

INFORME ESPECIAL: DESARROLLO DE LOS EDIFICIOS ELEVADOS DE CONCRETO A ESCALA INTERNACIONAL Y EN EL PERÚ

El presente informe especial trata, en breve síntesis, la situación de los edificios-torre de concreto armado en la ciudad de Lima, haciendo obligada referencia al desarrollo de este tipo de edificación a nivel internacional.

El perfil urbano del siglo XXI estará signado por elevadas torres de concreto, cuyos antecedentes corresponden a las dos últimas décadas del siglo XX, periodo en el que la estructura predominante de las edificaciones fue el acero.

La construcción de rascacielos en los EE. UU. se desarrolló con estructuras metálicas. El concreto no era un material competitivo, pues la sección de las columnas disminuía el área útil. La resistencia del concreto usualmente era de 21 MPa y de 34 MPa en los casos de alta resistencia, en 1950. Tampoco era aplicable el bombeo para su colocación en pisos elevados. En consecuencia, se consideraba antieconómico sobrepasar los 20 metros.

El primer rascacielos de concreto fue el American Built, de 64 m, en Cincinnati, Ohio de 1902 m. de elevación. En el año 1922 se construye otra estructura singular en la ciudad de Dallas, denominada Medical Arts Building. Un caso singular se produce en 1936, con la construcción del edificio Kavanagh, en Buenos Aires, con 110 m de altura, que constituye el edificio de residencias más alto del mundo.

Razón de ser

Los múltiples requerimientos que llevan a la construcción de edificios elevados en las ciudades modernas son:

- Incrementar la relación de superficie útil y área del terreno, en ciudades altamente densificadas.
- Concentrar gran número de personas y actividades en una reducida superficie, facilitando el intercambio y los servicios comunes.
- Constituir un emblema de prestigio para las ciudades.

Panorama internacional

Un caso emblemático de ciudad encapsulada, con incremento notable de población, es el de Hong Kong, que tuvo que densificarse mediante la construcción con edificios de gran altura. En la actualidad, es la urbe con mayor número de rascacielos en el mundo, que suman siete mil edificios de más de 150 metros de altura.

Otras condiciones, como la necesidad de reducir el alto precio del terreno y la preocupación por la tendencia a los espacios cada vez más confinados, llevaron a la ciudad de Chicago, en la década de 1970, a utilizar concreto de alta resistencia para edificios de gran altura, creando posibilidades de mayor área útil.



Torre Petronas.

Finalmente, los edificios elevados también surgen como una búsqueda de prestigio, para obtener un emblema ciudadano a la manera del Empire State Building de la ciudad de Nueva York. Así, las economías emergentes dan origen a rascacielos como la Torre Petronas, en Kuala Lumpur, Malasia, de 452 m, en 1995; el Centro Financiero del Mundo, en Shanghai, China, de 492 m, en 2008; y el Taiper 101, en Taiwán, de 448 m, en el 2004. El más significativo es el Burj Dubai, en los Emiratos Árabes, que mantiene un récord de altura de aproximadamente 800 m.



Shanghai Trade

Los países europeos han continuado este desarrollo. Rusia ha construido la torre de 500 m que lleva su nombre, en Moscú, la segunda más alta en el mundo y la primera en Europa. Se proyectan numerosos rascacielos: en Londres, el Shard of Glass (310 m); en Madrid, la Torre de Cristal (249 m); y en Barcelona, la Torre Agdar (145 m). En Lyon, Francia, la Torre Oxygene (117 m).

La primera generación de las construcciones elevadas de concreto

El empleo del concreto de alta resistencia se desarrolló inicialmente en la ciudad de Chicago, permitiendo edificios de concreto armado de gran altura como los siguientes:

- Hotel Executive House, Chicago, 1959, 113 m.
- Marina City, Chicago, 1962, 180 m.
- La Torre Lake Point, Chicago, 1963
- One Shell Plaza, Houston, 1970, 210 m.
- Water Tower Place, Chicago, 1975, 262 m.
- 311 South Wacker Drive, Chicago, 1988, 288 m.

El hecho de que este desarrollo se haya podido realizar en la ciudad de Chicago se debe a la concurrencia de varios factores; entre ellos, el código de construcción de la ciudad, que permite el empleo de secciones reducidas en los elementos de concreto; la presencia de una progresista compañía de producción de concreto, Material Service Corporation; y el hecho de ser la sede de los laboratorios de la Portland Cement Association.

Un factor determinante fue el empleo de aditivos químicos, que se desarrolló en los EE. UU. en la década de 1960-1970, a raíz de la primera norma de la American Society for Testing and Materials (ASTM) sobre dichos productos (1962) y la Guía de Buenas Prácticas que elaboró el ACI (1964-1969).



River Plaza Chicago

La composición del concreto utilizado en la construcción del edificio River Plaza, en Chicago, fue la siguiente:

kg/m³

Agua	196
Cemento	506
Puzolana (como ceniza volante)	60
Agregado grueso (1/2 a 1 pulgadas)	1.030
Arena	617

Se utilizaron aditivos y reductores de agua. El concreto tuvo un asentamiento de 115 mm. La resistencia alcanzada a los 28 días fue de 650 kg/cm², y a los 90 días, de 790 kg/cm².

EDAD	MPa
7	50,3
28	64,8
56	72,4
91	78,6

La microsílíce; obtención de muy alta resistencia

Con posterioridad a las diferentes experiencias de edificios elevados, se dio uso a la microsílíce. Se logró la densificación de las pastas y el incremento de la resistencia a mayores edades por la actividad puzolánica.

Fueron precursores en la incorporación de microsílíce las edificaciones en el Canadá, donde se habían iniciado los estudios para su aplicación en el concreto en Canada Metal (CANMET). Conviene tener en cuenta que la primera norma sobre microsílíce a nivel internacional se da en Noruega, en 1978, y que el ASTM aprobó una especificación en 1993. Sin embargo, se habían efectuado estudios de investigación en los países nórdicos y existía bibliografía calificada en el periodo 1970-1980.

El edificio Scotia Plaza, construido en Toronto, en 1988, es el primero que utilizó concreto de alta performance con microsílíce y llegó a resistencias de 90 MPa a los tres meses. La formulación del concreto fue la siguiente:

	Kg/m³
Agua	145
cemento; tipo I	315
escoria	137
microsílíce	36
agregado grueso	1 030
agregado fino	745
<hr/>	
superplastificante	5,9 L
reductor de agua	900 cm ³



Scotia Plaza

EDAD	MPa
7	66,9
28	83,4
56	89,0
91	93,4

Este concreto fue elaborado directamente en los carros mezcladores, sin utilizar una planta de dosificación.

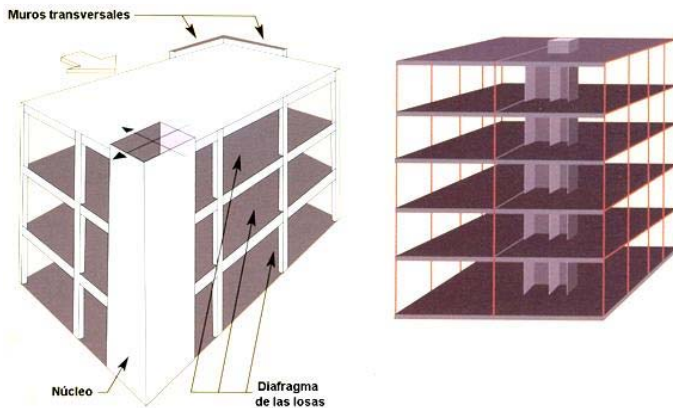
Composición de los concretos

Básicamente, los concretos de alta resistencia se producen controlando los siguientes parámetros: obtener morteros de la más alta resistencia posible; maximizar la adherencia entre el agregado grueso y el mortero; seleccionar los agregados con la más alta resistencia posible; altos dosajes de cemento, entre 400 y 600 kg/cm³; utilización de puzolanas, escorias y, especialmente, microsílíce; relaciones agua-cemento del orden de 0,3; arenas, generalmente gruesas, de un módulo de fineza de 3 a 3,2; agregados gruesos, muy resistentes, de tamaño máximo de ½ a 1 pulgada. Se introducen superplastificantes y retardadores de fragua.

Los concretos de alta performance, características

- Fluidez en las mezclas frescas que facilitan la puesta en obra o en los talleres de prefabricación.
- Reducida viscosidad, que permite el bombeo en largas distancias o alturas.
- Elevada resistencia a edades tempranas, que permite optimizar el desencofrado o la puesta en compresión para el pretensado.
- Optimiza el mantenimiento y transporte de los elementos prefabricados.
- Resistencia elevada a la compresión, que lleva a disminuir las secciones de los elementos estructurales, en caso de no ser áreas sísmicas.
- Elevado módulo de elasticidad, que reduce la deformabilidad de las estructuras.
- Reducción de escurrimiento plástico con relación a los concretos usuales.
- Incremento de la durabilidad por su débil porosidad, de modo que se protege la estructura de un posible ataque del medio.

La estructura del concreto



La estructura del concreto presenta las siguientes ventajas en las edificaciones de gran altura:

- Gran capacidad de carga para un máximo de superficie.
- Integridad de la construcción frente a potenciales agentes externos.
- Inercia térmica.

Como lo señala Philippe François, en *Construction Moderne*, las solicitaciones horizontales ocasionan esfuerzos, cuyo resultante está condicionado por las dimensiones de la estructura y los desplazamientos horizontales, que revisten singular importancia. En este sentido, conviene contar con elementos de estabilización como las cajas de los ascensores, las paredes transversales, los núcleos, etc. De este modo, se han desarrollado dos tipos de construcción:

Los elementos de concreto aseguran la estabilidad frente a la acción del fuego y, en caso de siniestro, se mantiene la estabilidad de la estructura. La superficie del concreto puede responder sin colapso a temperaturas del orden de 700 °C.

Por otra parte, la inercia térmica permite una baja sensibilidad al incremento de temperatura o al enfriamiento excesivo.

Edificios elevados en el Perú

La edificación en concreto armado en el Perú se inicia en la década de 1920-1930 con estructuras que no sobrepasan los 20 metros de altura, como los edificios de la Sociedad de Ingenieros y el Club Nacional.

En el período 1920-1930 se construyeron, igualmente, en el centro histórico de Lima, el Banco Internacional, en el Jr. de La Unión; el Banco Italiano, en la esquina de Lampa y Ucayali; los edificios Wiese y Geidemester, y el Edificio Minería, en la

calle del mismo nombre, ya demolido, que no superaba los 20 metros.

Estructuras elevadas en la década siguiente fueron el Hospital Obrero, de 1938, en la Av. Grau; los edificios gemelos de la primera cuadra de la Av. Venezuela; el Ministerio de Salud Pública, en la Av. Salaverry, y el antiguo local del Instituto de Enfermedades Neoplásicas. Edificios todos que, para la época, significaron la pujanza del concreto armado en el desarrollo de la ciudad.



Ministerio de Educación



Hospital Edgardo Rebagliati Martins

Sobresalen en el perfil de Lima las primeras edificaciones que para la época significaban la construcción elevada. El Ministerio de Educación, construido en 1956, con 22 pisos, tuvo una torre central de acero y dos torres gemelas a ambos lados, de concreto armado, si bien se consideraba que el concreto armado era competitivo hasta alturas aproximadas a los 20 pisos. Al ser el concreto un material por completo nacional, se adoptó esta discutible alternativa. Sin embargo, dos años después, se construyó íntegramente de concreto el Hospital del Seguro Social, de 14 pisos, y se puso en servicio en 1960 el edificio del hotel Crillón, de 20 pisos, en la Av. La Colmena. En el periodo 1970-1980 se construyó la torre del Centro Cívico, de 102 m de altura, con 34 pisos. En esta ocasión, se utilizaron concretos de resistencia de 420 k/cm² y 280 k/cm², empleando aditivos reductores de agua.



Hotel Crillón

En el año 1965 se inicia la construcción del Proyecto de Vivienda de construcción social denominado Torres de San Felipe, proyecto de la junta de la vivienda, que constituye un complejo arquitectónico que se integra al panorama urbano en escala humana, con 15 torres elevadas, de 15 y 16 pisos; dentro de este mismo concepto en el periodo 1980-1985 se construye las Torres de San Borja con proyecto de distinta calidad, dentro de los mismos parámetros.



Centro Cívico

En los años posteriores a 1990 se afirma la tendencia a la edificación de edificios de servicios financieros y de habitación en los distritos de Lima, principalmente en San Isidro y Miraflores. La altura de estas pequeñas torres fue regulada por las disposiciones de zonificación y sujetas al escrutinio público ya que los residentes de las casas habitación de cada distrito se oponían a las contingencias del registro visual, las dificultades de tránsito, la polución y otros factores. Puede establecerse que, en el periodo 1990-2007, se construyeron 30 edificios mayores de 50 m y 12 edificios de 40 a 50 m. Estos últimos 20 años han producido la casi totalidad de las edificaciones de altura de la ciudad de Lima.



Torres de San Borja

Reglamentación urbana

La altura de las edificaciones estuvo regulada por el Reglamento Nacional de Construcciones hasta el año 2006. Mediante este reglamento se establecía que la altura máxima de la construcción, medida sobre el frente de la línea municipal, sería de 1,5 veces el ancho de la vía, medida entre la línea de propiedad de ambos frentes (cota más baja). A partir de la línea municipal, se podía construir retirando la construcción en un ángulo máximo de 60° sobre la horizontal. Se establecía, así mismo, la excepción, cuando en los planos de



Residencial San Felipe

zonificación se determinaba otro valor como altura máxima.

Estas disposiciones originaron edificaciones con una altura promedio de 30 a 40 metros.

A partir del año 2006, con la vigencia del Reglamento Nacional de Edificación, de acuerdo con el título sobre arquitectura de la norma A-010, se estableció que la altura de la edificación debía expresarse en metros en el plan urbano. Así mismo, dentro de las consideraciones generales, se estableció que las edificaciones debían respetar la altura el entorno inmediato, conformado por las edificaciones colindantes, y el desarrollo futuro de la zona.

MGC

EDIFICIOS ALTOS EN LIMA 2009

En la actualidad se ha proyectado y se encuentra en proceso de construcción las estructuras de concreto armado, que deberá constituir la de mayor altura en la ciudad de Lima. El edificio Hotel Westin Libertador Lima, ubicado en la Av. Javier Prado distrito de San Isidro, con una altura de 118 m. y la Torre del Intercambiador de Calor de la Planta de Atocongo de Cementos Lima S.A., con una altura de 141 m.

El proyecto de ambas estructuras fue diseñado por la oficina del Ing. Antonio Blanco Blasco. La construcción del hotel está a cargo de la firma Graña y Montero S.A.

Quienes deseen mayor información sobre este tema pueden solicitar el cdrom de la conferencia del Ing. Antonio Blanco B. "CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO DE EDIFICIOS DE GRAN ALTURA", por email a cendoc@asocem.org.pe



El Hotel Westin Libertador Lima

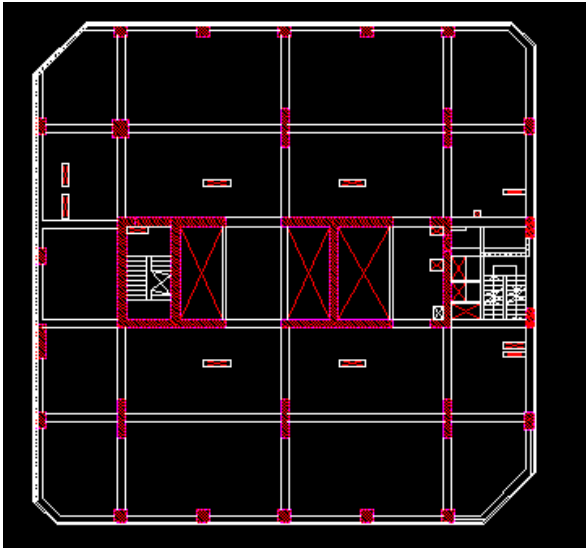
Un edificio de 30 pisos que se convertirá en el más alto del Perú con 118 m.

El Hotel tendrá una área construida de 72000 m², 311 habitaciones, se proyectan 5 sótanos, cuatro de los cuales serán destinados para el estacionamiento de 727 vehículos. En el quinto sótano se tiene las cisternas. En estos sótanos, las estructuras de la torre y la adyacente, forman una sola unidad.



Adicionalmente está proyectado con un centro de convenciones con capacidad para 2000 personas y 14 salas para reuniones.

La Torre Principal tiene una Planta Cuadrada de aproximadamente 31m por lado, con 118m de altura.

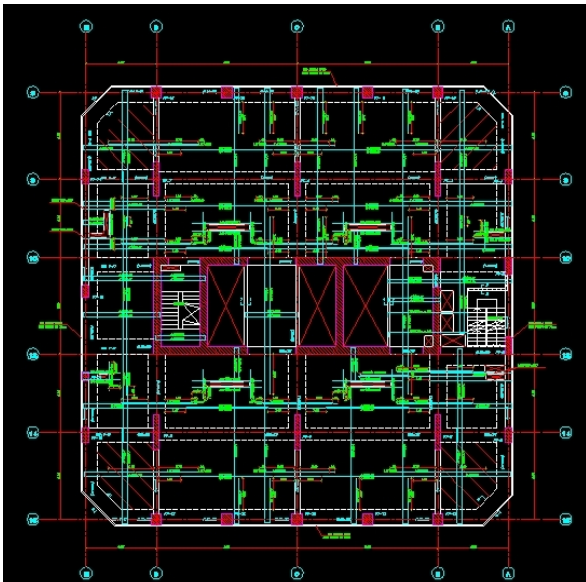


Los primeros pisos son de 6.5 m. de altura y los pisos típicos 3.2 m. Por lo que su altura equivale a 40 pisos de aproximadamente 3 m. cada uno.

El hotel es una estructura independiente de 4 pisos y mezanines intermedias, destinada a los servicios del hotel (auditorio, salas de reuniones, piscina, spa, tiendas, oficinas del hotel etc.)

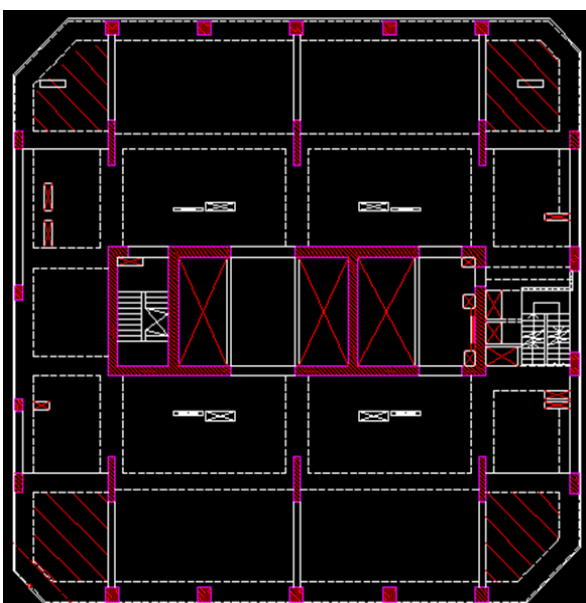
Estructuración de la torre en sus primeros pisos, con vigas peraltadas

El concreto usado en este proyecto varía desde 420 kg/cm² hasta 280 kg/cm². Las placas y columnas tienen 420 kg/cm² desde el quinto sótano hasta el piso 9. Luego, desde el piso 10 al 20 se tiene un concreto de 350 kg/cm² y se continúa hasta el último piso con 280 kg/cm².



Luego de los cuatro primeros pisos, con alturas especiales de 6.5m y con vigas peraltadas, se tienen los pisos típicos, con alturas de 3.2m y con una estructura de vigas diferente, pues el perímetro es chato y algunas vigas interiores son chatas.

El concreto usado en este proyecto varía desde 420 kg/cm² hasta 280 kg/cm². Las placas y columnas tienen 420 kg/cm² desde el quinto sótano hasta el piso 9. Luego, desde el piso 10 al 20 se tiene un concreto de 350 kg/cm² y se continúa hasta el último piso con 280 kg/cm².



Las columnas del perímetro son de 80x80cm hasta el cuarto piso. A partir del quinto piso se reducen a 70 x 70 cm, sección que se mantiene constante hasta el último nivel. El núcleo de placas, de 50cm de espesor, se mantiene constante todos los pisos. Las vigas peraltadas son de 50 x 75 cm, las losas son de 22 cm, excepto en los volados de las esquinas donde son de 27 cm.

Las esquinas son volados chatos que se van retirando, de manera que todos los pisos son diferentes. Estos volados que van cambiando de longitud son los que permiten tener la fachada con el aspecto variable que se muestra en la siguiente vista.

LAS TORRES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CEMENTOS LIMA

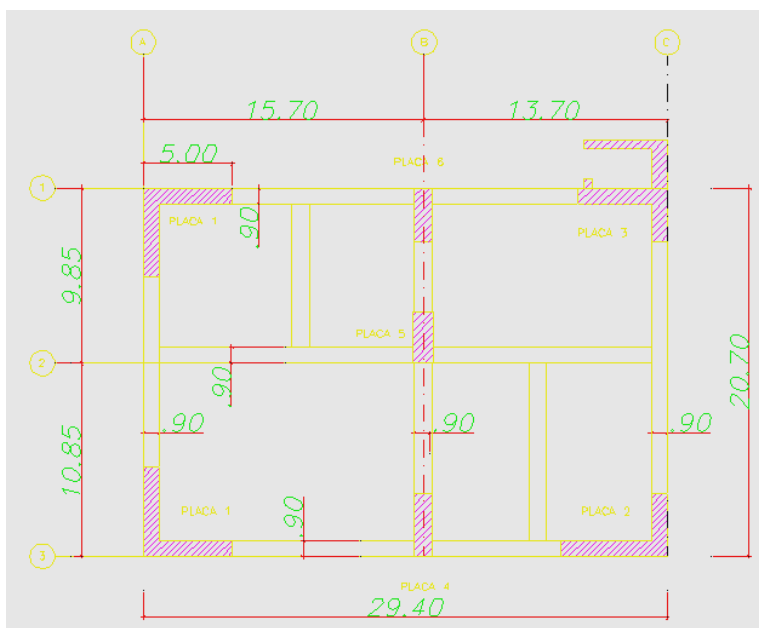
En el interés de la sostenibilidad de la industria cementera, con el propósito de optimizar el ahorro de energía, se ha introducido en el desarrollo de la producción un proceso previo al ingreso de material crudo en el horno, a fin de mejorar el rendimiento térmico y utilizar el calor del combustible en el horno, mediante los gases que salen a mil grados centígrados e instalaciones de intercambio de calor y precalcinación.

La instalación comprende una serie de ciclones en cascada colocados en el interior de una torre de varios niveles. En seis de ellos, puede llegar a una altura de 125 m. La materia se introduce en la parte alta de la torre y desciende en cascada por gravedad a través de los ciclones, encontrando en contracorriente el gas de la salida del horno de 950 a 1100 °C. Los dispositivos de precalcinación insertados en la torre permiten la descarbonatación de la materia cruda en un 90% antes de la entrada al horno. Estas medidas permiten un importante incremento de la capacidad de producción.

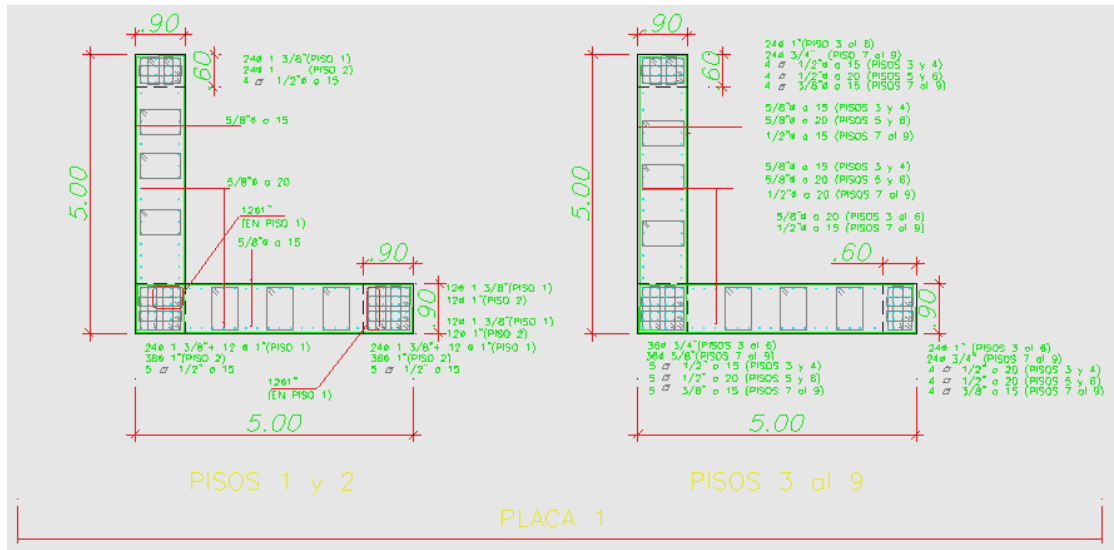


Intercambiador de calor – CEMENTOS LIMA S.A.

En la actualidad el Intercambiador de Calor N° 2 de Cementos Lima, con 110m de altura, tiene la mayor extensión, como edificio industrial.

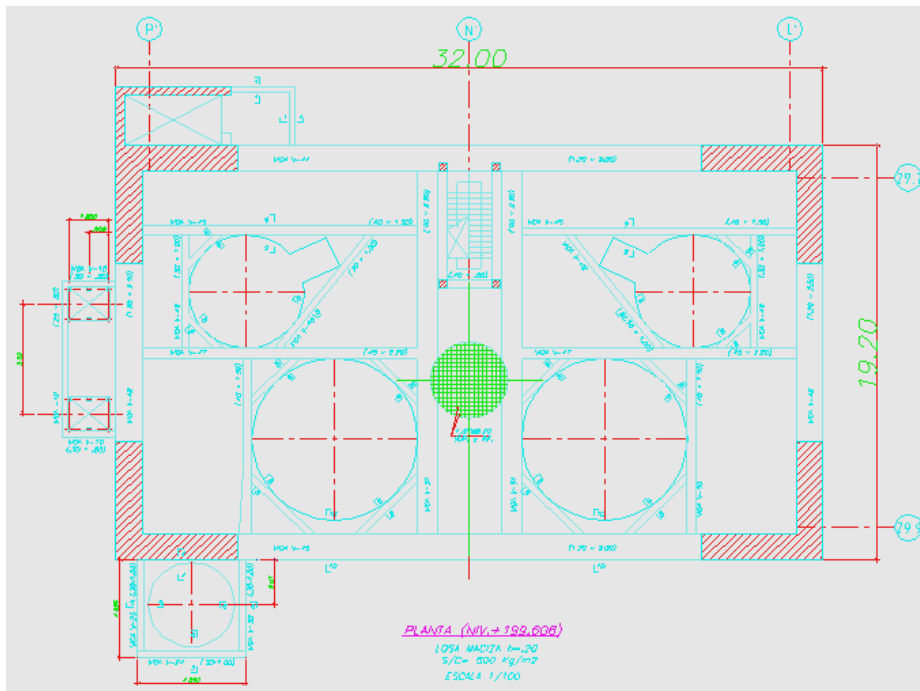


**Planta Intercambiador N°2
Cementos Lima S.A.**

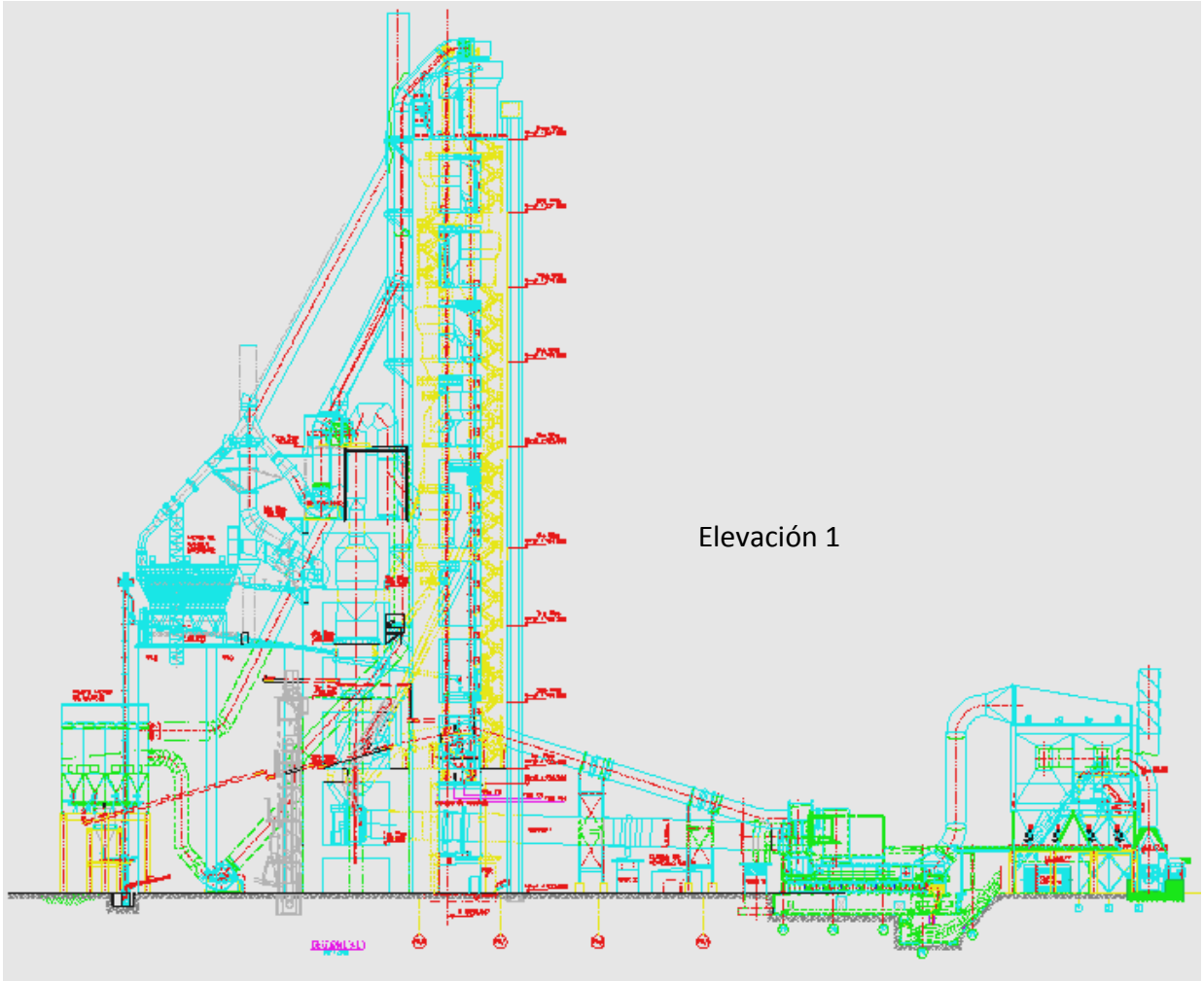


TORRE INTERCAMBIADOR DE CALOR. CEMENTOS LIMA S.A.

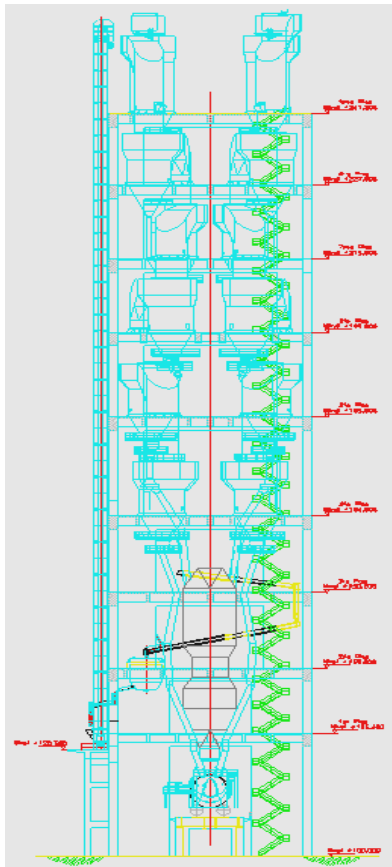
- En diciembre del Año 2008 Proyectamos El Intercambiador No 3 de Cementos Lima, que se construirá próximamente.
- La Estructura de Concreto Armado alcanza los 141m. de altura, y la instalación mecánica se eleva 24m por encima, haciendo una altura total de 165m. Por lo que se convertirá en el edificio más alto del Perú.
- Los ingenieros encargados del Proyecto fueron Diego Padilla y Michael Berninzon.



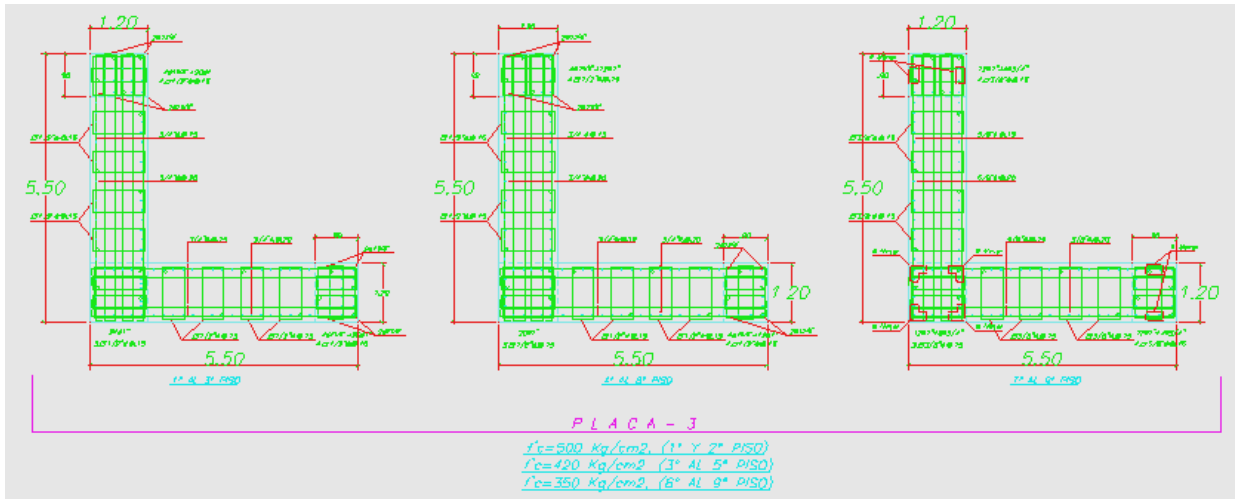
Planta Intercambiador N° 3



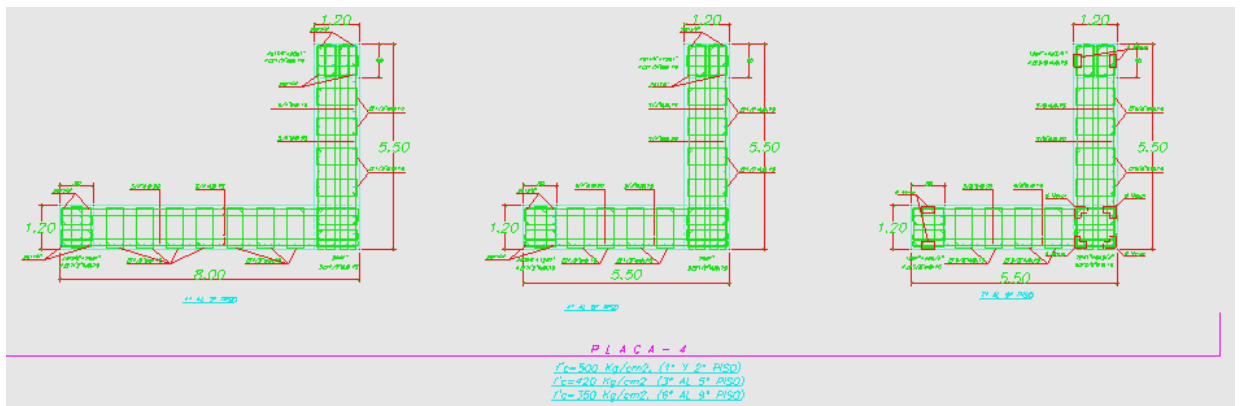
Elevación 1



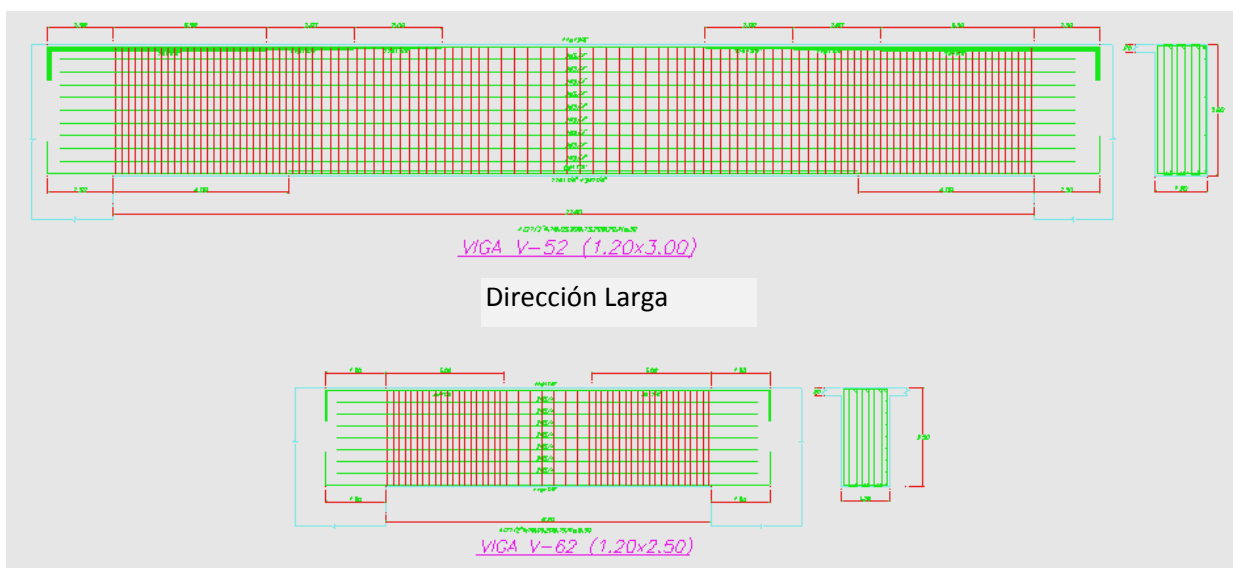
Elevación 2



Placa 1

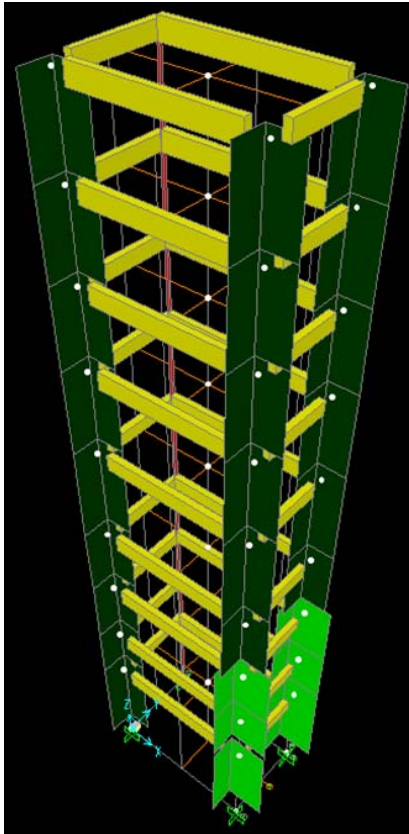


Placa 2



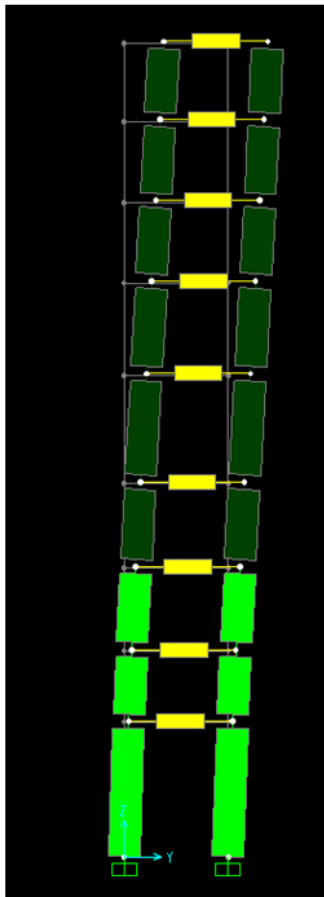
Dirección Corta

Vigas Principales



MODELO SÍSMICO

- PARAMETROS
 - $S = 1.0$
 - $U = 1.5$
 - $Z = 0.4$
 - $R = 6$
- PERIODOS
 - EN X: 2.21s
 - EN Y: 2.18s
- DESP. MÁXIMOS
 - EN X: 41cm
 - EN Y: 38cm
- DERIVAS. MÁXIMAS
 - EN X: 0.38%
 - EN Y: 0.34%



DESPLAZAMIENTOS PARA
EL SISMO EN CADA
DIRECCIÓN

