

Diseño y construcción del Polideportivo Villa El Salvador. Juegos Panamericanos, Lima (Perú)

Design and construction of the Sport Center Villa El Salvador. Pan American Games, Lima (Peru)

Roque Sánchez Meza^a, Emiliano Gómez García^b,

Álvaro del Cuvillo Martínez-Ridruejo^c

^a Ingeniero Civil, Doctor. Departamento de Estructuras TYPESA-PERÚ

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Estructuras TYPESA

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Sección. Departamento de Estructuras TYPESA

RESUMEN

Los Juegos Panamericanos se celebraron en Lima, en los meses de julio y agosto de 2019, congregando a los mejores deportistas de América. El Polideportivo Villa El Salvador (PVES) es una sede de nueva construcción. Su diseño y construcción se realizan con unos condicionantes que se repasan en este artículo.

ABSTRACT

The Pan American Games were held in Lima, in the months of July and August 2019, bringing together the best athletes in America. The Villa El Salvador Sports Center is a newly built headquarters. Its design and construction are carried out with some conditions that are reviewed in this article.

PALABRAS CLAVE: Fast-track, sismo, gradas prefabricadas, vibraciones, polideportivo.

KEYWORDS: Fast-track, earthquake, prefabricated stands, vibrations, sport center.

1. Introducción

Los Juegos Panamericanos y Parapanamericanos (JJPP) se celebraron en Lima en los meses de julio y agosto de 2019 y congregaron a los mejores deportistas de América. Estos juegos son los más importantes en el continente americano después de los Juegos Olímpicos.

Lima postuló y ganó la sede en el mes de octubre del año 2013. A partir de ese momento se formaron comisiones encargadas de generar la infraestructura necesaria para estos juegos, ya que Lima no contaba con escenarios a nivel de exigencia internacional.

Estas comisiones se estancaron debido a distintos problemas y no se realizó ninguna obra hasta el 2017, cuando el gobierno destina un presupuesto para construir los diferentes complejos deportivos, ante la proximidad de la fecha y ante la posibilidad de que se le retire la sede a Lima.

Para esto, se solicita al gobierno inglés la gerencia de la administración cuyo objetivo es llegar a culminar la construcción de las sedes en el escaso tiempo que restaba para el inicio de los juegos y dentro del presupuesto que el gobierno peruano destinó para este fin.

Se lanzan a licitación las diferentes sedes deportivas entre las que destacan: La Videna, El Callao, Estadio de San Marcos, Polideportivo de Villa El Salvador, etc, donde algunas son nuevas y otras son estructuras existentes que deben ser adecuadas o reforzadas para albergar a las diferentes disciplinas deportivas.

Es en este contexto la UTE encargada de la construcción del Polideportivo de Villa El Salvador (OHL-JE) encarga a la empresa TYPESA el desarrollo de toda la ingeniería conceptual y de detalle de este complejo. Durante la obra TYPESA es la encargada de llevar la Asistencia Técnica a Obra también.

El diseño del proyecto estructural arranca en el mes de abril del 2018, con un

condicionante muy fuerte para poder cumplir el plazo y poder inaugurar el Polideportivo a tiempo para la celebración de los JJPP. La UTE OHL-JE y TYPESA coinciden que el proyecto debe ser tipo fast-track.

El Polideportivo de Villa el Salvador (PVES) se ubica en el distrito del mismo nombre al sur-oeste de Lima, en una zona de escasos recursos económicos. Este complejo se estaba destinando para el desarrollo de los deportes de Karate y Gimnasia. Cuando terminen los juegos se emplearán para la práctica de Voley y Basket, lo cual promoverá la práctica de estos deportes entre los habitantes del distrito que hasta este momento no contaban con una infraestructura de la calidad del PVES.



Figura 1. Vista general del Polideportivo acabado.

De acuerdo a los requerimientos de la Comisión Organizadora de los XVII Juegos Deportivos Panamericanos Lima 2019 (COPAL), el PVES debía incluir las siguientes áreas: Zona de Competencia, Zona de Calentamiento y Obras Externas.

La Zona de Competencia es el área donde se desarrollarán los juegos, con gradas

para 5.000 espectadores (3.700 asientos fijos y 1.300 asientos plegables) y cerrada con una estructura que aísla del ruido exterior e interior. Salas de árbitros, salas de primeros auxilios, baños, cafeterías, etc. que se encontrarán debajo de las gradas.

En la Zona de Calentamiento los atletas podrán llevar a cabo sus ejercicios de preparación, por lo que esta área y la Zona de Competencia deberán estar conectadas.

Las Obras Externas incluyen rampas, accesos, oficinas de compra de tickets, muros

de contención, pistas, zonas peatonales etc., que sirven de acceso al complejo deportivo.

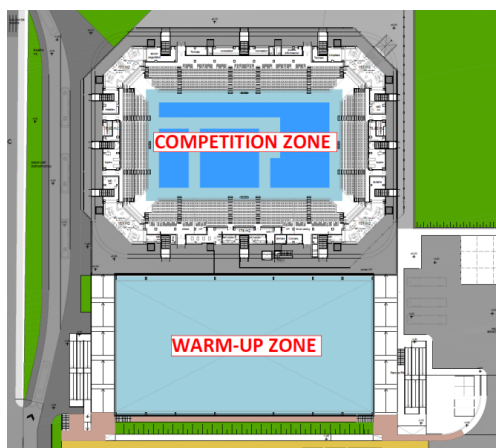


Figura 2. Vista en planta de las Zonas.

Los requisitos principales del proyecto del PVES fueron: proyectarlo y construirlo dentro de los plazos establecidos y del presupuesto asignado.

A menos de un año para que comenzaran los juegos, el proyecto se convirtió en un “fast-track” que incluía el diseño y la construcción. Las decisiones tomadas en la fase de diseño conceptual, serían de vital importancia sobre el calendario de trabajo.

Las estructuras con mayor demanda en coste y tiempo de construcción fueron identificadas: la cimentación, la cubierta metálica y las gradas de la Zona de Competencia y la Zona de Calentamiento.

Estaba previsto que estas estructuras, se construyeran al mismo tiempo para que el diseño pudiera permitir el mayor número de frentes de obra en paralelo.

En la cimentación, se consideraron dos cimentaciones separadas, estableciéndose dos estructuras independientes: una para Competencia y otra para Calentamiento.

Dentro de la Zona de Competencia, las gradas y su techo eran también independientes para que pudieran construirse en paralelo. La práctica habitual hubiera sido que el techo se hubiese apoyado directamente sobre las gradas, pero se proyectó de tal manera que el techo tuviera sus propios soportes hasta el nivel de cimentación. Las gradas debían permitir el paso de las columnas de acero y debían separarse unas de otras de manera que se permitiera el libre movimiento durante un evento sísmico.

Además de las demandas de construcción, se cumplió la regulación sísmica peruana desde la fase conceptual. Esta requiere configuraciones estructurales regulares para este tipo de estructuras que reciben a grandes multitudes y prohíbe irregularidades extremas en áreas sísmicas. Por lo tanto, se estructuraron las graderías con base para cumplir con estas exigencias.

El sismo en la ciudad de Lima es muy elevado al situarse en la falla del Pacífico Sur.

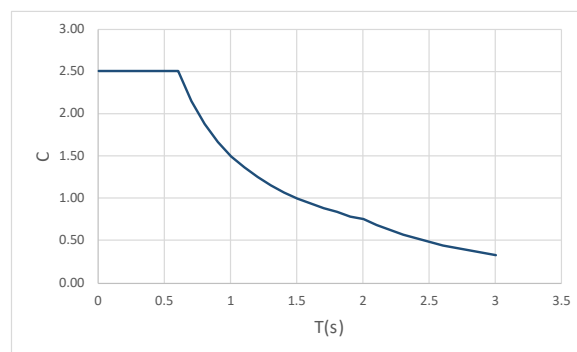


Figura 3. Variación del coeficiente de aceleración sísmica (C, sin dimensiones) respecto al período de vibración de la estructura (T, en segundos).

4. Cimentación

El distrito Villa el Salvador está asentado sobre arenas sueltas procedentes de la costa que está a menos de 4 km. El PVES se proyecta sobre un área plana donde se implantaba una laguna destinada al cultivo de peces. Con el tiempo esta instalación se cerró y el solar pasó a ser un vertedero en el que se depositaban las excavaciones procedentes de la construcción de unos apartamentos próximos a esta zona.

Las exploraciones geotécnicas mostraron que los distintos niveles del terreno estaban formados por capas de arenas compactadas en mayor o menor grado, con capacidades portantes inferiores a 0,1 MPa y que necesitaban ser sustituidas por su agresividad para la cimentación de hormigón.



