuentemente, el desplazamiento lateral de una estructura durante un sismo debe ocurrir en la interfaz de aislación y no en la superestructura.

2.1 Descripción de la Estructura

La estructura principal del edificio se basa en marcos rígidos (viga-columna) de hormigón armado, resistentes a corte y flexión en dos direcciones perpendiculares entre sí. Los

elementos resistentes verticales están unidos por losas también de hormigón armado, las cuales frente a sollicitaciones laterales (sismos), actúan como diafragma rígido en su plano.

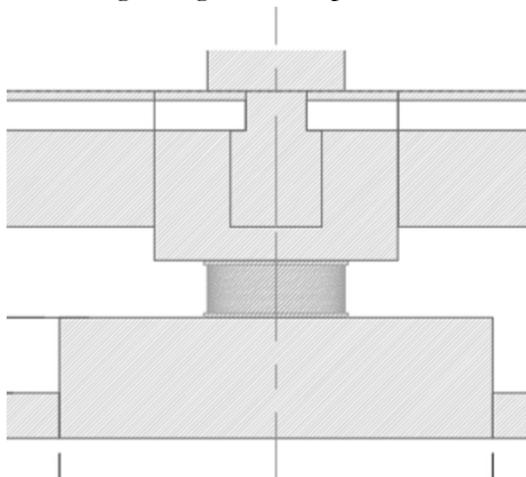


Figura 4. Corte típico fundaciones-aislación.

Además, cuenta con un sistema de aislación sísmica basal (figura 4), sobre el nivel de fundaciones, compuesto por aisladores de goma, con y sin núcleo de plomo (LRB y RB) en el perímetro del edificio y deslizadores friccionales lubricados bajo las torres de hospitalización, sobre este sistema de aislación se ha considerado un sistema de losas prefabricadas y vigas de gran tamaño que aseguran la rigidez del plano de aislación.



Figura 5. Espacio bajo plano de aislación

El sistema de fundaciones corresponde a zapatas aisladas bajo columnas y zapatas corridas bajo muros. Existe un espacio entre la fundación y el sistema de losas prefabricadas suficiente para poder inspeccionar los aisladores y sustituirlos si algún día fuera necesario (figura 5). Para evitar

problemas con la napa freática en el nivel de aislación sea considerado una losa de fundación de espesor mínimo 30 [cm] que se encuentra ubicada a nivel de sello de fundación, el cual ha sido determinado coincidente con el nivel de la napa freática observada.

En la solución tipo, los marcos tienen vanos de 8.0 x 8.0 [m] conformado por columnas de 80 x 80 [cm] y vigas 60 x 60 [cm], las losas tienen espesor típico de 20 [cm]

2.2 Modelamiento Estructural

El edificio se ha modelado con el software ETABS (figura 6), de amplio uso en ingeniería estructural de edificios, dentro de este modelo se encuentra la estructura completa, las vigas y columnas se modelan como elementos del tipo “frame” con sus correspondientes propiedades e inercias brutas, las losas con elementos del tipo “shell”, los elementos que conforman el sistema de aislación se han modelado considerando un modelo bilineal que se ajusta al ciclo histerético esperado, elementos del tipo “NL-Link”.

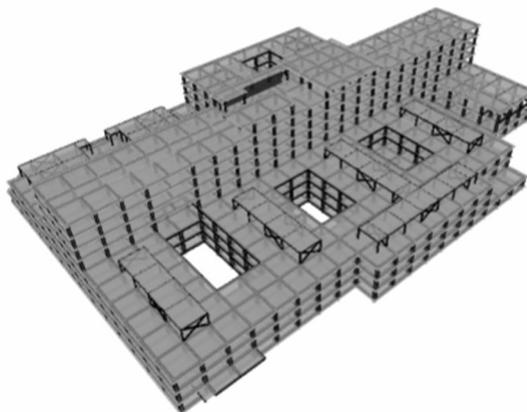


Figura 6. Modelo estructural ETABS.

La interacción entre el suelo y la estructura se modela a través de fundaciones aisladas que consideran la constante de balasto, deducida del informe de mecánica de suelos, para uso de resortes verticales.

2.3 Análisis y Diseño Estructural

El análisis del edificio se desarrolla de acuerdo a lo indicado en la norma chilena NCh2745:2013 [1], para el diseño de los elementos estructurales además se han considerado las recomendaciones indicadas en las normativas chilenas NCh430:2008 [2] y el DS60/2011 [3], además se considera el código ACI318S-08 [4].

