



MZTEC

**ESTUDIO SOBRE APLICABILIDAD DEL SISTEMA DE ENCOFRADOS
PARA LA EJECUCIÓN DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES o
MULTIFAMILIARES CON SISTEMA mZtec**

Versión 4.1

Ing. Marcelo Zolezzi

09/10/2014

1- INTRODUCCIÓN

El sistema **mZtec**, así como los demás sistemas basados en la placa modular de poliestireno expandido con mallas de acero interconectadas en cada una de sus caras se ha enfrentado a lo largo de sus más de 30 años de existencia con la dificultad de encontrar un procedimiento de aplicación “in situ” del hormigón que aúne velocidad con efectividad.

El necesario uso de micro hormigones (tamaño máximo del árido < 5 mm) para que el material pueda ser proyectado, así como la resistencia a la compresión necesaria para el cumplimiento de la normativa de uso estructural siempre ha tenido consecuencias indeseables para los cultores de ésta tecnología.

Es así que nos encontramos con patologías derivadas de la alta evaporación superficial (fisuras y micro-fisuras) que tienen las capas finas de hormigón, así como también las dificultades propias de un material de poca trabajabilidad que requiere personal muy experto para dejar unos acabados razonablemente buenos.

Durante los últimos 10 años se ha venido perfeccionando las dosificaciones del micro hormigón para combatir estos problemas con resultados aceptables en muchos casos, pero siempre con gran esfuerzo tanto de la mano de obra como la de los técnicos en su control.

La posibilidad de encofrar el panel siempre fue descartada a lo largo de los años porque se pensaba que:

- a) No sería posible hormigonar una capa de menos de 5-6 cm de espesor por el temor de que no se produjese un efectivo llenado.
- b) Derivado de lo anterior, se aumentaría enormemente el consumo de micro-hormigón (casi al doble).
- c) La mano de obra para el montaje y desmontaje de moldes no justificaría el procedimiento desde el punto de vista de la economía de plazos.
- d) Se alteraría la pureza de imagen de un sistema que siempre se caracterizó por la baja necesidad de recursos y medios de ejecución.

Los grandes fabricantes de maquinaria para el panel, tampoco quisieron investigar esta cuestión, dado que su discurso constante ha sido que el sistema de paneles no necesita de nada más que el propio panel y poca cosa más. Todo aquello que hubiera supuesto una inversión en recursos complementarios a la propia inversión en maquinarias (que ellos suministraban) sería totalmente innecesario.

Pero la práctica cotidiana de todas las empresas usuarias del sistema demostraba que para obtener resultados medianamente satisfactorios había que resolver adecuadamente este serio problema.

El hormigonado del forjado, agregaba una dificultad muy importante en cuanto a la proyección de la cara inferior, teniendo que aplicar el material en contra de la fuerza de la gravedad.

Es así que todas las soluciones a éste problema fueron parciales y siempre con una carga de mano de obra verdaderamente muy alta para unos resultados bastante pobres. Muchos usuarios del sistema abandonaron el panel para su empleo en forjados, utilizando otros métodos tradicionales o prefabricados.

Mi propia experiencia de tantos años me indicaba que se debería buscar una alternativa radical porque la tecnología había llegado a un estado del arte con un verdadero y real estancamiento.

El sistema no progresaría hasta no solucionar esta gran dificultad.

Lo primero era resolver la cuestión de la dosificación del micro-hormigón para conseguir el correcto llenado de una cámara de 3,5 cm de espesor y 3 metros de altura.

Una vez resulto esto, había que buscar un sistema de encofrados de muros que fuera adecuado a nuestro sistema y adaptar una metodología de trabajo que tuviera perfecta trazabilidad.

Alcance de éste trabajo:

- Aplicación del micro hormigón mediante encofrado y posterior vertido. Antecedentes y Descripción de la Versión 4
- Obtención de rendimientos de Mano de obra y posibilidad de extrapolación de resultados en proyectos similares
- Estudio técnico-económico comparativo de los sistemas de encofrado compatibles con el sistema **mZtec** en la Versión 4.1
- Dosificación del micro hormigón para el llenado de moldes

2- HORMIGONADO PANELES SISTEMA **mZtec** MEDIANTE ENCOFRADO Y POSTERIOR VERTIDO (Versión 4.1)

El hormigonado de los paneles **mZtec** consiste en la colocación del espesor asignado de micro hormigón que recubre las caras del mismo.

Existían tres procedimientos básicos posibles:

1. La aplicación manual de micro hormigón con herramientas de albañilería tradicional a modo de enfoscado. Versión 1.0



2. La aplicación mediante proyección con dispositivos neumáticos manuales tipo "Hopper gun" o revocadoras manuales, que pueden ser de pared o de techo. Versión 2.0 con sus posteriores mejoras.



3. La aplicación del micro hormigón mediante la proyección o gunitado por vía húmeda, mediante bombas enfoscadoras continuas a tornillo o a pistón. Version 3.0 con sus posteriores mejoras.



Describiré a continuación la aplicación del micro hormigón mediante el vertido de micro hormigón en un sistema adecuado de encofrados. Con

Micro Hormigón Auto compactante con el que puede realizarse un llenado de 35 mm de espesor.



En el presente artículo será desarrollado íntegramente el procedimiento de encofrado, que ha sido comprobado durante la campaña realizada en la ciudad de Koprivnica, Croacia a solicitud de la empresa AGER PHARIA d.o.o. durante los días 12 al 22 de noviembre del 2013 sobre una vivienda de 72,24 m2 con 3 dormitorios y 2 baños.



La dotación de personal necesario para ésta prueba ha sido de 6 operarios. Los trabajos se organizaron de la siguiente manera:

1- Replanteo de muros y tabiquerías sobre losa de cimentación



Duración de la tarea: 3 horas
Cantidad de personal: 2 operarios
Total: 2 x 3 hh = 6 hh

(6 hh acumuladas)

2- Colocación de esperas (barras de montaje)



Duración de la tarea: 3 horas
Cantidad de personal: 2 operarios
Total: 2 x 3 hh = 6 hh

(12 hh acumuladas)

3- Montaje de paneles de muros



Duración de la tarea: 8 horas
Cantidad de personal: 4 operarios
Total: 4 x 8 hh = 32 hh

(44 hh acumuladas)

4- Colocación de separadores de hormigón para formar la cámara



Duración de la tarea: 6 horas
Cantidad de personal: 1 operarios
Total: 1 x 6 hh = 6 hh

(50 hh acumuladas)

5- Colocación de pre cercos de puertas y ventanas



Duración de la tarea: 4 horas

Cantidad de personal: 2 operarios

Total: 2 x 4 hh = 8 hh

(58 hh acumuladas)

6- Colocación de conductos de fontanería y electricidad





Duración de la tarea: 10 horas
Cantidad de personal: 2 operarios
Total: 2 x 10 hh = 20 hh

(78 hh acumuladas)

7- Montaje de encofrados de muros





Duración de la tarea: 10 horas
 Cantidad de personal: 6 operarios
 Total: 6 x 10 hh = 60 hh

(138 hh acumuladas)

8- Llenado de muros



Duración de la tarea: 6 horas
Cantidad de personal: 4 operarios
Total: 4 x 6 hh = 24 hh

(162 hh acumuladas)

9- Desencofrado de muros



Duración de la tarea: 5 horas
 Cantidad de personal: 4 operarios
 Total: 4 x 5 hh = 20 hh

(182 hh acumuladas)

10- Montaje de encofrado de forjado



Duración de la tarea: 10 horas
 Cantidad de personal: 4 operarios
 Total: 4 x 10 hh = 40 hh

(222 hh acumuladas)

11- Vertido cara inferior panel + colocación panel forjado + instalac. electrica



Duración de la tarea: 8 horas

Cantidad de personal: 4 operarios

Total: 4 x 8 hh = 32 hh

(254 hh acumuladas)

12- Vertido de la capa de compresión sobre el forjado



Duración de la tarea: 4 horas
Cantidad de personal: 4 operarios
Total: 4 x 4 hh = 16 hh

(270 hh acumuladas)

13- Desmontaje encofrado de forjado



Duración de la tarea: 4 horas
Cantidad de personal: 4 operarios
Total: 4 x 4 hh = 16 hh

(286 hh acumuladas)

3- OBTENCION DE RENDIMIENTOS TOTALES DE LA MANO DE OBRA Y EXTRAPOLACIÓN DE RESULTADOS

La vivienda prototipo construida presenta las siguientes mediciones:

Superficie de muros =	141,35 m ²
Superficie de techo =	72,24 m ²
Total de superficie de paneles =	213,59 m ²

La sumatoria de las 13 tareas ilustradas en el punto 2 nos lleva a que la carga total de trabajo de nuestra tecnología aplicada a una vivienda unifamiliar como la descrita requiere de un total de 286 horas-hombre. El índice de consumo de mano de obra por unidad de superficie construida es:

Consumo total Mano de obra = 286 hh/72,24 M² = 3,96 hh/M²

Carga de Mano de obra gris =	260 hh
Carga de Mano de obra pre instalaciones =	26 hh
Carga total de Mano de obra c/instalaciones =	286 hh

Cálculo de rendimientos de Mano de obra

Rt (Rendimiento mano de obra total sobre superficie paneles) = 286 / 213,59
(incluye trabajos de preinstalación de fontanería y electricidad)

Rt = 1,34 hh/m² panel con pre-instalaciones

El rendimiento con que siempre se ha caracterizado el sistema constructivo, se ha medido siempre sin tomar en cuenta los tiempos requeridos para ejecutar las pre instalaciones de fontanería y electricidad, dado que las mismas pueden ser muy variables según cada tipo de proyecto y además estas tareas son realizadas por contratas separadas de la ejecución de del sistema constructivo.

En el caso de la vivienda analizada, éste valor tan importante para caracterizar la velocidad y por ende la eficacia del sistema **mZtec** arroja el siguiente resultado:

Rp (Rendimiento mano de obra solo sistema constructivo) = 260 / 213,59

Rp = 1,217 hh/m² panel
--

La utilización del sistema de encofrados permite una gran reducción en los tiempos de ejecución cuando lo comparamos con el hormigonado mediante proyección neumática.

Una vivienda individual similar al prototipo pero realizada mediante proyección tiene un rendimiento de la mano de obra Rp de por lo menos 2,80 a 3,00 hh/m² de panel. Entonces con este prototipo se demuestra que la carga de trabajo se reduce en mas del **58%**, con la enorme ventaja que los acabados quedan perfectos, y no se requiere de mano de obra especializada para lograr enfoscados de calidad. Los acabados que deja el encofrado son imposibles de lograr por medios manuales.

Otra gran ventaja del encofrado es que el curado del micro hormigón es perfecto, evitandose la desecación superficial que favorece la formación de micro fisuras de contracción.

El aplomado y las escuadras resultan perfectas.

Los huecos de puertas y ventanas quedan completamente terminados con unas guarniciones exactas y de acabado ideal que no puede lograrse con la tecnica del enfoscado.

Las superficies terminadas quedan listas para pintar.



Considerando los tiempos parciales de ejecución de las 13 tareas en las que hemos desagregado el tiempo total empleado, obtendremos el siguiente cuadro en el que se pueden apreciar los prorrateos de tiempos de actividades en la superficie total de paneles de muros y forjados.

Nº	ACTIVIDAD	HH	HH ACUM	R (hh/m²)
1	REPLANTEO DE MUROS	6	6	0,03
2	COLOCACION DE ESPERAS	6	12	0,06
3	MONTAJE MUROS	32	44	0,21
4	COLOCACION DE SEPARADORES	6	50	0,23
5	COLOCACION DE PRECERCOS PUERTAS/VENTANAS	8	58	0,27
6	PRE INSTALACIONES	20	78	0,37
7	MONTAJE ENCOFRADO DE MUROS	60	138	0,65
8	LLENADO DE MUROS	24	162	0,76
9	DESENCOFRADO	20	182	0,85
10	MONTAJE ENCOFRADO DE FORJADOS	40	222	1,04
11	VERTIDO CAPA INFERIOR/COLOCACION PANEL FORJADO	32	254	1,19
12	VERTIDO CAPA DE COMPRESION FORJADO	16	270	1,26
13	DESMONTAJE ENCOFRADO FORJADO	16	286	1,34

Para poder extrapolar los resultados a otras tipologías de viviendas deberemos considerar cuatro grandes actividades a saber:

- Montar los paneles de muros
- Hormigonar los paneles de muros
- Montar los forjados
- Hormigonar los forjados

Y calcular los rendimientos de estas tareas en relación a las superficies de muros y forjados separadamente. Así resultarían los siguientes cuadros:

tareas sobre MONTAJE 141,35 m2 de MUROS				
1	REPLANTEO DE MUROS	6	6	0,04
2	COLOCACION DE ESPERAS	6	12	0,08
3	MONTAJE MUROS	32	44	0,31
4	COLOCACION DE SEPARADORES	6	50	0,35
5	COLOCACION DE PRECERCOS PUERTAS/VENTANAS	8	58	0,41

tareas sobre HORMIGONADO 141,35 m2 de MUROS				
7	MONTAJE ENCOFRADO DE MUROS	60	60	0,42
8	LLENADO DE MUROS	24	84	0,59
9	DESENCOFRADO	20	104	0,74

tareas sobre MONTAJE 72,24 m2 de FORJADOS				
10	MONTAJE ENCOFRADO DE FORJADOS	40	40	0,55

tareas sobre HORMIGONADO 72,24 m2 de FORJADOS				
11	VERTIDO CAPA INFERIOR/COLOCACION PANEL FORJADO	32	32	0,44
12	VERTIDO CAPA DE COMPRESION FORJADO	16	48	0,66
13	DESMONTAJE ENCOFRADO FORJADO	16	64	0,89

De ésta forma los rendimientos parciales de cada una de las cuatro grandes actividades señaladas serían:

A	MONTAJE DE MUROS	0,41
B	HORMIGONADO DE MUROS	0,74
C	MONTAJE DE FORJADOS	0,55
D	HORMIGONADO DE FORJADOS	0,89

Con esto queremos decir que los coeficientes de rendimiento de tareas parciales tanto para muros como para forjados estan representados por los indices dados en el cuadro anterior y estan expresados en horas-hombre (HH) por unidad de superficie ya sea de muros como de forjados.

Esta clasificación de los tiempos permite extrapolar a otros casos con mayor o menor superficie de muros en comparación con la de forjados.

Para el caso de viviendas de mas de una sola planta, deberiamos considerar un rendimiento diferente para las tareas de montaje de la cara exterior del encofrado de las fachadas, pero esto será objeto de otro trabajo.

Aplicando los valores obtenidos para ejemplificar la demanda de Mano de obra en los dos modelos principales de vivienda unifamiliar de un programa de viviendas unifamiliares estudiado para Accra, Ghana, City of Lights resultaría:

MODELO	MUROS (m ²)	FORJADOS (m ²)	HH/m ² MUROS	HH MUROS	HH/m ² TECHO	HH TECHOS	HH TOTALES	HH/m ²
Tipo 1	238,73	106,05	1,15	273,61	1,44	152,67	426,28	1,24
Tipo 2	189,73	86,73	1,15	217,45	1,44	124,86	342,31	1,24

Los rendimientos de tareas permiten calcular los recursos necesarios y el plazo de ejecución de los trabajos. Por supuesto que es importante recordar que los rendimientos de las tareas implican un ciclo continuo.

En el ejemplo del prototipo de vivienda de 72,24 M², se llega a un consumo de mano de obra de 286 HH pero la duración de las tareas en una línea de tiempo no es exactamente igual al cociente entre esas horas y la cantidad de personal; ello dependerá siempre de que exista la continuidad de los ciclos de trabajo, que solamente se da en los programas de viviendas repetitivas en cantidades mayores a 30 unidades.

Para aclarar ésta asunto usaremos el mismo ejemplo del prototipo realizado en Croacia:

Nº de operarios = 6

Horas-hombre disponibles por día = 6 x 8 h = 48 HH

Nº total de horas empleadas = 260 h (sin considerar las instalaciones)

Nº de días (teóricos) = 260 h / 48 h = 5,42 días

Sin embargo, la duración real de las tareas fue de 10 días, por cuanto no se pudo establecer una secuencia de continuidad tratándose de una sola vivienda.

Es muy importante considerar esta cuestión en la interpretación y extrapolación de los resultados.

Cuando se trata de realizar un programa de viviendas con series de muchas repeticiones, es muy importante realizar una organización interna por equipos que se especializan en una dada tarea de las 13 en las que hemos desagregado la actividad total.

De esa forma, cuando por ejemplo, uno de los equipos está desmontando encofrados (tarea Nº 9) puede inmediatamente comenzar a montarlos en la siguiente vivienda disponible (tarea Nº 7).

Lo mismo ocurriría con el equipo que replantea (tarea Nº 1) o con el que coloca las esperas (tarea Nº 2).

Es por ello, que para la realización de 1 unidad individual, los rendimientos en la línea de tiempos pueden conducir a valores entre un 50 y un 70 % mayor que los correspondientes a la ejecución seriada.

La ventaja enorme es que los equipos van especializándose cada vez mas en la actividad que tienen asignada, logrando entonces mejoras apreciables con el correr de las semanas.

4- ESTUDIO TÉCNICO DE LOS SISTEMAS DE ENCOFRADO COMPATIBLES CON **mZtec**

Debemos diferenciar los dos tipos de sistema necesarios para encofrar el panel ya sea de muros como de forjados, ya que la problemática de unos y otros es muy diversa.

Podríamos decir que para resolver los forjados, prácticamente todos los sistemas disponibles son adecuados pero no es así para los muros.

Sistemas de encofrado de muros:

Es muy importante para la mayor compatibilidad con el sistema **mZtec** que los sistemas de encofrado sean preferiblemente manuportables y con piezas de ancho no mayor a 1,00 m para poder colocar con facilidad las barras divididas así como los tubos y conos a través del panel.

El concepto de elementos livianos manuportables coincide con la propia ideología del sistema **mZtec**, que se compone de elementos de muy bajo peso propio que no requieren grúa para su montaje; los módulos de encofrado liviano tienen generalmente piezas con un ancho máximo de 0,90 m y longitud 2,70 m.

Los fabricantes de encofrados LIVIANOS más reconocidos son: ALSINA, PERI, ULMA y DOKA.

Los sistemas manuportables más compatibles con el panel son:

- ALISPLY MANUAL de ALSINA
- COMAIN de ULMA
- HANDSET de PERI
- DOMINÓ de PERI
- FRAMI XLIFE LIGERO de DOKA

Las diferencias técnicas de todos los sistemas mencionados, se basan principalmente en el método de cierre, la robustez de las estructuras de los marcos que en algunos casos puede ser de acero o de aluminio, y el espesor de la capa fenólica de las caras encofrantes.

Las modulaciones de los marcos permiten que se pueda obtener una perfecta adaptación a cualquier clase de proyecto. Sin embargo, es muy importante realizar un diseño arquitectónico que conduzca al menor despiece posible empleándose la mayor cantidad de piezas de la medida modular máxima (0,90 o 1,00 m) y que las piezas especiales de ajuste sean mínimas.

Ello es debido a que el costo por unidad de superficie de los marcos de los distintos sistemas de encofrado es menor cuanto mayor es el tamaño de la pieza.

Para la simplificación de resultados es muy importante que la relación entre los espesores de los distintos tipos de muro que definan el proyecto sean múltiplos entre sí. Las combinaciones 10-15-20-25 son ideales.

Otro aspecto muy importante es que en los proyectos de viviendas masivas, el diseño arquitectónico de las diferentes tipologías sean realizados de manera tal que cada juego de encofrados permita la resolución de cada uno de los distintos modelos. Ello permitirá la optimización de uso de los mismos.

Todos los sistemas mencionados tienen la particularidad de que los marcos pueden disponerse tanto horizontales como verticales; de esa forma por combinación de módulos pueden resolverse una diversidad de alturas de muro que se adapten a las necesidades de diseño de arquitectura.

Una propiedad importante del sistema de encofrados que se elija es que sea autoalineante. Ello permite que con una menor cantidad de elementos auxiliares las alineaciones de muros sean perfectas. Esta característica depende a su vez del ancho del marco y del sistema de cierre.

El uso de sistemas de encofrados para muros no modifica sustancialmente la metodología de montaje del sistema de paneles y por lo tanto no se altera en nada las recomendaciones de los documentos de aptitud técnica que cada marca de panel posea. No se requieren refuerzos especiales ni hace falta ninguna clase de macizados que no responda al propio cálculo estructural.

El montaje de paneles debe ser realizado de tal manera, que permita que el encofrado realice el trabajo de alineación y aplomado correspondiente.

Las instrucciones de montaje de los muros forman una parte indispensable del sistema **mZtec** versión 4.1 tanto en las recomendaciones de unión de paneles como en la posición y distribución de los separadores de cámara de llenado.

Las capacidades encofrantes se miden en el valor de la presión que pueden resistir, con la menor cantidad de herrajes necesarios. Estos valores de presión están entre 60 y 100 kN/m².

En el cálculo de presiones de encofraje, los fabricantes de los diversos sistemas consideran que la densidad del hormigón fresco es de 20 kN/m³. Con esto, la altura de carga de hormigón en los encofrados estaría comprendida entre 3 y 3,50 m, dado que en general están diseñados para resistir una presión de 60 kN/m².

La cantidad de usos de la capa encofrante se considera que normalmente permite 50 a 60 usos por cada cara. Es decir, que con 1 juego se pueden realizar entre 100 y 120 repeticiones antes de requerirse el cambio de la placa fenólica.

En nuestro sistema constructivo, y dado el alto contenido de cemento que posee el micro-hormigón, la densidad del material fresco disminuye a 16 kN/m³. Por otra parte el empuje horizontal del material en estado fresco no responde a la ecuación $p = \gamma \times h$ debido a la influencia del mallazo de acero que genera una superficie muy friccionante. Todo ello hace que la presión de confinamiento del encofrado es bastante menor que la que presenta el hormigón tradicional y alcanza valores de 38-40 kN/m² para una altura de 3 a 3,50 m.

Esto significa que la presión al encofrar nuestro panel resulta un 30-35% inferior a la presión de diseño del Hormigón fresco en los encofrados.

Esta circunstancia sumada al hecho de la ausencia de árido grueso en el micro Hormigón que se emplea con el sistema **mZtec** se traduce indudablemente en que el número de repeticiones posibles por cada cara de fenólico pueda llegar a valores de 120 repeticiones por cara encofrante, es decir 240 totales sin necesidad de cambiar los fenólicos.

Sistemas de encofrado de forjados:

En este punto existe muchos sistemas que son perfectamente adecuados al panel cuando se trata de la ejecución de forjados.

Los mas conocidos son:

- MECANOFLEX de ALSINA
- RAPID de ULMA
- STENMIX de STEN
- STENJET de STEN
- DOKADECK de DOKA

Básicamente se trata de un sistema de vigas modulares porta sopandas y sopandas que forman un entramado apoyado en puntales sobre los que se dispone el tablero fenólico.

Las diferencias entre los sistemas se basan en la facilidad de montaje y ensamblado de las piezas que conforman la estructura sosten de los tableros.

Lo importante es la secuencia metodológica para realizar los forjados del sistema de paneles, que resumidamente consiste en:

- a. Montaje del sistema de encofrados
- b. Vertido de la capa inferior de micro Hormigón sobre el tablero
- c. Colocación del panel previo montaje de los separadores en la cara inferior

Los paneles que conforman el forjado se sumergirán en la capa de micro hormigón vertida sobre el tablero hasta la profundidad demarcada por la altura de los separadores de cámara.

Las mallas de solape del panel que quedan por debajo no se pueden atar entre sí, pero ello no tiene ninguna importancia dado que el empalme entre las mismas es por simple yuxtaposición. Es por ello que resulta muy importante que los paneles tengan bien alineados estos solapes antes de colocarlos, y que los separadores se ubiquen convenientemente para que mantengan an posición a los mismos.

La tarea de colocación del panel es simultánea al del vertido de la capa inferior de micro Hormigón.

Finalmente se realizará el vertido de la capa de compresión.

Es importante que tanto en los muros como en los forjados, sean realizadas las instalaciones de fontanería y electricidad y que las cajas universales de luz estén colocadas en su posición correspondiente antes del llenado de muros o vertido en forjados.

Deberá existir una perfecta coordinación entre los montadores de paneles y los gremios de instalaciones, dado que una vez montados los muros no quedará mucho tiempo antes de que el encofrado quede totalmente cerrado. Con mayor coordinación deberán realizarse las tareas en las operaciones de forjado dado que la colocación y el vertido de micro Hormigón de la cara inferior es simultáneo.

Todos los sistema de encofrado para forjados son livianos y por lo tanto no se requiere uso de grua.

5- REPERCUSIÓN Y ECONOMÍA POR USO DE ENCOFRADO EN EL SISTEMA **mZtec**

El costo promedio en España del tablero fenólico de 15 mm es de 17,50 €/m². Con este valor se calculara el costo de las repeticiones posteriores a los 240 usos y sus múltiplos enteros.

Para ver la repercusión que un sistema de encofrados tiene en un proyecto de viviendas masivas, se ilustrará con un caso de 960 viviendas a ejecutarse en un plazo de 16 meses: 2 viviendas al día.

La hipotesis de trabajo será que el costo de construcción total de las viviendas sea de 450 €/M² de los cuales 260 €/M² correspondan a la obra gris y 240 €/M² correspondan a la obra blanca.

Con estos valores surgen los siguientes cuadros:

TIPO 1	C.UNITARIO	SUPERFICIE	TOTALES
COSTO TOTAL CONSTRUCCIÓN	450	106,05	47.723
OBRA GRIS	260	106,05	27.573
OBRA BLANCA	190	106,05	20.150

TIPO 2	C.UNITARIO	SUPERFICIE	TOTALES
COSTO TOTAL CONSTRUCCIÓN	450	86,73	39.029
OBRA GRIS	260	86,73	22.550
OBRA BLANCA	190	86,73	16.479

Se hipotiza tambien que el costo de los encofrados sea de:

	C.UNITARIO	SUPERFICIE	TOTALES
ENCOF. MURO	195	477,46	93.105
ENCOF. FORJADO	45	192,78	8.675
			101.780

La mano de obra gris para la construcción de este conjunto es:

		HH/viv.	HH
Tipo 1	480	426	50.904
Tipo 2	480	342	41.630
totales	960		92.534

Calculamos a continuación la dotación de personal necesario:

Plazo total	16	meses
Plazo O.gris (85%)	13,60	meses
Demanda HH/mes	6.804	HH/mes
Demanda HH/día	283,50	HH/día
Nº operarios/equipo	6	hombres
Nº operarios	35,44	hombres
redondeo operarios	36	hombres
Nº equipos	6,00	equipos
redondeo equipos	6	equipos
Dotación:	36	hombres

Cada uno de los 6 equipos integrados por 6 personas tendran un juego de encofrados que les permitirá realizar indistintamente una vivienda tipo 1 o tipo 2 en forma consecutiva, no simultánea. Por lo tanto la cantidad de juegos de encofrado necesarios para el plazo de 16 meses es de 6.

Con lo que finalmente resultaría que la repercusión del costo de implementar la solución de encofrar el sistema **mZtec** repercute en menos del 1,5% del costo de ejecución total de las obras, y el 2,54% medido sobre el costo de ejecución de la obra gris de las 960 unidades.

costo total obras	41.640.480
costo obra gris	24.058.944
costo encofrados	610.679
reperc. sobre costo total	1,47%
reperc. sobre obra gris	2,54%

Si consideramos los costos de Mano de obra y micro Hormigón en España, la economía de costos de la aplicación del sistema mZtec versión 4.1 encofrada, respecto de las versiones de proyección neumática está indicada en el siguiente cuadro:

ESTUDIO ECONOMÍA POR USO DE ENCOFRADOS		
Costo unitario Mano de Obra	10	€/HH
Rendimiento medio M.de O. gris mediante proyectado	2,2	HH/m2
Desperdicio % de micro Hormigón en proyectado	3%	
Costo unitario micro Hormigón	45	€/Ton
Cantidad total de micro Hormigón	41.335	Ton
Superficie total de paneles (muros y forjados)	298.195	m2
Ahorro en HH de mano de Obra gris	563.495	HH
Ahorro en micro Hormigón	1.240	Ton
Ahorro en M. de O. limpieza y traslado desperdicio	9.921	HH
Ahorro Mano de O. gris + materiales + limpieza	5.789.958	€
Repercusión de la economía neta sobre costo obra gris	24,07%	

Esta economía está integrada por 3 factores a saber:

- 1- Reducción sustancial de la mano de obra
- 2- Se evita el desperdicio de micro Hormigón característico del método de proyección por material que cae al suelo.
- 3- A raíz de esto último, se evita la limpieza de obra consistente en la recogida del material, su acopio, transporte a vertedero y tasas.

Tal co mo se aprecia en el cuadro anterior, esta economía resulta muy importante.

En países donde el valor de la mano de obra es mas bajo, continua siendo importante la economía resultante del empleo de la versión 4.1 según puede apreciarse en el cuadro que sigue:

ESTUDIO ECONOMÍA POR USO DE ENCOFRADOS		
Costo unitario Mano de Obra	4	€/HH
Rendimiento medio M.de O. gris mediante proyectado	2,2	HH/m2
Desperdicio % de micro Hormigón en proyectado	3%	
Costo unitario micro Hormigón	45	€/Ton
Cantidad total de micro Hormigón	41.335	Ton
Superficie total de paneles (muros y forjados)	298.195	m2
Ahorro en HH de mano de Obra gris	563.495	HH
Ahorro en micro Hormigón	1.240	Ton
Ahorro en M. de O. limpieza y traslado desperdicio	9.921	HH
Ahorro Mano de O. gris + materiales + limpieza	2.349.465	€
Repercusión de la economía neta sobre costo obra gris	9,77%	



Tal como puede observarse, la economía resultante en éste caso supera 3,8 veces la inversión en los conjuntos de encofrados.

Todo ello con las enormes ventajas señaladas anteriormente en cuanto a calidad final de la construcción, y sin requerirse alta cualificación del personal para realizar los acabados.

La versión 4.1 del sistema **mZtec** garantiza la ausencia de todo tipo de patologías asociadas a la contracción de fragüe.

6- MEJORAS EN LA VERSIÓN 4.1

En ésta versión se ha mejorado el plan de distribución de los separadores para formar la cámara de llenado, lograndose un recubrimiento del panel homogéneo.

Se ha incorporado la posibilidad de empleo de micro hormigón blanco con separadores de cámara del mismo color.

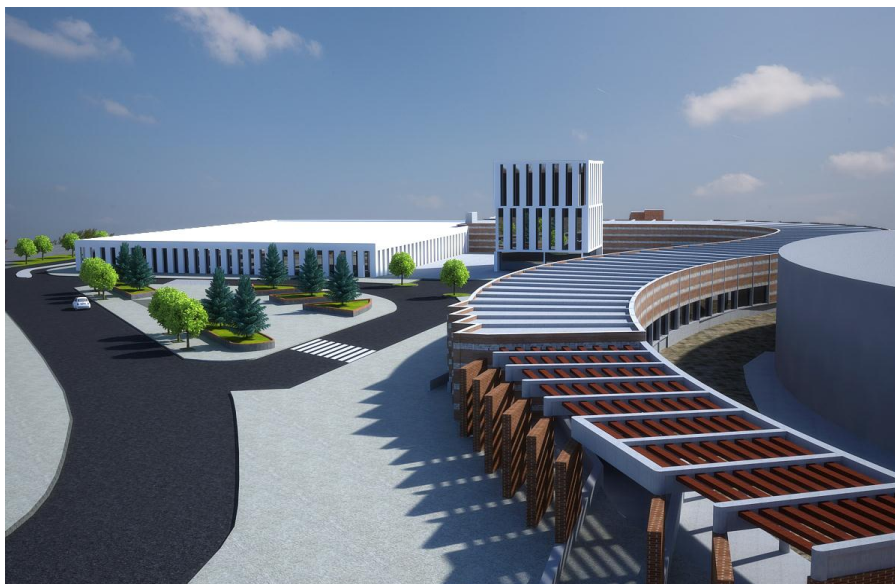
Se ha mejorado la dosificación del micro hormigón para lograr una mayor fluidificación del micro Hormigón, que no se desagrega aún, en llenados desde 5,00 m de altura.

La compacidad del material es tan grande que no aparecen fisuras con espesores ultra delgados (menores a 5 mm).

La dosificación presenta muy alta resistencia inicial y con ello producir elementos prefabricados que pueden izarse a las 24 horas de moldeados.

Esto permite diseñar con el sistema **mZtec** una planta de pre-fabricados a pié de obra, con lo cual se evita el costo del traslado de piezas de gran tamaño.

Para el Proyecto de la CIUDAD DE LA SEGURIDAD DE MADRID, que está construyendo la UTE FERNANDEZ MOLINA OBRAS Y SERVICIOS – EDHINOR se ha optado por utilizar esta tecnología para obtener la imagen arquitectónica siguiente:



A continuación se verá la secuencia de ejecución de pilares y vigas en micro Hormigón blanco mediante la versión 4.1 con altura de llenado de 5,00 m:

