

Utilización de mallas de polipropileno como refuerzo de morteros en la elaboración de paneles de cerramiento

Libia Solangel Mejías
Idalberto Águila

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción.
Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Central de Venezuela

Resumen

Este trabajo muestra el resultado de una investigación cuyo objetivo es evaluar la factibilidad técnica de producir paneles de cerramiento a partir de mortero reforzado con mallas de plástico. La utilización de la malla persigue resolver los problemas de fragilidad y baja resistencia a la flexión de los morteros de cemento que limitan la producción de componentes constructivos delgados, sin que fallen de forma brusca. El estudio en varios ensayos de laboratorio que permiten determinar el comportamiento de un grupo de paneles ante esfuerzos de compresión, flexión e impacto. Los resultados muestran que es factible la producción de paneles de cerramiento con esta tecnología, no así de paneles portantes pues, a pesar de que la resistencia a compresión es elevada, su comportamiento ante esfuerzos de flexión e impacto resultan insuficientes. Para mejorar el comportamiento se recomienda evaluar la posibilidad de producir paneles portantes utilizando mallas más resistentes.

Abstract

This work shows the result of a research aimed to assess the technical feasibility of producing panels of enclosure from mortar reinforced with plastic nets. The use of the plastic mesh aims to solve the problem of the fragility and the low flexural strength of cement mortars that preclude the production of thin building components, while breaking suddenly. The study is based on laboratory tests that allow the behaviour of a group of panels before compression, bending and impact efforts. The results show that the production of panels of walls with this technology, not panels supporting because, while the resistance to compression of the components is high, its behavior before efforts of bending and impact loads are insufficient is feasible. To obtain a better performance is recommended to assess the possibility of producing roof panels using more resistant mesh.

El American Concrete Institute (ACI, 1989) define el ferrocemento, como una forma de concreto reforzado usando múltiples capas muy cercanas de malla y/o diámetros pequeños de barras completamente infiltradas de mortero. El tipo de refuerzo más común es la malla de acero. Otros materiales orgánicos, naturales o sintéticos, pueden ser utilizados combinados con las mallas de acero, o incluso se puede sustituir total o parcialmente el refuerzo de acero por mallas sintéticas. Igualmente el ACI explica que el ferrocemento tiene una característica única que es su gran elasticidad y resistencia a grietas, dadas por la naturaleza del refuerzo y el mortero y por la subdivisión y distribución del refuerzo (ACI, 1997).

Entre las ventajas del uso de la malla de acero, Wainshtok (1992) destaca su resistencia al agrietamiento, la facilidad de reparación, la poca necesidad de mantenimiento y su bajo costo, lo cual lo ha hecho factible de utilizar en numerosas aplicaciones como: barcos, canales, viviendas, tanques de agua, silos, piscinas, elementos ornamentales, etc.

Partiendo del principio de que el ferrocemento es un tipo delgado de pared de concreto reforzado, comúnmente constituido por mortero hidráulico reforzado con capas de mallas de alambre muy cercanas, investigadores de la Universidad de Michigan realizaron un estudio sobre la respuesta de láminas de ferrocemento reforzadas, unas con acero y otras con mallas poliméricas.

Estos investigadores observaron que las mallas de acero pueden ser usadas efectivamente como refuerzo de

Descriptor:

Ferrocemento;
Mortero reforzado; Malla de polipropileno; Panel de pared.

Keywords:

*ferrocement;
Reinforced mortar;
Polypropylene mesh, Panels*

ferrocemento, por los valores de ductilidad y módulo de rotura obtenidos en los ensayos realizados a las láminas. En comparación con las láminas reforzadas con mallas poliméricas, el resultado de los ensayos utilizando mallas de acero fue una reducción significativa de las grietas, previniendo, fisuras durante el ensayo de deflexión y mejorando la resistencia al corte (Wang, Naaman, Li, 2004).

Sin embargo, las láminas elaboradas con refuerzo de mallas poliméricas, si bien resultan peores que las reforzadas con mallas de acero, en lo que respecta a sus características mecánicas y estructurales, muestran un comportamiento que podría ser de utilidad para aplicaciones en la construcción donde estuvieran sometidas a exigencias menores.

En contraposición, por su naturaleza y origen, se pueden presentar las mallas poliméricas como un material más sostenible que las de acero toda vez que, a diferencia de éste, se producen de manera artificial con poco consumo de recursos naturales y además resuelven uno de los principales problemas que tienen los productos a base de acero, que es la corrosión. Por otro lado, el bajo peso del plástico respecto al acero le aporta una ventaja adicional, la cual es bastante notable en el caso del ferrocemento debido a la alta cuantía de refuerzo que caracteriza a este material.

Estas consideraciones motivan el desarrollo de un trabajo como el que se presenta, cuyo objetivo es explorar las posibilidades de producir paneles de cerramiento

de pared a base de láminas delgadas de mortero reforzado con mallas de polipropileno (un tipo de plástico muy utilizado en la actualidad).

Materiales y métodos

Materiales utilizados

Conformación del panel

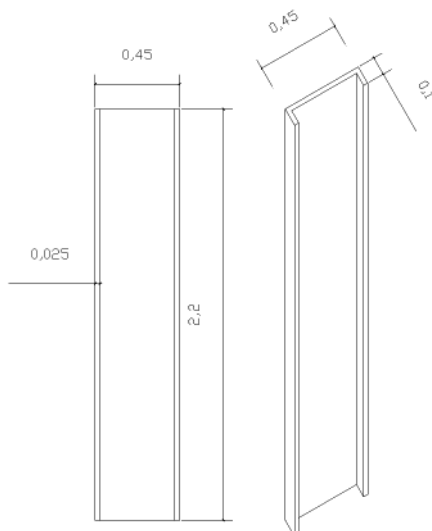
Los paneles poseen un largo de 2,20 m y un ancho de 0,45 m con alas de 0,10 m en ambos lados para lograr una sección transversal en forma de canal (figura 1). El espesor es de 2,5 cm.

Para la fabricación de los paneles se utilizaron moldes de madera (compuesto MDF) utilizando clavos para su conformación y aplicando antiadherente para el momento del vaciado (figura 2).

Los materiales empleados en la elaboración de los paneles son:

- Cemento Portland Tipo I, según norma COVENIN 28.
- Agua potable, libre de materia orgánica.
- Arena lavada.
- Malla de Polipropileno (Pollito BOP), ilustrada en la figura 3.

Figura 1
Molde de MDF



Fuente: elaboración propia.

Figura 2
Molde de MDF



Fuente: elaboración propia.

El mortero para ferrocemento se caracteriza por utilizar cantidades de cemento por unidad de volumen, superiores al concreto y a los morteros tradicionales. El ACI (1989) recomienda, para aplicaciones de ferrocemento se utilice una proporción cemento:arena en peso entre 1:1,5 y 1:2,5, así como una relación agua/cemento igualmente en peso entre 0,35 y 0,50. Wainshtok (1992) y otros autores realizan recomendaciones similares.

En este caso, tomando en cuenta estas experiencias previas, para la elaboración de las muestras se utilizó un mortero con proporción cemento:arena de 1:2 y relación agua/cemento de 0,40. El mezclado se realizó de forma manual hasta obtener uniformidad en la mezcla.

Antes de vaciar el mortero en el molde se aplicó antiadherente a toda la superficie, y se cortaron las mallas de refuerzo de acuerdo a las dimensiones del panel, tomando en cuenta los aleros.

El proceso de conformación del panel se inicia con el vaciado de la primera capa de mortero en la superficie plana y los aleros (figura 4). Luego de esta primera capa se coloca la primera malla en toda la superficie interior del molde, asegurándose su posición dentro de los aleros con mortero, como se muestra en la figura 5.

Una vez colocada la malla, se vacía otra capa de mortero. Dependiendo del número de capas de malla, se colocará determinado número de capas de mortero, tomando en cuenta que siempre se inicia y se culmina con una capa de mortero. Durante el vaciado se aplicaron golpes en los laterales del molde para asegurar la penetración del mortero en los aleros. Después del vaciado, al transcurrir 24 horas, se inicia el proceso de curado con riego de agua en la superficie.

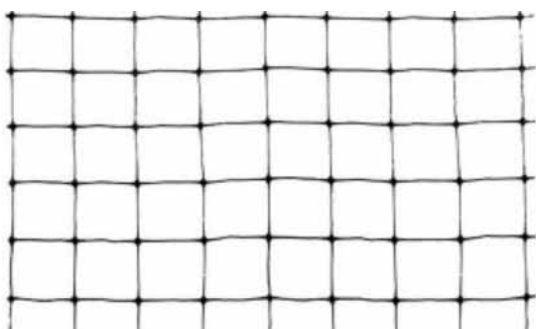
Las herramientas utilizadas en todo el proceso fueron: martillo, tijera, tenaza, cinta métrica de cinco metros de acero, brocha de 4", balanza, pala redonda, cuchara de 6", y tobo plástico de albañil de 10 litros.

Como se puede apreciar, el proceso de elaboración de los paneles es muy artesanal tomando en cuenta que su utilización estaría destinada a procesos de autoconstrucción por personas de bajos recursos. Como consecuencia, la calidad esperada de los componentes sería inferior al caso en que se elaboraran en una planta de prefabricado con mayor control.

Diseño experimental

El diseño experimental contó con una primera fase de caracterización de los materiales y una segunda fase de comprobación del comportamiento mecánico del panel,

Figura 3
Malla de polipropileno



Fuente: elaboración propia.

Figura 4
Aplicación de la primera capa de mortero



Fuente: elaboración propia.

Figura 5
Aplicación de la primera capa de malla



Fuente: elaboración propia.

ante esfuerzos de flexión, compresión e impacto. Todos los ensayos fueron realizados en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la UCV.

Caracterización de los materiales

a) *Caracterización de la arena, donde se realizaron tres ensayos:*

Análisis granulométrico. Se realizó según la norma COVENIN 255 definiéndose por tamizado la distribución de los tamaños de las partículas del agregado fino utilizado.

Peso unitario suelto. Se determinó utilizando un recipiente metálico de peso y capacidad conocida el cual se llenó de arena vaciándola con una pala y enrasándola sin compactar. Pesando el recipiente lleno y con su capacidad se obtuvo el peso unitario suelto.

Peso unitario compactado. Utilizando la norma COVENIN 263 y con un procedimiento similar al ensayo anterior se determinó el peso unitario compactado, con la sola diferencia que el recipiente metálico se llenó de arena en tres capas, cada una de las cuales se compactó mediante veinticinco golpes, distribuidos uniformemente sobre la superficie, de una barra recta de acero.

b) *Ensayo de compresión de cilindros de mortero.*

Se realizó con base en la norma COVENIN 338:2002. Los cilindros se elaboraron en moldes cilíndricos de 30 cm de alto y 15 cm de diámetro, relleniéndose en tres capas de mortero cada una de las cuales recibió 25 golpes con una barra de acero para su compactación. A las 24 horas se sacaron las probetas del molde introduciéndose en agua para el curado y a los 28 días se rompieron en la máquina de ensayo para determinar la resistencia a compresión del mortero utilizado.

Figura 6
Malla de PP preparada para el ensayo



Fuente: elaboración propia.

c) *Ensayo de tracción de mallas.*

Se utilizó una prensa horizontal de ensayo marca AMSLER de 1000 kgf de capacidad. Se ensayaron tres trozos de malla de 25 cm de longitud y el ancho correspondiente a dos celdas (tres hilos longitudinales), los cuales se colocaron entre las mordazas de la prensa y fueron sometidos a esfuerzos de tracción crecientes a velocidad constante hasta llegar a la carga máxima de falla (figura 6).

Comportamiento mecánico del panel

La segunda fase experimental contempla la comprobación del comportamiento mecánico del panel, ante esfuerzos de flexión, compresión e impacto. Para este propósito se elaboraron dos muestras diferenciadas entre sí por el número de mallas, como se describe en el cuadro 1.

Para ambas muestras se previeron los ensayos de resistencia a compresión y resistencia a flexión según la norma ASTM E 72-05, en tanto que para la muestra 2 se previó además el ensayo de resistencia al impacto aplicando la norma ASTM E 695. En cada ensayo se utilizaron tres especímenes por muestra. El resultado de los tres especímenes de cada muestra se promedió para obtener el valor final de la muestra. El cuadro 2 detalla las muestras y los ensayos realizados.

Cuadro 1
Detalles de las muestras ensayadas

Muestra	Número de capas de refuerzo
1	2
2	3

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 2
Tipos de ensayos aplicados a los paneles

Muestra	Cantidad de especímenes	Tipo de ensayo
1	3	Flexión
1	3	Compresión
2	3	Flexión
2	3	Compresión
2	3	Impacto

Fuente: elaboración propia.

Ensayo de Resistencia a la flexión de paneles

El ensayo de resistencia a la flexión se realizó colocando el panel en posición horizontal sobre dos apoyos ubicados a un tercio de la luz y aplicando una carga uniformemente distribuida en la dirección perpendicular a su plano (figura 7).

Ensayo de resistencia a la compresión de paneles

El ensayo de resistencia a la compresión es realizado igualmente a las muestras 1 y 2. El ensayo consiste en la colocación del espécimen en forma vertical en la máquina de ensayo, aplicando la carga verticalmente desde su parte superior, hasta obtener la falla del mismo (figura 8).

Ensayo de resistencia al impacto

El ensayo de impacto se realizó solo para la muestra 2, con un total de tres especímenes. Durante el ensayo se utilizaron dos barras metálicas de soporte de los especí-

menes, un manómetro, y una carga de 27,200 Kg que fue suspendida y dejada caer sobre la superficie lisa, a veinticinco centímetros del espécimen a ensayar.

Resultados y discusión

Caracterización de los materiales

a) Caracterización de la arena.

Análisis granulométrico. El cuadro 3 muestra los resultados del ensayo granulométrico de la arena. Cuando se compara el porcentaje que pasa cada tamiz con los límites máximo y mínimo que establece la norma COVENIN 255 (figura 9) se nota que, excepto para el tamiz N° 3, donde el porcentaje de arena que pasa está ligeramente por debajo del límite, para los demás tamices el porcentaje que pasa cumple con los parámetros establecidos por la

Figura 7
Ensayo a flexión



Fuente: elaboración propia.

Figura 8
Ensayo a compresión



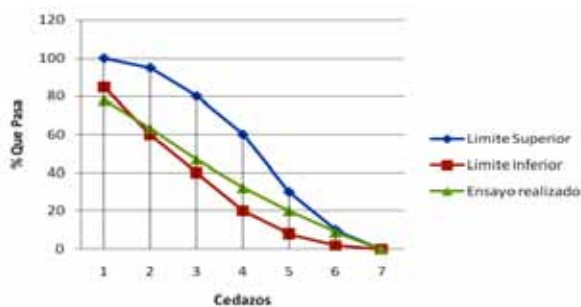
Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3
Análisis granulométrico

Cedazo	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Pasa
4,76 mm (# 4)	108,1	21,8	78,2
2,38 mm (# 8)	74,9	15,1	63,1
1,19 mm (#16)	81,1	16,3	46,8
595 μ (# 30)	72,3	14,6	32,2
297 μ (# 50)	59,4	11,9	20,03
149 μ (# 100)	56,8	11,4	8,9
Fondo	44,0	8,9	0
Suma= 496,60		Suma= 100,00	

Fuente: elaboración propia.

Figura 9
Gráfico del ensayo granulométrico



Fuente: elaboración propia.

norma. Si no totalmente, la arena cumple en gran medida con la norma correspondiente y como tal es aceptada para la realización de la evaluación experimental.

Peso unitario suelto y peso unitario compactado. El cuadro 4 muestra los pesos unitarios de la arena, el suelto de 1,29 Kg/dm³ y el compactado de 1,61 Kg/dm³.

b) Ensayo de compresión de cilindros de mortero.

El ensayo a compresión de los cilindros evidencia la buena capacidad del mortero al soportar cargas, con un promedio de 231,33 Kgf/cm². El cuadro 5 muestra los resultados de este ensayo donde se evidencia que este mortero es adecuado para la elaboración de componentes de ferrocemento con él.

c) Ensayo de tracción de mallas:

El cuadro 6 muestra que La carga soportada resultó ser muy baja. Lógicamente, el plástico posee una resistencia a la tracción muy inferior al acero, sin embargo, para futuras pruebas se podrían utilizar mallas de plástico de hilos más gruesos pudiendo esperar que los componentes elaborados con ellas tengan mejor comportamiento mecánico.

d) Ensayo de flexión de paneles de concreto reforzado con mallas de plástico:

La carga de flexión máxima soportada es ligeramente superior a 60 kgf, ver cuadro 7. No se aprecian mayores diferencias entre ambas muestras, siendo solo ligeramente superior para la muestra 1, con dos capas de mallas. Sin embargo la muestra 2, con tres capas de mallas, posee

Cuadro 4
Resultado de los ensayos de los pesos suelto y compactado del agregado fino

Peso Unitario suelto y Peso Unitario Compactado (agregado fino)	
Volumen del recipiente	2.858 dm ³
Peso de la muestra suelta	3.700 Kg
Peso unitario suelto	1,29 Kg/dm³
Peso de la muestra compactada	4.600 Kg
Peso unitario compactado	1,61 Kg/dm³

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 5
Resultados de ensayo de compresión de cilindros de mortero

Cilindro	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga Máx. (Kgf)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)
1	11,0	15	30	43.000	243
2	11,2	15	30	38.600	218
3	11,2	15	30	41.200	233

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 6
Resultados de ensayo de tracción de mallas

Trozo de malla	Carga máxima (kgf)
1	16,4
2	12,7
3	6,5

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 7
Resultados del ensayo a flexión

Muestras	Nº de capas	Carga máxima (kgf)	Flecha máxima (mm)
1.1	2	100	0,65
1.2	2	50	0,85
1.3	2	40	0,47
Promedio muestra 1	2	63,33	0,66
1.1	3	75	1,24
1.2	3	50	1,44
1.3	3	60	1,95
Promedio muestra 2	3	61,66	1,54

Fuente: elaboración propia.

una flecha máxima muy superior a la de la muestra 1, lo cual indica un comportamiento más dúctil del componente. Esto se debe a que al tener una malla de refuerzo más se logra un refuerzo mejor repartido en toda la masa del mortero. En todos los casos los valores de resistencia son bajos debido fundamentalmente a la debilidad de la malla utilizada. Si se requiere que los paneles puedan ser portantes se debe modificar el tipo de malla. Igualmente pueden haber influido algunos problemas en la elaboración de los paneles donde los moldes de madera utilizados sufrieron deformaciones con el vaciado que afectaron la calidad de los componentes. Además, durante el desencofre aparecieron algunas grietas que pudieron tener algún efecto negativo durante los ensayos de flexión y de impacto. Estas deficiencias, propias de una producción muy artesanal, además provocan una dispersión importante entre los resultados de los diferentes especímenes de una misma muestra.

e) Ensayo de compresión de paneles de concreto reforzado con mallas de plástico:

En el cuadro 8 se observa que cada panel es capaz de soportar una carga considerable, superior a 8.000 kg, lo cual está dado fundamentalmente por las características del mortero y por la forma acanalada de las piezas. Aquí la malla no tiene mayor influencia.

f) Ensayo de impacto de paneles de concreto reforzado con mallas de plástico:

El ensayo de impacto fue realizado a la muestra 2, por tener mejor comportamiento mecánico en los ensayos de flexión y compresión. Los resultados se reflejan en el cuadro 9, mostrando similitud en el comportamiento de cada uno de los 3 especímenes de la muestra, los cuales experimentan el fallo por el impacto de una energía de 6,1 kg-m.

El panel ensayado experimenta el fallo para una energía de impacto de 6,1 kg-m, lo cual si bien es bajo indica que la malla de plástico contribuye a disminuir la fragilidad del concreto.

Conclusiones

Los resultados del trabajo muestran que la utilización de mallas de plástico como refuerzo de componentes constructivos, que no posean una gran responsabilidad estructural, es una posibilidad interesante.

El estudio de resistencia a compresión ofrece unos desempeños muy buenos por parte de los paneles, independientemente de la cantidad de mallas de refuerzo, al ser capaces de soportar, cada uno de los especímenes ensayados, más de 8.000 kg. Ante cargas verticales están aptos incluso para ser utilizados como paredes portantes.

En el ensayo de flexión el desempeño es muy inferior. En este caso el aporte de la malla de refuerzo es más importante y los valores de resistencia a flexión obtenidos no garantizan un comportamiento seguro ante cargas laterales como por ejemplo la carga sísmica. El ensayo se realizó con cargas laterales aplicadas en dirección transversal a la superficie mayor del panel. Aunque se puede esperar mejor comportamiento ante cargas aplicadas en el mismo plano del panel el resultado anterior ya denota un aporte insuficiente de las mallas de refuerzo. Igualmente el ensayo de impacto muestra resultados bastante bajos lo que reafirma que con esa configuración y refuerzo no se pueden utilizar los paneles en paredes portantes.

Sin embargo, el propio ensayo de flexión, además de los valores de resistencia a flexión arrojados, muestra que los paneles poseen comportamientos mucho más dúctiles cuando poseen mallas de plástico como refuerzo, lo

Cuadro 8
Resultado de ensayo a compresión

Muestras	Nº de capas	Carga máxima (kgf)
1.1	2	21.500
1.2	2	11.000
1.3	2	8.450
2.1	3	12.050

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 9
Resultado de ensayo de impacto

Muestra	Carga de impacto (kg)	Altura máxima (m)	Energía de impacto (kg-m)
2.1	27,2	0,25	6,1
2.2	27,2	0,25	6,1
2.3	27,2	0,25	6,1

Fuente: elaboración propia.

cual constituye uno de los objetivos principales que se perseguía con este trabajo. Se observa además que el mejor comportamiento lo tienen los paneles con tres capas de mallas de refuerzo.

Así pues, resulta técnicamente factible producir con esta tecnología paneles de cerramiento en edificaciones donde otros elementos tengan la responsabilidad estructural. La forma y dimensiones resultan adecuados sobre todo para la construcción de viviendas.

Finalmente cabe recomendar para investigaciones futuras estudiar las posibilidades de producir paneles portantes sobre la base de utilizar mallas de plástico más resistentes y evitando la utilización de algún refuerzo adicional con barras delgadas de acero tal como en ocasiones se hace en componentes de ferrocemento. Igualmente para este caso se debe cuidar que los moldes tengan la resistencia necesaria para que los componentes no salgan deformados o agrietados desde su fabricación y de forma general desarrollar un proceso con mayor control de las operaciones.

Referencias bibliográficas

- American Concrete Institute (1989). Guide for the Design, Construction, and repair of Ferrocement. Detroit: Committee 549 ACI.
- American Concrete Institute (1997). Guide for the Design, Construction, and repair of Ferrocement. Reported by. Detroit: Committee 649 ACI.
- ASTM, (2005). E 72-05. Standard Test of Methods of Conducting Strength Test of Panels of Building Construction. West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL.
- COVENIN 338:02 (1978). Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. Caracas: Fondonorma.
- COVENIN 28-93 (1993). Cemento Portland. Especificaciones. Caracas: Fondonorma.
- COVENIN 343-79 (1993). Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción por flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas, con carga en el centro del tramo. Caracas: Fondonorma.
- COVENIN 255:1998 (1998). Agregados. Determinación de la composición granulométrica. (1ra revisión). Caracas: Fondonorma.
- COVENIN 263-78 (2002). Concreto. Método para la elaboración, curado, y ensayo a compresión de cilindros de concreto. Caracas: Fondonorma.
- Wainshtok, Hugo (1992). Ferrocemento. Diseño y Construcción. La Habana: Editorial Félix Varela.
- En la Web
- American Concrete Institute. (1989). Ferrocemento. <http://www.aci-int.org/> Consultado: 10-05-2007 9:56 pm.
- Geotextiles. (2007). Mallas sintéticas. <http://www.geotextiles> Consultado: 15-05-2007 11:48 pm.
- Wang, S. Naaman, A. Li, V. (2004). Bending response of hybrid ferrocement plates with meshes and fibers. http://ace-mrl.engin.umich.edu/newfiles/publications/ferrocement_00.pdf Consultado 10-06-2007, 9:35 pm.