El suelo de fundación corresponde a gravas pobremente graduadas que se clasifica como suelo tipo B según DS61/2011 [3]

El análisis sísmico se realiza considerando lo indicado en el informe de riesgo sísmico específico para la zona de emplazamiento del Hospital encargado por el Consorcio Sacyr-Somague y desarrollado por el Ingeniero Jorge Crempien Laborie (figura 6), donde se definen el sismo de diseño SDI (10% de excedencia en 50 años) y el sismo máximo posible SMP (10% de excedencia en 100 años) (figura 7).

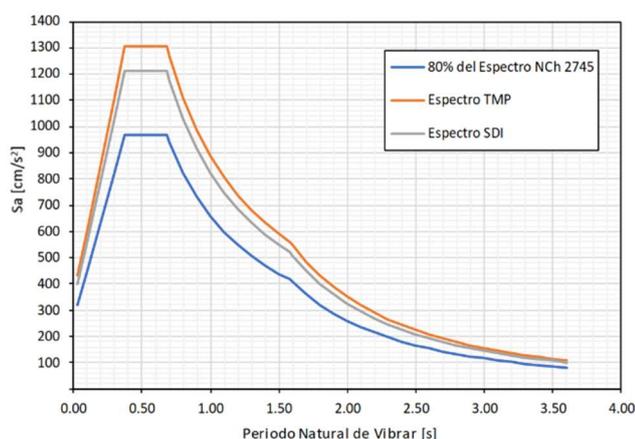


Figura 7. Espectros de diseño considerados.

Para el análisis modal espectral se linearizan las propiedades de los aisladores a la deformación de diseño. Para el cálculo de los desplazamientos de los aisladores se considera el sismo máximo posible actuando simultáneamente en dos direcciones perpendiculares, el 100% del sismo se aplica en una dirección, mientras que el 30% del sismo se aplica en la dirección ortogonal.

Los elementos estructurales se diseñan considerando el sismo de diseño, el sistema de aislación y juntas sísmicas se diseñan considerando el sismo máximo posible de acuerdo a la normativa NCh2745:2013 [1].

De acuerdo a lo anterior, los parámetros de diseño del sistema de aislación son los siguientes:

Periodos Fundamentales

T_y	2.98 [s]
T_x	2.97 [s]
T_z	2.41 [s]

Peso Sísmico Total	126363.9 [tonf]
Desplazamiento de diseño	265 [mm]
Desplazamiento total máximo	333 [mm]

2.4 Diseño Sistema de Aislación

El diseño de un sistema de aislación se resume en los siguientes pasos:

- Definir comportamiento global objetivo; definir el periodo y amortiguamiento global efectivo.
- Definir criterios sísmicos secundarios; control de torsión, niveles óptimos de corte en sub y superestructura.
- Definir criterios de seguridad secundarios; resistencia al fuego.
- Ubicar dispositivos que cumplan con un estándar superior de desempeño.

Dentro del sistema de aislación se utilizan 3 tipos de dispositivos, buscando hacer un diseño que:

- Permita alcanzar el periodo objetivo.
- Permita alcanzar el amortiguamiento objetivo mínimo.
- Permita definir dispositivos con distintas capacidades de carga vertical, dado que el edificio tiene demandas gravitacionales distintas.
- Permita distribuir los tres tipos para encontrar la condición óptima,

maximizando la seguridad de la estructura.

La distribución en planta se puede ver en la figura 8 donde las filas y columnas de la hoja Excel representan los ejes de replanteo del edificio:

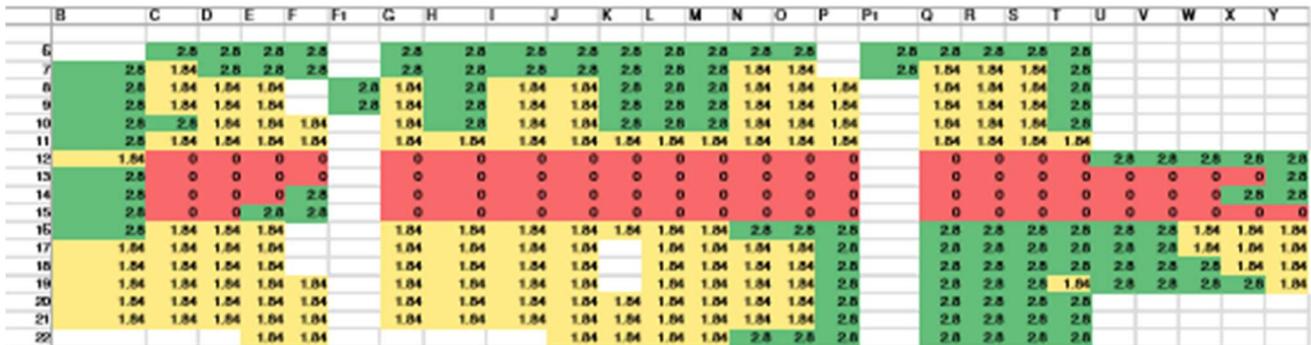


Figura 8. Distribución dispositivos de aislación.

