

ALMACENES ÉXITO S.A.

CENTRO DE DISTRIBUCIÓN CEDI LAS VEGAS

ASPECTOS RELEVANTES DEL PROYECTO ESTRUCTURAL

Preparado por:

Luis Gonzalo Mejía C.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto contemplaba unos plazos de construcción de solo 14 meses para más de 60.000m² del centro de distribución y varios edificios de oficinas. Aunque en su aspecto exterior se asemeja a una bodega, en su interior, difiere completamente de ésta, por el sinnúmero de requerimientos e instalaciones especiales que son necesarias para el funcionamiento de una obra tan compleja. Enfrentar este reto, aunado a las dificultades de un suelo bastante errático, exigía gran dosis de ingeniería de diseño y una perfecta organización y coordinación en la ejecución. Con base en el proyecto arquitectónico de la firma Condiseño, la primera parte le correspondió a la firma de Ingeniería estructural Luis Gonzalo Mejía C. y Cía. Ltda., quien propuso la utilización de métodos innovadores y tecnología de punta como se describe seguidamente. El estudio geotécnico, fue hecho por Jaime Eduardo Hincapié y Cía., la construcción por AIA, con la interventoría de la firma DINPRO, la supervisión de presupuestos y control de obra por la empresa Omar Obregón y Cía.

El diseño estructural se efectuó con el programa STAAD y se modeló la estructura tridimensional. Las zonas correspondientes a las inmensas cavas de refrigeración y de congelación con temperaturas bajo 0° presentaron situaciones especiales de diseño. El diseño de la losa de contrapiso fue efectuado por DRAMIX - IMOCON utilizando metodología de elementos finitos para estados límites últimos y de servicio, para 9 casos de carga que representaban todas las posibilidades de sollicitación ocasionados por los montacargas. La placa se verificó igualmente para las cargas concentradas de las estanterías y las importantes tracciones resultantes en el caso sísmico por ser éstas, como ya se mencionó, de 11.0m de altura. La firma Luis Gonzalo Mejía C. y Cía. Ltda., se encargó de la revisión de estos diseños.

En este punto, consideramos necesario mencionar a los almacenes Éxito, quienes a pesar de la incertidumbre existente con el uso de nuevas tecnologías y los trámites de importación, para un plazo de construcción tan apretado, confió en nuestras recomendaciones y aceptó el desafío que estas representaban, entendiendo además que con esto se daba un paso importante en el desarrollo del país.

El proyecto, para efectos de este informe, puede considerarse compuesto de la losa de contrapiso (piso) y de la estructura (fundaciones, columnas, vigas y cubierta).

1. Pisos (Losas de Contrapiso)

1.1 Introducción

El diseño de las losas de contrapiso representa un reto para la ingeniería, pues las solicitudes de diseño resultan no solo de las cargas como en las estructuras de edificios, sino de los complejos cambios volumétricos que exhibe el concreto con el transcurso del tiempo, llamados técnicamente fenómenos reológicos.

1.2 Normas para el diseño

No existe en el País ninguna normatividad para el diseño de estos pisos y por lo tanto su diseño se efectuó de acuerdo con las recomendaciones del ACI (American Concrete Institute). En el Cedi se utilizaron principalmente los siguientes documentos en su última revisión:

“Guide for Concrete Floor and Slab Construction”, preparado por el Comité ACI 302 (ACI 302.1 R-04) y el “Design of Slabs on Grade”, preparado por el Comité ACI 360 (ACI 360 R - 92 reprobado en 1997).

1.3 Tipologías de pisos

Las losas de contrapiso se clasifican de diferentes maneras:

1.3.1 Según las características del piso

- a.** Losas de contrapiso reforzadas o no (Comites ACI 302 y 360)
- b.** Losas de contrapiso con concreto de retracción controlado (Comité ACI 223)
- c.** Losas de contrapiso suspendidas (NSR - 98)
- d.** Losas de contrapiso postensadas (“Post Tensioning Slab - on - Ground” del PTI (Post - Tensioning Institute).

En las etapas de prediseño, se analizaron las alternativas a, b y d, pero se descartaron la b y d, por no producirse en el país concreto de retracción controlada y por las limitaciones existentes en el país para el postensionamiento de este tipo de losas. La alternativa tipo c corresponde a losas estructurales y su uso no era indicado en este caso.

1.3.2 Según el procedimiento de vaciado:

- a. Losas fundidas en una etapa (single - course)
- b. Losas fundidas en dos etapas (two - course)

La utilización de cada procedimiento, depende de la clase del piso (pisos clase 1 a 9 ver el numeral 1.3.3).

1.3.3 Según el uso requerido y las técnicas de acabado

El comité ACI 302 reconoce 9 clases de pisos (pisos clase 1 el mas sencillo a 9 el mas exigente) y para cada uno de ellos recomienda el procedimiento de vaciado y las técnicas recomendadas de terminación. Así, para los pisos clases 1, 2, 4, 5 y 6, recomienda usar losas fundidas en una etapa (single - course), para los pisos clase 3, 7 y 8 recomienda el vaciado en dos etapas (two - course) y para los pisos tipo 9 especifica que pueden fundirse con cualquiera de los 2 métodos.

Para el Cedi, inicialmente se determinó que el piso debería pertenecer mínimo a la clase 6, que requiere un terminado con agregado metálico o mineral, con características mejoradas correspondientes al piso clase 9. Como terminado, se uso cuarzo que mejora las propiedades del concreto especialmente su resistencia al desgaste.

1.4 Refuerzo de las losas de contrapiso

Debido a las altas cargas actuantes ocasionadas por los racks de almacenamiento de 11.0 m de altura fue necesario reforzar la losa, lo cual puede efectuarse con refuerzo convencional o con fibras metálicas.

El uso de las fibras de acero tiene muchas ventajas sobre el acero convencional: no solo simplifica y acelera los procedimientos constructivos sino que, lo más importante, mejora las propiedades del concreto a largo plazo, especialmente sus resistencias a la compresión, tracción, flexión, absorción y cargas dinámicas (ver “Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete” preparado por el comité ACI 544.4R-88). Por esta razón se optó por utilizar fibras de acero escogiendo las del tipo Dramix RC 80/60 BN que por su relación de aspecto (ℓ/d) óptima de 80 proveen la máxima eficiencia.

1.5 Planitud (Flatness) y nivelitud (Levelness)

Las losas de contrapiso además de los requisitos estructurales, y diferente a todas las demás estructuras, debe cumplir dos requisitos sumamente exigentes:

- a. Debe limitarse la ondulación de la superficie (planitud)
- b. Debe limitarse el desnivel de la superficie (nivelitud)

La definición de las metodologías que permitan evaluar y controlar estos dos requerimientos, ha sido difícil y se han ensayado diferentes procedimientos. Entre estos el más usado actualmente, es el desarrollado por el Ing. Alan Face y se expresa con los llamados números F (F_F y F_L), los cuales deben tomarse y evaluarse según la norma ASTM E 1155 “Standard Method for Determining Floor Flatness and Levelness Using the F - Number System”. Las medidas obtenidas en la obra fueron $F_F = 70$ y un $F_L = 49$. Con la planitud y nivelitud alcanzadas, el ACI 302 clasifica el piso como superplano (Superflat) y clase 9.

Para entender el logro alcanzado (piso clase 9) basta mencionar lo que el comité ACI 302 expresa al respecto: “Los procedimientos de acabado para lograr pisos clase 9, requieran de la tecnología más rigurosa y demandante hasta ahora realizada”.

1.6 Agrietamiento y transferencia de cargas

Por las razones expuestas en el numeral 1.1, las losas de contrapiso tienden a agrietarse severamente por lo cual debe planearse la ejecución de juntas las cuales pueden ser de construcción, control o expansión. En estas juntas debe garantizarse la transferencia de cargas, lo cual se ha hecho tradicionalmente con barras redondas de acero.

En el Cedi, por primera vez en el país, se utilizaron dovelas de diamante (diamond dowels) y de canasta con espuma (square dowels baskets) importadas de los Estados Unidos y que representan la última tecnología en éste campo, lo cual significa un enorme avance para el país.

1.7 Conclusión

En la losa de contrapiso del Cedi Vegas se aplicaron procedimientos con tecnologías de punta, nunca antes utilizados en el país, logrando demostrar su eficiencia y economía, lo cual representa un avance importante en el proceso de desarrollo del país y utilizando además las más estrictas recomendaciones norteamericanas para este tipo de estructura.

2. Estructura: características sobresalientes

Como ya se dijo se compone de las fundaciones, columnas, vigas y cubierta. Las columnas con 11.0 m de altura requieren la utilización de 2 niveles de vigas de amarre (5.5 m y 11.0 m). La formaletería requerida para estos vaciados en altura es monumental, por lo cual las vigas se diseñaron autoportantes, semiprefabricadas y con 2 andenes metálicos adosados al prefabricado, con lo cual se ahorra el 100% de la formaletería. Este procedimiento produjo grandes economías de tiempo y dinero y corresponde a las últimas tecnologías usadas en Norteamérica y Europa en el diseño de elementos prefabricados.

En la corona de las columnas se dispusieron capiteles metálicos para garantizar el apoyo requerido de la cubierta ante las sollicitaciones sísmicas. En el registro fotográfico se indican con más detalle las características sobresalientes de la estructura.

Por sus dimensiones, la estructura se dividió en 3 módulos, separados por juntas sísmicas en las cuales se dispusieron los muros cortafuego. Todos los muros divisorios de solo 15.0 cm. de espesor para 5.5 m de altura, es decir con una altísima esbeltez, son sismorresistentes y protegen las personas, mercancías y equipos en caso de que ocurra un evento de este tipo.

Por ser las características del suelo sumamente erráticas, en aras de la seguridad y de la economía, se efectuó un estudio de “Prospección geoelectrica” no usual en la mayor parte de las obras de ingeniería, que buscaba establecer un esquema de la distribución litológica, el espesor del relleno artificial y la posible saturación existente en los sedimentos cuaternarios.

Las derivas se limitaron al 1% con lo cual se buscó que los daños en las mamposterías fueran mínimos y que los desplazamientos de las columnas no sobrepasaran los valores recomendados. El diseño corresponde a la última tecnología y recomendaciones internacionales acerca de procesos constructivos novedosos y seguros.

1. FOTOS LOSA DE CONTRAPISO

1.1 FOTOS A1 y A2

La base y la subbase se prepararon de acuerdo con lo especificado por los ingenieros de suelos y siguiendo las recomendaciones de las referencias 1 y 2.



A1



A2

1.2 FOTOS B1, B2 y B3

Se colocaron las tapas laterales con equipos de precisión, para luego fundir el piso reforzado con fibras de acero, por franjas alternadas, como es recomendado.



B1



B2



B3

1.3 FOTOS C1 y C2

Estas fotos muestran el refuerzo para las juntas tal y como llega en los contenedores. Una vez determinado que la base es adecuada con el proceso del proof - rolling y colocadas las tapas laterales, se procede a colocar el refuerzo para las juntas.



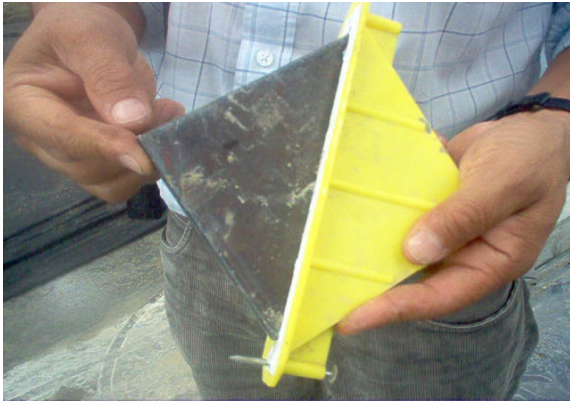
C1



C2

1.4 FOTOS D1, D2, D3 y D4

Las fotos D1 y D2 muestran la dovela de diamante, utilizada en las juntas de construcción, compuesta por la chuspa y la platina. Es importante mencionar que la importación de la platina, por su peso, se evitó, fabricándola en el país, con los mismos requerimientos de los productores. En las tapas laterales se clavan las chuspas que quedan debidamente dispuestas, preparadas para el vaciado como se ve en la foto D3. Posteriormente al retirar las tapas se introduce la platina (foto D4) en la chuspa, lo cual queda listo para el próximo vaciado y para efectuar su labor de transmisión de carga, con posibilidad de movimiento.



D1



D2



D3



D4

1.5 FOTOS E1, E2 y E3

En las juntas de control, se colocaron las dovelas de platino con espuma lateral, lo que le permite movimientos en dos direcciones. Estas dovelas, vienen en una canastilla rígida que las mantiene en posición (fotos E1, E2 y E3).



E1



E2



E3

1.6 FOTOS F1, F2 F3 y F4

Una vez colocadas las dovelas en ambas direcciones se continúa con el fundido de la placa, tomando todas las precauciones en aspectos tales como la humedad relativa, la temperatura del concreto, la temperatura ambiental y la velocidad del viento de tal forma que la rata de evaporación no supere los $0.5 \text{ kgf/m}^2/\text{hr}$ para así prevenir la aparición de fisuras por retracción plástica. Nótese en las fotos F3 y F4 que todo el perímetro de la obra se protegió con plástico para limitar la velocidad del viento.



F1



F2



F3



F4

1.7 FOTOS G1, G2, G3, G4, G5 y G6

Luego vienen las labores de terminación y el cuidado de la placa (fotos G1 a G4) el cual se efectuó de día (Foto G5) y noche (Foto G6).



G1



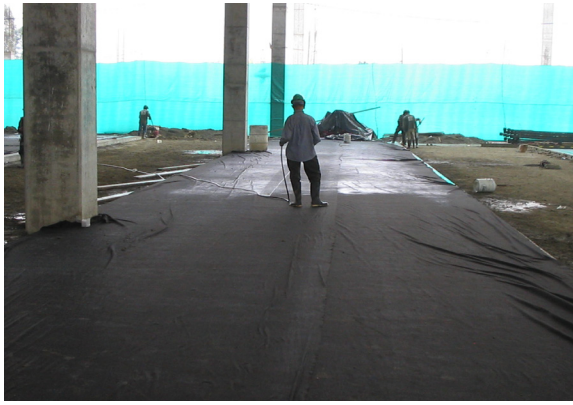
G2



G3



G4



G5



G6

1.8 FOTOS H1, H2, H3 y H4

En la foto H1 se indica un cruce típico de juntas de construcción y de control, en la H2 etapas finales de protección de la placa, en la H3 la conformación de las juntas de control y en la H4 el piso terminado en el cual se empieza a colocar los primeros racks de 11,0 m de altura.



H1



H2



H3



H4

2. SUPERESTRUCTURA

2.1 FOTO A1

El lote del proyecto, por quedar muy cerca al río Medellín, estaba conformado por suelos muy variables, los cuales obligaron a implementar el uso de zapatas aisladas en un módulo y de pilas (foto A1) en otros dos módulos, los cuales se separaron por juntas. Cada módulo tenía dimensiones promedias de 100.0m x 170.0m.



A1

2.2 FOTOS B1 A B9

La construcción de las columnas interiores con alturas hasta 14.0m y sección de 0.7m x 0.7m, requirió de medidas especiales de supervisión para evitar desplomes y garantizar un empalme perfecto entre los vaciados (foto B4). En esta foto también se aprecian las ménsulas metálicas bidireccionales que se colocaron para garantizar que las cerchas no perdieran apoyo durante un evento sísmico severo. La foto B5 muestra en detalle ésta ménsula. La foto B6 muestra una panorámica en el avance de las columnas. Posteriormente se montaba la estructura metálica (fotos B7, B8 y B9)



B1



B2



B3



B4



B5



B6



B7



B8



B9

2.3 FOTOS C1 A C 14

La construcción de las columnas exteriores (foto C1) presentaba mayores dificultades pues los muros de cerramiento de 11.0m de altura y 0.15m de espesor, requerían una viga intermedia a 5.5m y la viga de remate a 11.0m. Igualmente la colocación de una columna intermedia de tal manera que la modulación fuera de 8.0m. Fundir estas vigas en el sitio hubiera requerido el uso de una formalería muy importante por lo cual las vigas se plantearon como semiprefabricadas, autoportantes, de tal forma que no requirieran formaleta de soporte y agilizaran la construcción (fotos C2, C3, C4 y C5). En las vigas se dispusieron caminaderos metálicos en voladizo, que permitieran a los trabajadores, completar el vaciado en el sitio sin utilizar andamios. Luego las vigas se transportaban al sitio y se colocaban en las columnas (fotos C6 y C7). Los caminaderos metálicos soportados con pernos a la viga prefabricada podían retirarse fácilmente. En la foto C8 se ve el avance del primer nivel de vigas a 5.5m de altura. Luego de terminar de fundir la viga in situ, se continuaba con el segundo tramo de columnas (foto C9) y se repetía el procedimiento de las vigas en el nivel 11.0m (foto C10). Una vez retirados los caminaderos, las vigas quedaban monolíticas y perfectamente rectangulares (foto C11). Como no existen en las fachadas andamios ni torres de carga, la mampostería pudo comenzar al mismo tiempo que la colocación de las vigas, ganándose con esto, un tiempo importante (foto C12 y C13). Mientras se extendía la estructura metálica hasta las fachadas (foto C14) se terminaba la mampostería (foto C15).



C1



C2



C3



C4



C5



C6



C7



C8



C9



C10



C11



C12



C13



C14



C15