

COSTRUCION DE EDIFICIOS CON MUROS DE DUCTIBILIDAD LIMITADA

“EXPERIENCIAS LOS PARQUES DEL AGUSTINO”

Arq. Juan Pablo Herrera, Ing. Fernando Llosa

RESUMEN

La necesidad de poner las viviendas al alcance de los sectores populares ha hecho que el gobierno impulse la construcción de megaproyectos habitacionales con unidades inmobiliarias numerosas, repetitivas y de “bajo precio”. Para lograr que el precio del departamento sea accesible se necesita optimizar los costos en todas las etapas del desarrollo del proyecto, por ejemplo en la construcción se necesitan diseños eficientes como los *Muros de Ductibilidad Limitada (MDL)*, los cuales juntos a una adecuada modulación permiten una serie de ventajas como: mejorar los rendimientos y disminuir los costos de construcción mediante la producción continua de unidades similares, disminuir el recorrido en las IISS e IIEE, cambio en el tipo de acabado de los muros y simplificar los controles de calidad de los procesos; logrando en conjunto un ahorro en cada actividad lo cual permite que el proyecto sea viable como es el caso de Los Parques del Agustino.

INTRODUCCION

Desde principios del 2000, el sector inmobiliario peruano ha experimentando un gran crecimiento. La demanda de viviendas se ha visto favorecida por diversos factores como el aumento de los ingresos familiares, mayores facilidades crediticias, con tasas más bajas y mayores plazos.

El mercado de viviendas atendidas por el mercado formal, provenía básicamente de los segmentos A y B hasta hace unos pocos años; sin embargo la necesidad de poner viviendas al alcance de los sectores



Fig. 1 Vista panorámica de Los Parques del Agustino

populares ha hecho que el gobierno impulse la construcción de megaproyectos habitacionales, otorgando a los promotores facilidades para adquirir terrenos y se ha generado un mercado muy grande desatendido por años.

Personas que antes no eran sujetas de crédito, hoy los son en condiciones muy ventajosas a través de programas estatales como “Techo Propio” y “Mi Hogar”.

Para que el precio de las viviendas llegue al alcance popular y ofrecer viviendas dignas pero económicas se ha tenido que conseguir terrenos de gran área y precios bajos que permitan elaborar proyectos cuyas unidades inmobiliarias sean numerosas y repetitivas.

DATOS DEL PROYECTO LOS PARQUES DEL AGUSTINO

DISTRIBUCION DEL TERRENO

- Área de Terreno: 227,046.46 m²
- Sector Urbano: 18,898.39 m²
- Sector Residencial: 88,729.17 m²
- Sector educacional: 7,803.67 m²
- Sector comercial : 15,304.28 m²
- Áreas Verdes : 79,103.40 m²



Fig. 2 Distribución del Terreno



Fig. 3 Vista Interior de la Residencial

DISTRIBUCIÓN DEL SECTOR RESIDENCIAL

- N° de edificios: 174
- Altura de Edificios: 5 pisos
- N° de departamentos: 3,480
- N° de estacionamientos: 870 unid
- m² construidos: 218,388 m²
- Departamentos por Edificio 20 unid

CONSTRUCCIÓN

PROCESO CONSTRUCTIVO

MOVIMIENTO DE TIERRAS

Para poder realizar una optimización del movimiento de tierras se decidió utilizar un plataformado en los edificios para reducir los volúmenes de corte de material. Según el estudio de suelos realizado, el relleno de ingeniería para las plataformas debería tener una Capacidad Admisible de $q_{adm} = 5 \text{ Kg/cm}^2$, con lo cual se definieron como Canteras el corte a nivel de piso del material proveniente de los Parques, el cual permitió reducir los costos de acarreo de material de relleno de forma significativa (Foto 1 y 2).



Foto 1.- Corte, Zarandeo y Traslado del Relleno de Ingeniería



Foto 2.- Corte y Zarandeo del material Granular

La compactación del material se realizo en capas no mayores a 30 cm. realizándose en cada una de ellas las pruebas de densidad de campo al 98% del Proctor Modificado usando para ello el método del cono de arena y Speedy.



Foto 3.- Compactación en capas de 30 cm.



Foto 4.- Pruebas de Compactación

CIMENTACIÓN

La losa de cimentación (Plateas) son de 18m x 35 m y de 20 cm espesor. El concreto es de 175 Kg/cm² con un slump de 4" y un huso de piedra 57. Para confinar los bordes cuenta con Vigas de Borde de 25 x 40 cm (6 12mm y estribos de 8mm @25). Para el refuerzo se emplean dos mallas electro soldadas QE 158 (superior e inferior).

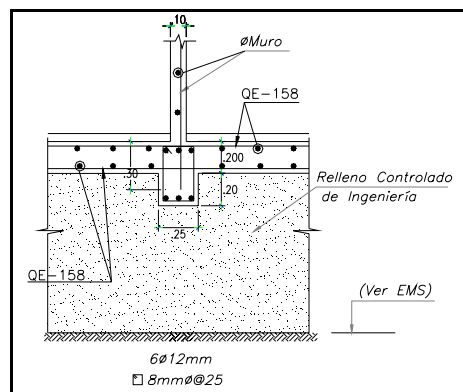


Figura 4.- Corte Típico de cimentación de Plateas

Para calcular el tipo de malla o el área de acero de la varilla según sea el caso, se realiza la siguiente conversión:

$$As_{malla} = \frac{As_{varilla}}{e} \times \frac{fy_{varilla}}{fy_{malla}}$$

Donde:

e : Separación entre varillas de fierro tradicional

fy varilla : Limite de fluencia de fierro tradicional = 4200 Kg./cm²

fy malla : Limite de fluencia de la malla electrosoldada = 5000 Kg/cm²

La sectorización en planta se realiza a razón de 2 departamentos diarios en planta con una producción de 32m³. El piso es acabado y esto requiere un riguroso control de los trazos y niveles para lo cual se usa de 1 topógrafo permanentemente en el vaciado.



Foto 5.- Vaciado de plateas Sector 1



Foto 6.- Platea terminada

El uso de plateas a diferencia de otros tipos de Cimentación de Muros (Cimientos Corridos), permiten una mejor programación de los sectores de trabajos, así como también un ahorro en las partidas de encofrado (solo se encofra el friso de 20cm.), rapidez en el armado de acero (uso de mallas electrosoldadas), y ahorro de material (Rellenos y Falso pisos).

EDIFICACIÓN

ACERO

Los muros llevan una armadura en el 1er y 2do piso con varillas de construcción grado 60 de 8mm espaciados horizontal y vertical según detalle estructural (20, 25 y 30 cm), mientras que en los pisos superiores se usa malla electrosoldada denominada QE 158 que significa malla cuadrada especial con un área de acero de 1.58 cm²/m², que es equivalente a decir 5.5 @.15m en ambos sentidos.

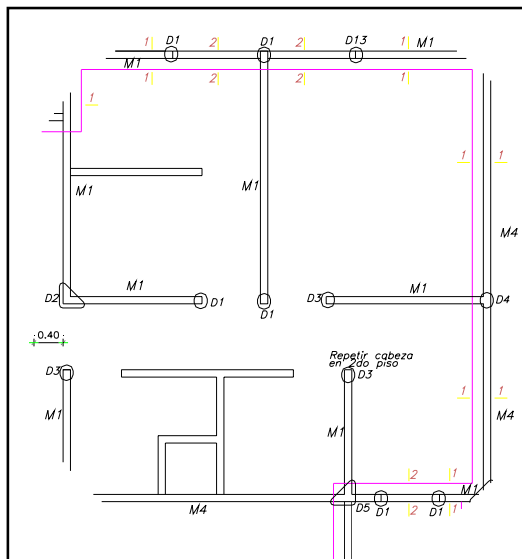


Figura 5 Plano de Planta Típica de Muros

Para la losa también se usa la malla Q158 centrada en los 10 cm. de espesor. También se cuenta con una losa de transferencia en el 2do nivel para el muro de sala con un refuerzo superior de 12mm@.40m e inferior en dos direcciones de 12mm@.20m y 12mm@.40m

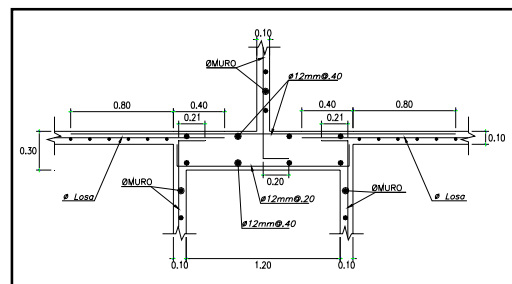


Figura 7.- Corte de Losa de Transferencia

INSTALACIONES ELECTRICAS Y SANITARIAS

Una vez colocado los refuerzos y mallas de los pisos se colocan las respectivas instalaciones, en el caso de las IIEE las cajas se sujetan con pequeños puntos de soldadura en retazos de varillas las cuales son luego sujetadas firmemente al acero de refuerzo de los MDL (varillas o mallas) para evitar que se desplacen durante el vaciado (Foto 7)

Los MDL también permiten poder reducir el recorrido de las tuberías empotradas mediante el uso de tuberías flexibles (Foto 8).



Foto 7.- Caja Eléctrica sujeta a la malla electrosoldada



Foto 8.- Distribución de tuberías Eléctricas

En el caso de las IISS se usa un sistema nuevo de tuberías semi flexibles de polipropileno que permite poder colocar en los muros antes del vaciado todas las llaves de los departamentos como la Llave principal, cocina y baño (Foto 9) y también las salidas de las termas (las cuales fueron reemplazados los codos de fierro galvanizado), asimismo los recorridos de las tuberías de agua fría y caliente se realizan a través de los muros a diferencia de un sistema convencional donde dichas tuberías suelen ir por la losa de piso, los cuales se pueden dañar al momento del vaciado. (Foto 10).



Foto 9.- Llaves de agua del dpto. Colocadas antes del vaciado.



Foto 10.- Tuberías de Agua Fría y Caliente dentro de los MDL

En ambos casos, el poder ejecutar la mayor cantidad de instalaciones antes del vaciado bajo un riguroso cumplimiento del control calidad (Inspección y llenado de protocolos de pruebas bajo un ingeniero a cargo) permite una importante reducción de personal y se mejora el tiempo en la ejecución de los acabados.

En el caso del desagüe, el uso de Inodoros con descarga vertical obliga usar un espesor de losa mayor (20cm) y una modulación especial en el encofrado en el tramo del baño para poder pasar la salida de tubería de 4", por tales motivos se desarrollo el concepto y luego se coordinó con la fábrica para colocar un inodoro con salida lateral (Figura 8 y 9), con lo cual se pudo mantener el espesor de 10 cm en toda la losa. Para poder cubrir la tubería horizontal en el baño se hace un pequeño pozo de concreto en la parte de atrás del inodoro, el cual queda totalmente enchapado al momento de la entrega del departamento.

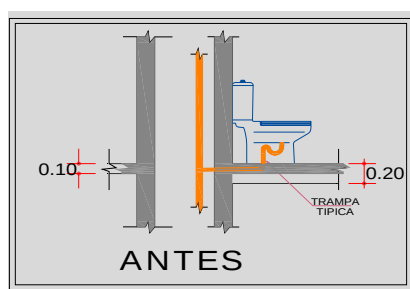


Figura 8.- Inodoro con salida vertical

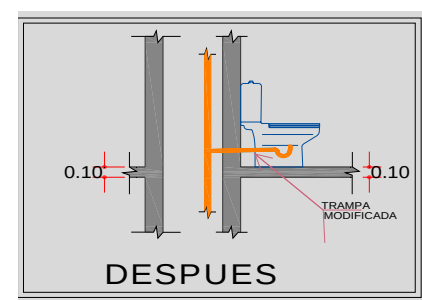


Figura 9.- Inodoro con salida Horizontal

ENCOFRADO

Los MDL han sido cuidadosamente estudiados y sectorizadas de tal forma que se logro realizar una ingeniería en el encofrado realizando modulaciones que permitan un trabajo repetitivo y fácil en todos los sectores realizados (metrado similar de encofrado por sector), así como también el desarrollo de piezas nuevas que faciliten y mejoren los rendimientos de encofrado.

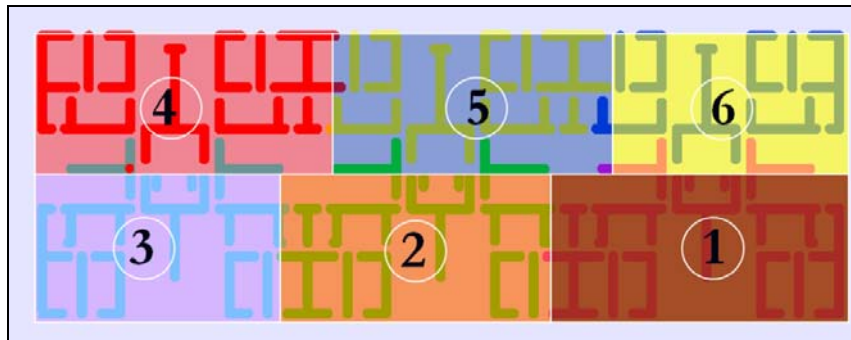


Figura 10 Sectorización de Edificio

Para este caso en particular se uso el sistema de paneles de aluminio FORSA que está hecho en aluminio estructural, con perfiles extruidos y machimbrados de gran resistencia que se ensamblan entre sí de manera ágil (Figura 11).

Las planchas de encofrado vienen con un sistema de refuerzos transversales, instalados cada 30 cm, que garantizan un mejor comportamiento a la deformación de los paneles en servicio. Asimismo se manejan paneles estándar en anchos entre 15 y 80 cm con alturas de 230 y 240 cm. que permiten un fácil transporte manual (Peso máximo de formaleta de 38 Kg.). Foto 11.

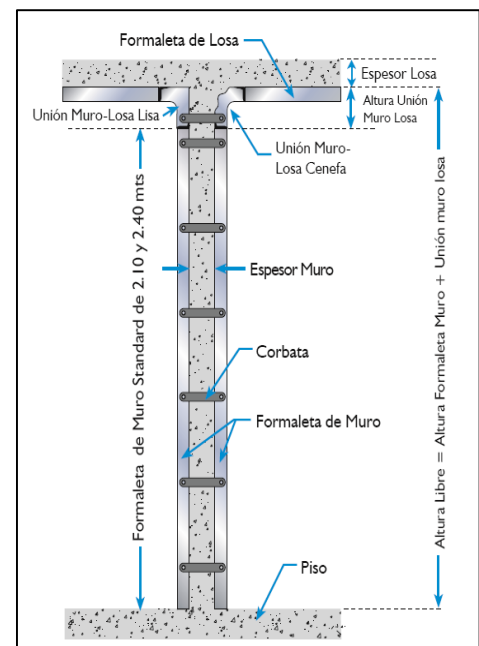


Figura 11.- Corte de Encofrado de aluminio Monolítico

Asimismo, el encofrado de muros y losas es monolítico y permite poder realizar el desencofrado al día siguiente de todos los elementos, excepto las planchas centrales (losa puntal de 10x30, 25x20, 20x120), las cuales se encargan de controlar las deflexiones hasta que el

concreto obtenga una resistencia que permita a la losa sostenerse por sí misma. (Foto 12)



Foto 11.- Traslado rápido y fácil de Formaletas de Encofrado



Foto 12.- Losa puntal luego del desencofrado



Foto 13.- Encofrado Monolítico (Muros y Losas)

Para determinar el tiempo de desencofrado de la losa puntal se realizó un análisis mediante un modelo tridimensional de elementos finitos (programa ETABS), tomando en cuenta el caso de las losas con los requerimientos más desfavorables según los planos de modulación del encofrado. En tal sentido se determinó que el concreto deberá tener una resistencia mínima $f'_c=35\text{kg/cm}^2$, con la cual, se asegura un buen comportamiento de la estructura ante las solicitaciones presentadas en obra. Dicha resistencia se obtiene a las 72 horas según los ensayos de compresión del concreto solicitado en obra de $f'_c=175\text{kg/cm}^2$ a los 3, 7 y 28 días.

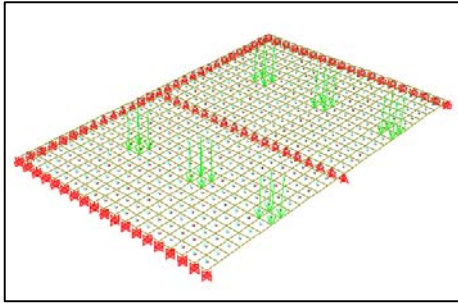


Figura 12.- Modelo Tridimensional de elementos Finitos

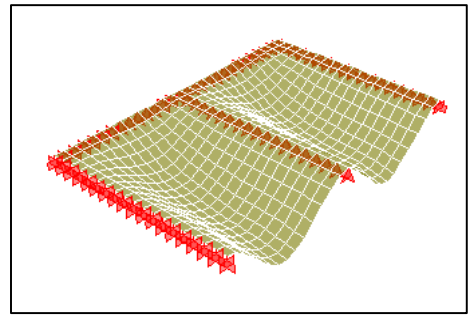


Figura 13.- Vista de la deformación por Carga Ultima .

CONCRETO

El concreto usado en todo el proyecto es de resistencia $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$, con tamaño máximo de piedra de $\frac{3}{4}$ ", en el caso de plateas se usa slump de 4" mientras que en las losas y muros de las edificaciones el slump solicitado es de 8" para tener mayor trabajabilidad y reducir la probabilidad de cangrejas en los MDL.

Para el proyecto se cuenta con 3 frentes de vaciados simultáneos de aproximadamente 30 m^3 por frente. Para colocar el concreto en los muros se usa el sistema de bombeo convencional con bomba Unicon (Foto 14) y adicionalmente como las estructuras tienen una altura promedio de 12 m. (5 pisos) permite el uso de nuevos sistemas de vaciado como es el uso brazos telescópicos –telehandler (Foto 15).



Foto 14.- Vaciado con bomba Unicon



Foto 15.- Vaciado con brazo Telescópico (Telehandler)

El sistema de llenado por bombeo es rápido ($0.8\text{m}^3/\text{min}$) y los muros se llenan en 2 capas mientras que, el sistema con brazos telescópico el llenado de los muros dura mas tiempo ($0.4\text{m}^3/\text{min}$) y exige estrictamente que el slump de concreto sea no menor de 8" con lo cual se garantiza que la mezcla se acomode mejor y disminuye relativamente la cantidad de burbujas formadas en los muros.

Con respecto al acabado se requiere un riguroso control en la nivelación y en acabado semipulido de la losa vaciada para poder dejarla listo para recibir el acabado final de piso vinílicos. (Foto 16).



Foto 16.- Acabado de Losa Semipulido

ALBAÑILERIA

Para la albañilería se usa los bloques P-9 de concreto vibrado con varillas verticales No. 8 cada 50 cm. que se colocan en la losa con un anclaje de 5 cm. de profundidad pegadas con epóxico (Sikadur 32). Para evitar el contacto con los MDL se separa con una junta de tecnopor de $\frac{1}{2}$ ". (Foto 17 y 18)



Foto 17.- Separación de ½" con tecnopor entre MDL y Ladrillo



Foto 18.- Fachada con Ladrillo de concreto vibrado P-9

ACABADOS

En el caso de los acabados luego de desencofrar los MDL requieren un proceso de reparación de los muros, por ejemplo: de las protuberancias del concreto causados por el uso típico del encofrado, de las fisuras por contracción producto del comportamiento natural del concreto, la limpieza de las rebabas de concreto de los encuentros pared – techo y pared – muro, etc. Luego de este proceso de reparación el acabado de los MDL con encofrado de aluminio queda bastante uniforme, y esto ha permitido poder realizar un cambio en el acabado final de los muros al uso del papel Colomural para el cual solo requiere un encintado de los encuentros de las planchas de encofrado de los MDL y una preparación de los muros con una base imprimante para finalmente pegar el papel (Foto 19 y 20).



Foto 19.- Instalación de

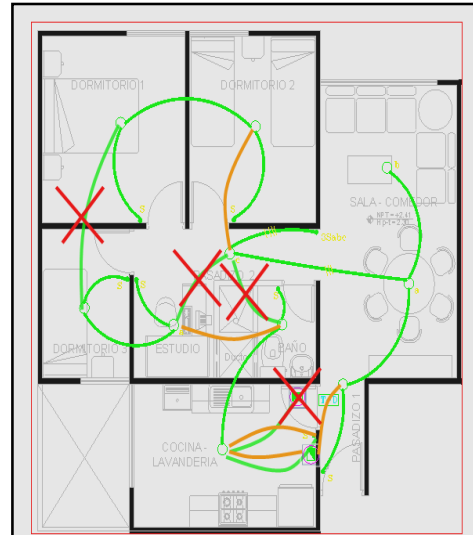


Foto 20.- Acabado Final con Papel Colomural

CONTROL DE COSTOS Y RENDIMIENTOS

Los costos de tuberías y cables ahorrados en la mejora de los recorridos de las IIEE tanto en los MDL como en las losas macizas ha generado un ahorro de 11.50 ml x departamento.

Figura 12.- Ahorro de tuberías en la Distribución Electricas en la losa maciza



En el caso de las IISS la modificación del sistema de inodoro con salida lateral permitió reducir el espesor de losa y se logró un ahorro en el costo del concreto y acero en el área de baño en un total de 2,720 departamentos modificados.

Los rendimientos de la obra en todas nuestras partidas han mejorado debido a una mejora continua de los frentes de trabajos (curva de aprendizaje), los cuales nos ha permitido reducir la cantidad de mano de obra, mejorando la calidad y cumpliendo con todos nuestros estándares de seguridad.

Para calcular los rendimientos se divide las horas hombres utilizadas para realizar la actividad entre la cantidad de metrado realizado (hh/Unid. de medida). Con el cual se puede calcular fácilmente la cantidad de horas ganadas por actividad.

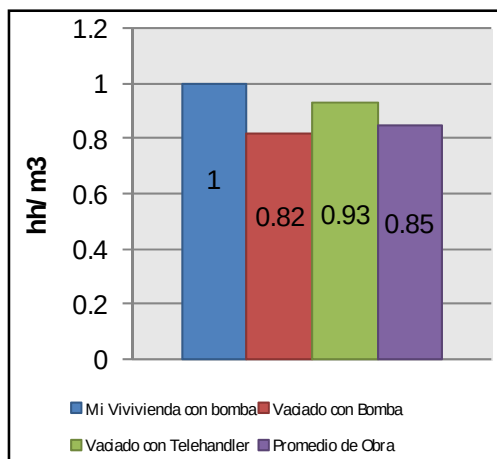


Figura14 .- Rendimientos de Encofrado

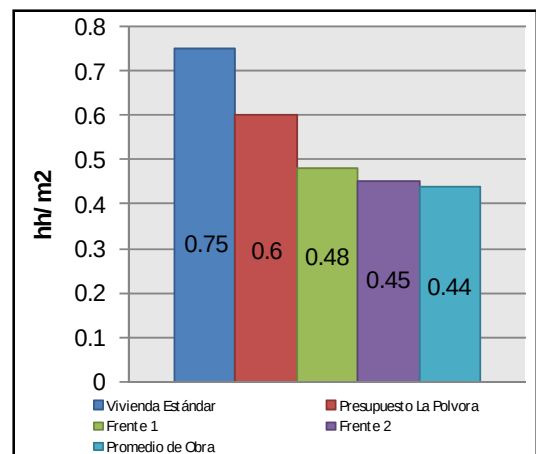


Figura 14.- Rendimiento de Concreto

En el caso del encofrado se han logrado mejorar los rendimientos en un 26% con respecto al presupuestado (0.42hh/m2). Esto se logró con una adecuada capacitación del personal y una redistribución de las tareas (disminución de cantidad de obreros x cuadrillas), los cuales realizan la actividad en 5 horas en promedio lo que permite poder iniciar el vaciado en horas de la mañana (11:00 am).

Asimismo en el caso del concreto, el uso de los equipos con brazos telescópicos (telehandler) permite un ahorro en el uso de la Bomba de concreto, los cuales dichos equipos fueron comprados con el ahorro obtenido en esta partida y adicionalmente sirven para realizar otro tipo de actividades (ahorro en acarreo vertical y horizontal de materiales). Adicionalmente, pese a que el vaciado con los telehandler es más lento que con el equipo de bombeo, los rendimientos se están uniformizando porque el tiempo de vaciado de ambos es similar (varía entre 2 a 2.5 horas). Esto se debe a que el tiempo de vaciado está sujeto más a la llegada de los camiones mixers que a los sistemas de vaciado (bomba o telehandler).

En el caso del acero, se realizó un despiece de todos elementos con varillas de fierro corrugado, el cual luego de un análisis de desperdicios se determinó que es más económico que comprar acero dimensionado. Asimismo, del escaso 2.7% de desperdicio de acero este se utiliza para poder asegurar las cajas eléctricas de los muros, estacas para nivelación de plateas, estacas para encofrado, etc. Las mallas electrosoldadas permiten mejorar la velocidad de instalación con el cual se logra mejorar los rendimientos de la mano de obra.

En el caso de los acabados, el reemplazar papel colomural por un acabado típico de pintura permite una serie de ventajas adicionales a las económicas (ahorro de 41%) como por ejemplo: menor personal en obra, menor gasto de obras provisionales, mejor control de los trabajos ejecutados y áreas de trabajo más libre y ordenadas.

CONTROL DE CALIDAD (QA/QC)

Durante el desarrollo del proyecto se llegaron detectar algunas No Conformidades observados por nuestro departamento de Control de Calidad, los cuales han sido levantadas progresivamente. Por ejemplo tenemos los siguientes:

- El ingreso de las redes de tuberías de IIEE, Agua, desagüe y Gas al interior del Edificio se realiza por el pasadizo de ingreso en un ancho de 1.40m. el cual se encuentra congestionado y requiere coordinación oportuna de los trabajos para evitar roturas de tuberías.
- Durante el vaciado de losas se requiere tener bastante cuidado para que la malla quede centrada en el muro porque se mueven con bastante facilidad y no quedan centradas con respecto al trazo inicial.



Foto 21.- Grifado de acero vertical

- Como los muros son delgados, de 10 cm. de ancho, cuando se tiene problemas de trabajabilidad en el concreto solicitado (perdida rápida del slump) en los lugares donde hay mucha concentración de tuberías y cajas eléctricas se suelen presentar cangrejeras (Foto 22). Asimismo la falta de capacitación del personal en la forma de colocación del concreto en los muros (por capas) sumado al exceso de vibrado genera segregación de la piedra en la parte inferior de los vaciados (Foto 23). Pese a que ambos problemas son rápidos de

reparar, la frecuencia de los mismos genera gastos no previstos, los se están evitando teniendo un control minucioso del slump del concreto antes de iniciar el vaciado.



Foto 22.- Cangrejeras en zonas de concentración de tuberías



Foto 23.- Segregación de agregado

- Según la modulación solicitada, el encofrado de losa se encuentra simplemente apoyado al encofrado de muros mediante un elemento llamado cuchilla, en tal sentido, esto aumenta la probabilidad de que el muro se desplome porque no es una estructura rígida y se mueve ligeramente en el momento del vaciado. Como las medidas de los vanos (puertas y ventanas) se encuentran pactados para lograr una producción industrializada, dichos vanos se tienen que reparar haciendo los derrames respectivos de los mismos.



Foto 22.- Reparación de derrame de ventanas



Foto 24.- Reparación de derrame de puertas

han presentado fisuras en las luces centrales de los ambientes más amplios de los techos (salas), pese a todos los cuidados tomados en campo (Control de recubrimiento de acero, recorrido de tuberías, curado de concreto y apuntalamiento de losas) los cuales el especialista en estructuras determino que dichas fisuras no son estructurales y obedecen a un comportamiento natural de este sistema de estructuras de MDL. Sin embargo, las inconformidades que generan a los clientes obligan al constructor a buscar soluciones de reparación a estas “fisuras estéticas” para que los clientes puedan firmar la recepción respectiva del departamento.



Foto 25.- Fisuras en las zonas luces centrales (sala)

- Luego de 5 meses de construcción de la estructura se han presentado fisuras en el extremo inferior del muro con mayor longitud, el cual se consultó con el especialista y determinó que dichas fisuras no son estructurales y se producen por contracción del concreto y por la interacción que se produce entre las Placas Verticales (MDL) y la Placa de Cimentación respectiva.



Foto 24.- Fisura en la parte inferior de los MDL de longitud 8m.



Foto 23.- Espesor máximo de fisura encontrada es de 0.5mm.

CONCLUSIONES

- Los MDL es una alternativa de diseño eficiente que permite industrializar la construcción de viviendas con unidades inmobiliarias numerosas, repetitivas y de bajo precio.
- De acuerdo al estudio de suelos realizado se determinó que la forma más económica para la cimentación de los Edificios es mediante el uso de plataforma (Plateas de Cimentación), que en conjunto con otras variables como es el número de pisos, tipo de estructura, rendimientos de Mano de Obra, etc. se definió realizar las estructuras con MDL con un encofrado monolítico.
- El ahorro logrado en el movimiento de suelos se realizó usando el material propio obtenido del corte de los Parques debidamente preparado, el cual se usó como Relleno de Ingeniería en las plataformas de las Plateas.
- El despiece realizado en obra con todos los elementos de acero corrugado utilizado en obra, permitió definir que la Habilidad del Acero en Banco es más económico que comprar Acero Dimensionado para esta obra. Asimismo el uso del mismo tipo de malla electrosoldada tanto en la platea como en el edificio permite reducir la cantidad de la mano de obra empleada para dicha partida.
- Los muros y losas macizas permiten mejorar y reducir el recorrido de las IIEE e IISS mediante el uso de tuberías semiflexibles. En el caso de las IISS incluso se ha logrado realizar el recorrido de las tuberías de agua fría y caliente a través de los MDL mediante el uso de tuberías de polipropileno con el cual se reduce el riesgo de rotura en el momento de vaciado de concreto.
- Se desarrollo el concepto de utilizar inodoros con descarga lateral el cual luego se coordinó con la fabrica su fabricación al mismo costo, de esta forma se logro mejorar la velocidad de encofrado uniformizando todo el espesor de la losa a 10 cm. y también se redujo un metrado de concreto y acero destinado a la zona de baño (e=20cm.).

- Se realizó una ingeniería en el encofrado utilizado con el cual se mando a fabricar al proveedor las planchas y piezas de aluminios necesarios para realizar un trabajo repetitivo y de similar metrado en todos los sectores realizados.
- Adicionalmente de cumplir con los procedimientos de colocación y vibrado de concreto, es necesario utilizar tener un slump no menor a 8" para disminuir las cangrejas formadas en los MDL con congestión de tuberías eléctricas y sanitarias.
- Para lograr que el acabado de la losa de vaciado quede lista para recibir el piso acabado de vinílico es necesario realizar un acabado semi pulido y también controlar el nivel de vaciado en todo momento. Con esto se logra reducir el costo de falsopisos y contrapisos en el acabado de pisos del edificio.
- El uso de papel Colomural en el acabado en reemplazo de la pintura de muros permite una reducción en los costos, menor Mano de Obra y mejor control de los trabajos ejecutados.
- Las estructuras con MDL presentan fisuras en los muros del primer piso y en las zonas centrales de las luces mayores de los ambientes (salas), los cuales fueron analizados por el especialista y se definieron que son fisuras no estructurales y se deben a un comportamiento natural del concreto armado.
- Las fisuras presentadas en los edificios generan inconformidad en los clientes y no firman la recepción de los departamentos hasta solucionar dicho problema. Por lo tanto, el constructor se ve obligado a buscar métodos de reparación para dicho problema los cuales están fuera del presupuesto de obra.

REFERENCIAS

Marcos Tinman, Planos y Especificaciones Técnicas del proyecto “Los Parques del Agustino.

Alejandro Muñoz, Artículo “DESEMPEÑO SISMORESISTENTE DE EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA”

Angel San Bartolomé, Artículo “COMPORTAMIENTO A CARGA LATERAL DE MUROS DELGADOS DE CONCRETO REFORZADOS CON MALLA ELECTROSOLDADA Y ACERO DÚCTIL”