Las propiedades de los dispositivos obtenidas del diseño pueden resumirse en las tablas 1 y 2:

Tabla 1. Propiedades dispositivos sistema de aislación.

Tipo	$N_{ed\ max}$ [kN]	K_e [kN/mm]	β [%]
DP	12000	0	0
LRB	7500	2.80	20
LDR	7500	1.84	7

Con el objetivo de encontrar el amortiguamiento efectivo del sistema de aislación definido, se realizó el análisis no lineal de la estructura, a través de, registros artificiales de tiempo-historia compatibles con el espectro informado en el estudio de riesgo sísmico considerado.

Se repite el análisis para tres coeficientes de roce en los deslizadores (1%, 3%, 9%), de los resultados se demuestra que el roce no es un factor importante en el desplazamiento último, aunque si afecta la fuerza de activación del sistema.

Tabla 2. Desplazamientos según coeficiente de roce.

Coef	D_{max} [mm]	$D_{total\ max}$ [mm]	D_{avg} [mm]
1%	283.4	333.4	265.0
3%	283.1	333.1	264.8
9%	282.5	332.5	264.3

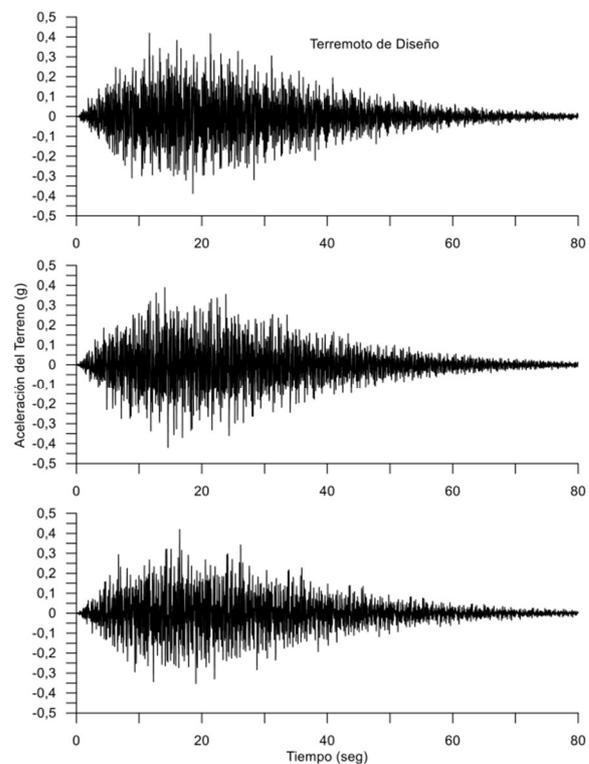


Figura 9. Registros artificiales considerados en el análisis tiempo-historia.

Donde *E_{max}* corresponde a las cargas de compresión debidas a sismo máximo y *E_{min}* corresponde a las cargas de tracción debidas a sismo máximo.

El edificio, debido a su magnitud se acometió desde 3 frentes distintos, con jefes de producción y equipos independientes. La gestión de aprovisionamiento y la gerencia estaba centralizada.

3. Fase Construcción.

3.1 Estrategia General

La obra se acometió con 6 grúas (figura 10) torre para realizar la estructura de hormigón armado del edificio principal y apoyar puntualmente al montaje de fachada, se contó además con ayudas de grúas automóbiles para el montaje de fachada y la estructura metálica de cubierta.



Figura 10. Vista general inicio obras Hospital biprovincial Quillota-Petorca.

3.2 Excavación y Cimentaciones

El principal desafío durante la excavación del edificio, se debió a la aparición de la napa freática durante la faena, lo que obligó a diseñar un sistema de drenes que condujeran los afloramientos de agua fuera del terreno.