Figura 4. Losa cimentación: Zona de Competencia.

Se hizo una primera aproximación empleando zapatas aisladas con vigas riostras de conexión (al ser zona sísmica) obteniéndose que la superficie total de excavación superaba el 70% del área total.

Por este motivo y porque se trataría de una ejecución mucho más rápida, se decidió utilizar una losa de cimentación.

Por otro lado, esta solución permitía el paso de los camiones y grúas de obra que iban a

hacer el montaje de la estructura metálica y de las gradas desde el interior del Polideportivo y permitía trabajar en ambos montajes simultáneamente.

Además, este tipo de cimentación permitió una adecuada distribución de fuerzas verticales y resolver las concentraciones de cargas provenientes de las placas de concreto armado que se ubican a los extremos de los módulos del edificio.

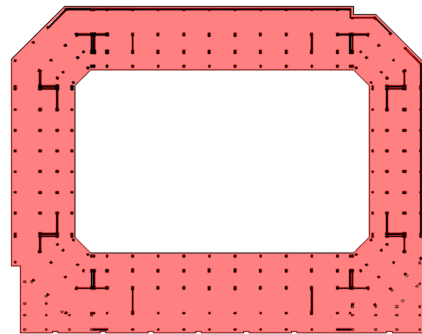


Figura 5. Losa continua de cimentación.

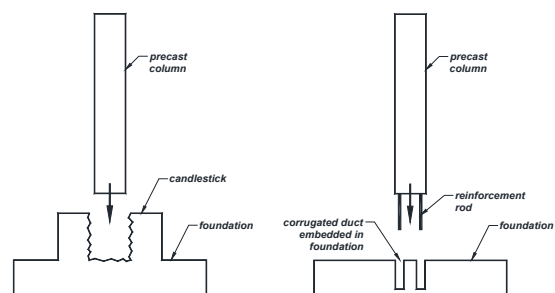


Figura 6. Unión de los pilares a la solera.

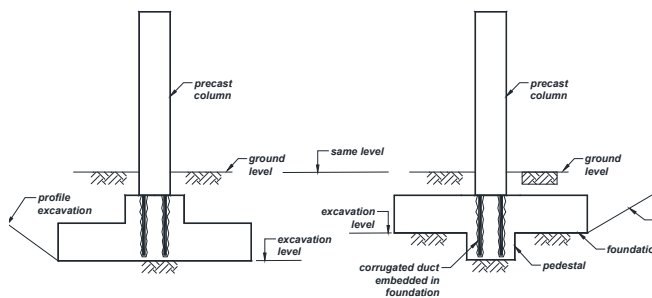


Figura 7. Pedestales superiores o inferiores.



Figura 8. Vainas dejadas en la solera.

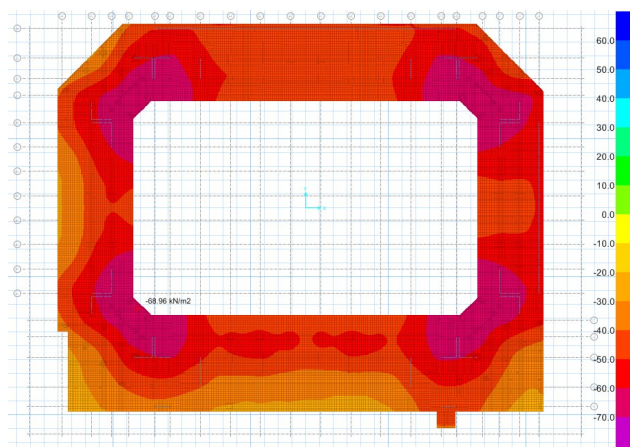


Figura 9. Distribución de tensiones bajo la losa de cimentación (valores máx. inferiores a 0.07 MPa).

En cuanto a los asientos diferenciales se estimó que el límite era de $L/500$. En todas las

comprobaciones realizadas se contaba con suficiente margen respecto del límite fijado.

Los materiales empleados en la cimentación fueron:

- Concreto: $f_c = 28$ MPa.
- Acero de refuerzo: ASTM A615 Grado 60, $f_y = 420$ MPa.

(f_c resistencia a compresión del hormigón, en megapascascales –Mpa-. f_y límite elástico acero).

5. Zona de Competencia: Gradas prefabricadas

En las reuniones de arranque del proyecto, la UTE Constructora comentó que un proyecto similar estaba teniendo distintos problemas debido a los plazos que se estaban obteniendo para completar las estructuras realizadas “in situ”. Para evitar este problema se propuso el uso de elementos prefabricados.

Desde el punto de vista del diseño, esto no suponía un inconveniente porque hay mucha experiencia en proyectos similares. Sin embargo, como el proyecto se iba a revisar en el Perú había un cierto riesgo de posibles demoras en la aprobación, ya que los supervisores no estaban acostumbrados a su empleo. Principalmente porque en Perú el uso de estructuras prefabricadas en edificaciones con este tipo de uso o importancia no era habitual.



Figura 10. Montaje de los pilares prefabricados.

En el caso de los nudos la idea inicial del prefabricador es que las conexiones fueran simplemente apoyadas, sin continuidad. En un sismo, este tipo de conexión no disipa energía, incumpliendo la filosofía del diseño sísmico de los códigos Peruanos para zonas de alta sismicidad. Por este motivo se desarrollaron uniones con continuidad, de forma que el diseño fuera aceptado más fácilmente.

El código Peruano E.030⁽¹⁾ reconoce sólo tres tipos estructurales para el diseño sísmico: pórticos, sistema dual y muros. Inicialmente, se tanteó un sistema de pórticos pero se comprobó que los desplazamientos laterales eran altos. Por esta razón, se decidió disponer un sistema dual de hormigón armado formado por pórticos prefabricados dispuestos cada 6 m con continuidad estructural en los nudos y con muros de corte “in situ” (“shear walls”). De esta manera se conseguía rigidizar el comportamiento de la estructura y disminuir los desplazamientos. Con los muros se consiguió obtener unos desplazamientos sísmicos por debajo de la mitad de los permitidos, de forma que la supervisión local del proyecto admitió rápidamente el diseño.

Con el objetivo de minimizar las irregularidades en la estructuración se decidió separar las gradas en ocho zonas con juntas sísmicas de 7,5 a 10 cm. Así, se separaban los laterales largos de la estructura (60 m) y los cortos (42 m) de las zonas de esquina.

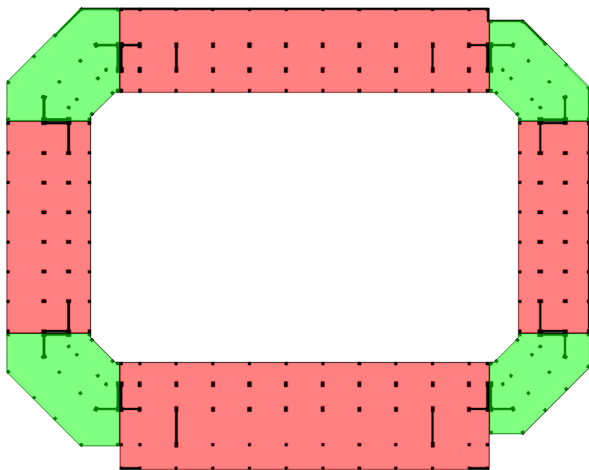
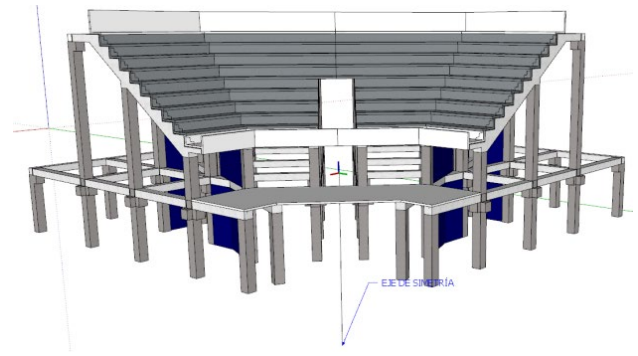


Figura 11. Distribución de gradas y juntas.



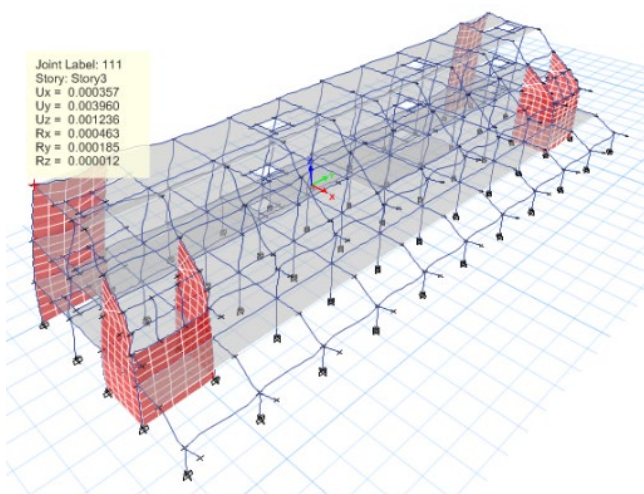
Las gradas se diseñaron teniendo en cuenta las recomendaciones del documento “Dynamics performance requirements for permanent grandstands subject to crowd action”⁽²⁾. En este documento se recomienda limitar la máxima frecuencia vertical en 6 Hz y la frecuencia de las vibraciones laterales por debajo de 3 Hz. Teniendo en cuenta estas restricciones y los sucesivos cálculos sísmicos realizados, la separación de los pórticos en los laterales fueron de 6 m.



Figura 13. Gradas prefabricadas.



Figura 14. Vista interior de las gradas.



Nivel	H _i (m)	Δ _{elas} (m)	Δ _{inelas} = RyΔ _{elas} (m)	Distorsión	
1	3.7	0.0006	0.0031	0.0008	OK
2	7.1	0.0019	0.0105	0.0022	OK
3	11.6	0.0040	0.0214	0.0024	OK

Los materiales empleados en la Zona de Competencia son los siguientes:

- Concreto:
 - Prefabricado $f_c = 35$ MPa
 - “In situ” $f_c = 28$ MPa
- Acero de refuerzo: ASTM A615 Grado 60, $f_y = 420$ MPa.

6. Zona de Competencia: Estructura metálica

Desde las fases iniciales del proyecto se concibió separar el diseño y la ejecución de las gradas y la cubierta metálica. De esta manera se podían iniciar ambos montajes sin interferirse en cuanto la losa de cimentación se fuera ejecutando por sectores.

En las gradas había que tener en cuenta las zonas de paso de los pilares metálicos más una cierta holgura para tener en cuenta los movimientos sísmicos de ambas estructuras durante un evento sísmico.

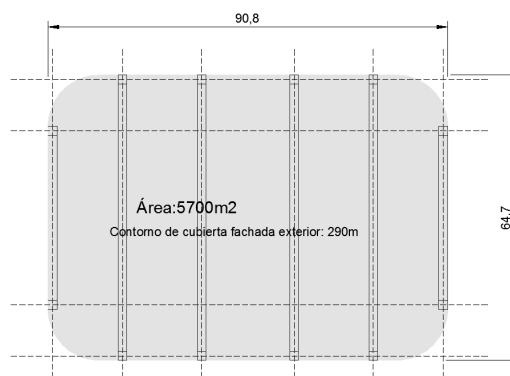


Figura 16. Superficie de la zona de Competencia (distancias en m).

Estructuralmente ha sido concebida como un sistema de pórticos principales de doble celosía, arriostradas transversalmente entre ellas, soportada por pilares metálicos cuadrados de 2.0 m de lado entre ejes.

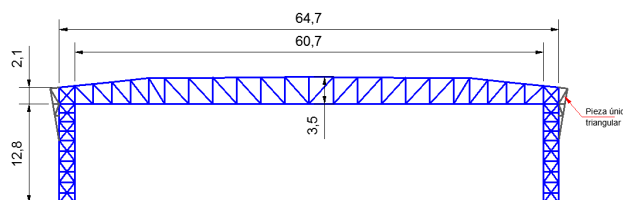


Figura 17. Esquema de pórtico principal (en m).

En la dirección longitudinal, se unen mediante celosías metálicas, que forman pórticos secundarios, y que a su vez reciben las correas que soportarán la cobertura.

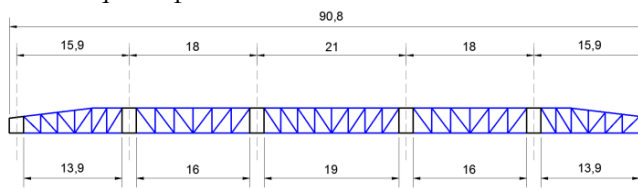


Figura 18. Esquema de pórticos secundarios (en m).

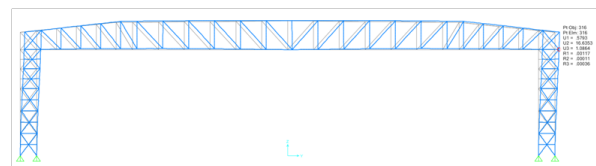


Figura 19. Pilar de la cubierta metálica.

- Cordones superiores: W10x45 y W10x60.
- Cordones inferiores: W10x30 y W10x60.
- Montantes: W4x13, W6x20 y W8x40.
- Diagonales: W4x13 y W6x20.

Alrededor de la cubierta, se proyecta un anillo perimetral de arriostramiento del que se descuelgan la estructura de soporte de fachada exterior, presentando una altura de 7.7m medidos desde la parte superior de la cobertura, y que permite transmitir las cargas de viento a la estructura principal y pilares.

A nivel de cálculo se han controlado los desplazamientos laterales de los pórticos en situación sísmica por debajo del 1%.



Eje de pórtico	Altura de columna "H" (mm)	Desplazamiento horizontal según cálculo (mm)	Desplazamiento horizontal según NTE E030 (mm)	Desplazamiento horizontal máximo permisible según NT E030 (mm)
Central	15000	18.37	82.6	H/100 = 150
Central	12800	16.63	74.8	H/100 = 128



Figura 20. Montaje de un pórtico principal.

- Acero Estructural ASTM A36:
 $F_y = 253 \text{ MPa}$
- Tornillos:

Material	Límite elástico (N/mm ²)	Resistencia a la tracción (N/mm ²)
ASTM A325 $\phi 1/2"$ a $\phi 1"$	635	825
ASTM A325 $\phi 1 1/8"$ a $\phi 1 1/2"$	560	725
ASTM A490	895	1035

Figura 22. Características mecánicas de los materiales.



Figura 23. Estructura metálica de la Zona de Competencia



7. Zona de Calentamiento

El área a cubrir tenía unas dimensiones de 40 m de ancho por 80 m de largo, con un cerramiento metálico. En un primer momento, se pensó en disponer elementos prefabricados de hormigón armado.

Pero la idea fue desechada debido al peso de una cerramientos de estas características y de la altura de la estructura, de aproximadamente 12 m, en una zona con sismo alto.

Al contrario que en la Zona de Competencia, en la Zona de Calentamiento se usaron pórticos de perfiles abiertos de alma llena, unidos en la base en la dirección de

menor longitud y arriostrados con perfiles en X en la dirección de mayor longitud.



Figura 25. Zona de Calentamiento: pórtico frontal.

Los pórticos se colocaron cada 11 metros con la finalidad de no interrumpir el paso de los atletas de la Zona de Calentamiento a la Zona de Competencia.

- Pilares metálicos: W14x30 y W30x173
- Vigas: W27 variable, W16x36 y W8x24.
- Perfiles longitudinales: W18x40-50.
- Diagonales: TU100x4.5 y TU150x4.5.



Figura 26. Zona de Calentamiento: estructura lateral.

La cimentación se proyectó con zapatas aisladas (de 6,0 x 3,5 m) conectadas por vigas de arriostramiento en lugar de una losa de cimentación (como en la zona de competencia).

Estas zapatas se dispusieron por debajo de la cimentación de la Zona de Competencia, para no interferir con los trabajos de la misma.

Los materiales empleados en el cerramiento metálico de la Zona de Calentamiento, son los mismos que en la estructura metálica de la Zona de Competencia.



Figura 27. Interior de la zona de calentamiento.



Figura 28. Vista conjunta de la Zona de Competencia y la Zona de Calentamiento.

8. Conclusiones

a. Las reuniones previas de coordinación UTE Constructora OHL-JE - TYPESA fueron claves para la conceptualización del proyecto y la obra.

c. El uso de una losa de cimentación en lugar de zapatas aisladas conectadas con riostras proporcionó una mayor rapidez constructiva.

d. La construcción de las graderías con elementos prefabricados de hormigón y nudos rígidos hormigonados in situ demostró ser

sísmicamente eficiente. Su uso en el Perú era poco frecuente hasta este momento.

e. Se logró el presupuesto objetivo y se cumplió el plazo. Los diseños fueron optimizados con el prefabricador y con los talleres metálicos.

9. Bibliografía

- [1] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Norma técnica Perú. E.030 Diseño Sismorresistente. (2016).
- [2] Institution of Structural Engineers. "Dynamics performance requirements for permanent grandstands subject to crowd action". (Diciembre 2008).