Luego de esto, se procedió a ejecutar la losa y zapatas de fundación, dejando los pedestales preparados para la instalación de los dispositivos de aislación (figura 11).

3.3 Sistema de Aislación

Debido a la ubicación de los dispositivos, sobre fundaciones, el proceso de provisión resultó ser crítico para el avance normal de la obra. En particular, debido a lo indicado en la normativa chilena, los aisladores de goma deben ser ensayados en un 100% en laboratorios certificados, previo a su instalación en terreno. Así, el proceso de instalación de los dispositivos representó una de las etapas más importantes dentro del desarrollo de la obra.



Figura 11. Cimentación y arranque de columnas

La recepción de los dispositivos en obra debió cumplir con lo indicado en las especificaciones técnicas del proyecto y exigir al fabricante de estos, que a la llegada a la obra cada dispositivo fuera acompañado por los correspondientes certificados de ensayos. De acuerdo a lo indicado en el manual de instalación preparado por el fabricante y aprobado por el ingeniero estructural, los dispositivos debían conservarse en cajas almacenados en bodegas hasta su instalación. Antes de ser instalados debían inspeccionarse para detectar posibles fallas visuales de fábrica, como algunas averías o daños que pudiesen haber ocurrido durante el transporte.

La preparación final del montaje incluyó las siguientes actividades:

- i. Limpieza y revisión del dispositivo.
- ii. Verificación de la geometría y estado de los pernos de anclaje.
- iii. Nivelación y aplome.
- iv. Alineación.
- v. Grouteos con material autonivelante para lograr nivelar la superficie de apoyo de los dispositivos.
- vi. Apriete de los pernos de anclaje con el torque definido.

El orden de instalación considera lo siguiente:

- i. Posicionar los manguitos dentro de la columna.
- ii. Hormigonar la columna de H.A.

- iii. Con el hormigón endurecido, proceder a limpiar y a generar rugosidad sobre la cara superior del pedestal para lograr una adecuada adherencia con el grout.
- iv. Aplicar el grout de nivelación sobre la superficie del pedestal.
- v. Posicionar e instalar el aislador.

Una vez instalado y posicionado el dispositivo sobre el pedestal, se aplica grasa o desmoldante en toda la superficie de la placa base superior del dispositivo, montando la armadura de la columna superior, hormigonando el capitel superior.



Figura 12. Franjas de hormigonado

3.4 Ejecución de la estructura

Una vez instalados los aisladores se procede a realizar la placa aislada, compuesta de losas prefabricadas alveolares sobre vigas de grandes dimensiones sin juntas.

Las losas superiores se hormigonaron siguiendo las fases del edificio, de poniente a oriente dejando franjas sin hormigonar (figura 12), con enfierradura traslapada, con objeto de dejar ocurrir la mayor fracción de la deformación por retracción posible, luego de dos meses se reapuntala y hormigonan las franjas.

La enfierradura de las columnas se han detallado de manera que facilitasen el prearmado de las columnas fuera del edificio y luego fueran levantados por las grúas, generando traslapes piso a piso sobre la losa.

Las vigas de los marcos intermedios se armaron a pie de posición subiendo las armaduras principales superior e inferior con los estribos sin fijar y se enfilaban en la ferralla de la columna de un extremo ya que los empalmes se situaban en centro de vano. Luego, se completaba la armadura longitudinal y se colocaban los estribos indicados. Finalmente se colocaban los

estribos de la columna y se armaba el otro extremo de la viga.

Las losas se armaban fácilmente a través de las vigas y el hormigonado de todo el conjunto se hacía sin particularidades.

La obra comenzó en Enero de 2017 y se espera su total finalización a mediados de 2020.



Figura 13. Vista general de la obra en fase de acabados e instalaciones

Agradecimientos

El consorcio Hospital Quillota-Petorca está agradecido al equipo que ha participado en el proyecto del Hospital; Bbats+Tirado como arquitectos y coordinadores generales, Master como diseñador de las instalaciones y VMB Ingeniería Estructural como ingenieros estructurales y expertos en protección sísmica. También agradece el trabajo y esfuerzo de todo su personal destacado en Chile.

Referencias

- [1] NCh 2745:2013, Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica.
- [2] NCh 430:2008, Hormigón armado – Requisitos de diseño y cálculo.
- [3] DS60/2011 y DS61/2011 “Aprueba Reglamento que fija los requisitos de diseño y cálculo para el hormigón armado y deroga los Decretos N°118 y N°117, de (V. y U.), de 2010”
- [4] ACI318S-08 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural