

*Informe de la prueba*

# **INVESTIGACIÓN SOBRE LA RESISTENCIA DE LOS PANELES EMMEDUE M2 AL PROYECTIL DE VIENTO**

*A la atención del*

**Sr. Angelo Candiracci, Presidente  
EMMEDUE S.p.A. —Sistema de Construcción  
Avanzados  
Via Toniolo 39/B Z.I. Bellocchi  
61032 Fano (PU) Italia**

*Investigadores*

**Ernst W. Kiesling, Ph.D., P.E.  
Larry J. Tanner, P.E.**

*Fecha de entrega*

22 de julio del 2005

Wind Science and Engineering  
Texas Tech University  
Lubbock, Texas 79409



*Informe de la prueba*

# **INVESTIGACION SOBRE LA RESISTENCIA DE LOS PANELES EMMEDUE M2 AL PROYECTIL DE VIENTO**

*A la atención del*

**Sr. Angelo Candiracci, Presidente  
EMMEDUE S.p.A. —*Sistema de Construcción  
Avanzado*  
Via Toniolo 391B -Z.I. Bellocchi  
61032 Fano (PU) Italia**

*Prueba realizada por*

**The Wind Science and Engineering Research Center  
Texas Tech University  
Box 41023  
Lubbock, TX 79409-1023**

*Investigadores*

**Ernst W. Kiesling, Ph.D., P.E.  
Larry J. Tanner, P.E.**

*Fecha de entrega*

**22 de julio del 2005**

## INVESTIGACION SOBRE LA RESISTENCIA DE LOS PANELES EMMEDUE M2 AL PROYECTIL

### Sumario del proyecto

El Sr. Angelo Candiracci de EMMEDUE S.p.A. contactó a la Wind Science and Engineering (WISE) Research Center de la Universidad Tecnológica de Texas para determinar la resistencia de los paneles de cemento al impacto de los escombros. Pruebas anteriores fueron realizadas el 2 de mayo de 2005. Las especificaciones, resultados y conclusiones son las siguientes:

Se realizaron cinco series de pruebas sobre los paneles M2 – PSME100, PSM100HP con refuerzo superpuesto, PSM100HP con refuerzo compensado y dos muestras de PSME120 con programa de incremento del refuerzo. Los objetivos de esta prueba fueron: 1) determinar la capacidad del panel PSME100 para cumplir con el Protocolo de prueba 3 del refugio contra Huracanes (Misil de madera de 2x4 pulgadas y 15 libras propulsado a 80 mph) 2) determinar la capacidad del panel PSM100HP con refuerzo superpuesto para resistir al misil tornado de 2x4 pulgadas y 15 libras propulsado a 100 mph, 3) determinar la capacidad del refuerzo máximo del panel PDME120 para resistir al misil tubo de acero de 75 libras de la Agencia de Regulación Nuclear propulsado a 70 mph 4) determinar la capacidad del refuerzo mínimo del panel PDME120 para resistir al misil tubo de acero de 75 libras de la Agencia de Regulación Nuclear propulsado a 50 mph y 5) determinar la capacidad del panel PSM100HP con refuerzo compensado para resistir al misil tornado de 2x4 pulgadas y 15 libras propulsado a 100 mph.

**Serie 1:** El panel de prueba utilizado fue uno del tipo M2 PSME100 de 4 x 8 pies, ver la **Figura 1**. Se colocó el panel dentro de una instalación de 4 x 8 pies consistente en un perímetro de acero circular de C4 x 5.4<sup>1</sup>/<sub>4</sub>-pulgadas de circunferencia x 5 <sup>1</sup>/<sub>2</sub>- pulgadas de largo, vigas de madera soldadas a los canales a las 12 pulgadas centrales. El panel de prueba con marco metálico fue unido a las vigas. Para el protocolo de prueba 3 se utilizó un Refugio contra huracanas.

**Serie 2** El panel de prueba utilizado fue uno del tipo M2 PSM100HP de 4 x 8 pies, ver

**Figura 1.** El panel se colocó dentro de una instalación de 4 x 8 pies consistente en un perímetro de acero de C4 x 5.4¼-pulgadas de circunferencia x 5 ½- pulgadas de largo, vigas de madera soldadas a los canales a las 12 pulgadas centrales. El panel de prueba con marco metálico fue unido a los montantes. Para el protocolo de prueba 4 se utilizó un Refugio contra Tornados.

**Serie 3:** El panel de prueba utilizado fue uno del tipo M2 PDME120 de 4 x 8 pies, ver **Figura 1**, con el siguiente programa de refuerzo máximo: un refuerzo de 7/32-pulgadas con red metálica de refuerzo de 3 x 4 ¾- pulgadas con un refuerzo metálico vertical adicional de 7/32-pulgadas en el campo. El panel se colocó dentro una instalación de 4 x 8 pies consistente en un perímetro de acero de C4 x 5.4¼-pulgadas de circunferencia x 5 ½- pulgadas de largo, vigas de madera soldadas a los canales a las 12 pulgadas centrales. El panel de prueba con marco metálico fue unido a los montantes. El protocolo de prueba usado fue el 5b de la Agencia de Regulación Nuclear para recintos de seguridad.

**Serie 4:** El panel de prueba utilizado fue uno del tipo M2 PDME120 de 4 x 8 pies, ver **Figura 1**, con el siguiente programa de refuerzo mínimo: 7/32 pulgadas con red metálica de refuerzo de 3 pulgadas x 4 ¾-pulgadas. El panel se colocó dentro una instalación de 4 x 8 pies consistente en un perímetro de acero de C4 x 5.4 ¼-pulgadas de circunferencia x 5 ½- pulgadas de largo, vigas de madera soldadas a los canales a las 12 pulgadas centrales. El panel de prueba con marco metálico fue unido a los montantes. El protocolo de prueba usado fue el 5a de la Agencia de Regulación Nuclear para recintos de seguridad.

**Serie 5:** El panel de prueba utilizado fue uno de tipo M2 PSM100HP de 4 x 8 pies, ver **Figura 1**, con la siguiente modificación del refuerzo: doble refuerzo metálico en Serie 5 compensado frente a la línea para aumentar la cobertura del refuerzo. El panel se colocó dentro una instalación de 4 x 8 pies consistente en un perímetro de acero de C4

x 5.4¼-pulgadas de circunferencia x 5 ½- pulgadas de largo, vigas de madera soldadas a los canales a las 12 pulgadas centrales. El panel de prueba con marco metálico fue unido a los montantes. Se utilizó un protocolo de prueba 4 para el Refugio contra Tornados.

Remitirse a la **Figura 2** para las especificaciones del Material – Diseño Batch e instalación del enlucido.

## **Protocolo de Prueba**

### **Introducción**

El objetivo primario de la prueba del impacto de los escombros en los refugios contra tormentas y en los componentes de los refugios es garantizar la existencia de un alto estándar de rendimiento en la protección de los ocupantes del refugio contra los escombros arrastrados por el viento. El criterio de funcionamiento incluye la prevención de perforaciones del refugio o de los componentes por medio del diseño de un misil y prevenir deformaciones que pudieran ocasionar lesiones a los ocupantes.

### **Criterio de la prueba**

La prueba descrita sirve para simular escombros de origen eólico. Las primeras simulaciones consisten en impactos producidos por una tabla de madera de 2x4 pulgadas que viaja a lo largo de su eje longitudinal, golpeando perpendicularmente la faz del objeto de prueba. Los estándares que usan este tipo de simulación de escombros incluyen el ASTM E 1886-04 "Método de prueba estándar del rendimiento de las ventanas exteriores, persianas, puertas, y Sistemas de Protección contra el impacto afectados por misiles y la exposición a Presiones Diferenciales Cíclicas," SSTD 12-99 "SBCII Prueba estándar para determinar la Resistencia al Impacto de los escombros arrastrados por el viento," ANSI A250.13-2003, "Prueba e Índice de la resistencia de los componentes de los montajes de las puertas de vaivén a una fuerte tormenta de viento", la Asociación Nacional de Refugios contra Tormentas (NSSA), "Estándar para el diseño, la construcción y la ejecución de los refugios contra Tormentas," y la Universidad Tecnológica de Texas, el Criterio de Prueba del Tornado de la Ingeniería del Viento adoptado por la Agencia Federal para el manejo de Emergencias en la publicación FEMA 320, "Cómo refugiarse de las tormentas" y FEMA 361, "Guía del Diseño y la Construcción de Refugios Comunitarios." El criterio de la prueba del Huracán usa una tabla de madera de 2x4 pulgadas y 9 libras llamado misil que viaja horizontalmente a 34 mph (50 pies/segundo), lo cual corresponde a un viento de 110-150-mph. Este es el criterio usado para la protección de la propiedad.

El criterio de la prueba del tornado usa una tabla de Madera de 2x4 pulgadas y 15-libras que viaja horizontalmente a 100-mph, lo cual corresponde a un viento de 250-mph. Es el criterio usado para el diseño de superficies verticales para la protección de los ocupantes. El criterio

para la caída de escombros generada por un tornado es una tabla de 2x4 pulgadas y 15 libras que viaja a 67 mph y golpea perpendicularmente la superficie. El criterio de 67 mph se usa para las superficies horizontales al suelo e inclinadas a menos de 30 grados. Factores de seguridad adicionales son inherentes a este criterio ya que existen pocas probabilidades que un misil viaje a lo largo de su eje y golpee la superficie perpendicularmente.

### **Procedimiento de la Prueba**

La primera prueba que se realiza en un sistema sirve para determinar si el concepto básico o el elemento estructural es capaz de resistir al impacto. El mismo se efectúa impactando el blanco en un campo o área considerada más vulnerable. Si el sistema resiste al impacto, entonces la prueba se concentra en las condiciones de las conexiones y del material de soporte. Las paredes del Refugio o los paneles de pruebas son impactados con tres misiles de prueba en lugares diferentes y vulnerables. Los techos/cielorazos del Refugio que están contruidos diversamente de las paredes, son impactados con tres misiles de prueba en lugares distintos y vulnerables. Los accesorios, conductos de ventilación, celosías, ventanas, tableros eléctricos, repisas, asientos, etc. del refugio son impactados por un único misil.

Las pruebas de presión de laboratorio no se conducen sobre los refugios y los paneles del refugio. Los análisis numéricos de la presión del viento se encuentran detallados en la lista de los estándares del Criterio de Prueba.

### **Criterio Superado/Fallo**

El criterio para la prueba de superado/ fallo del refugio/estructura/panel es el siguiente:

- 1) El objeto de la prueba debe ser impactado por un mínimo de tres misiles en áreas percibidas como vulnerables.
- 2) El misil puede penetrar el objeto de la prueba pero no puede perforar su lado de seguridad (cara posterior);
- 3) La desviación permanente del objeto de la prueba después del impacto no debe superar las 3 pulgadas;
- 4) Segmentos, astillas o cualquiera otra porción laminada del objeto de la prueba que, aunque si quedaran adheridas al objeto, no pueden extenderse en más de 3 pulgadas

dentro del compartimiento de seguridad; y

5) Los segmentos del objeto de la prueba o accesorios que quedaran adheridos al objeto de prueba no deben ser proyectados o, de ningún modo, liberados por la fuerza del impacto en el compartimiento de seguridad.

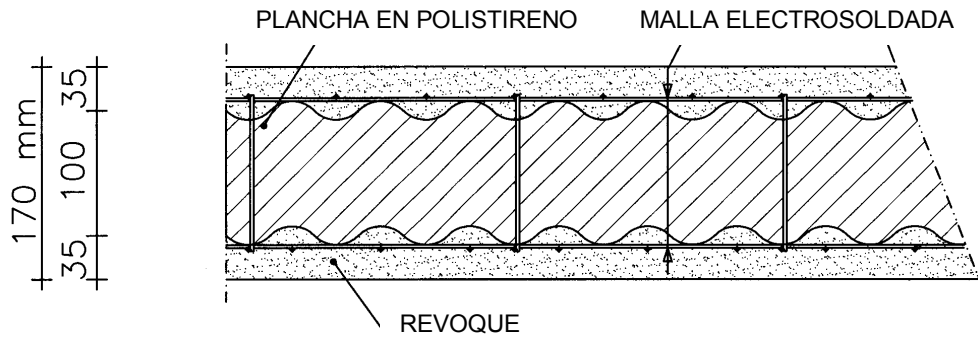
### **Equipos utilizados durante la prueba**

Cañón a aire de impacto de escombros:

- 1) Tanque de aire – 30 galones, Modelo Manchester Número 301853.
- 2) Válvula eléctrica de aire – Modelo Matryx Número MX200 – 600501.
- 3) acoplamiento rápido de aluminio de 4 pulgadas para conectar el cuerpo cilíndrico a la válvula.
- 4) cuerpo cilíndrico de PVC de 4 pulgadas x 20 pies programa prolongado.
- 5) Un par de Sensores ópticos de Tiempos – Modelo Keyence Número PZ251R y PZ125T de 12/24-volts.
- 6) Acondicionador de señales.
- 7) Un par de Temporizadores de precisión – Modelo BK Número 1823 Contador Universal.
- 8) Panel de control con controles de presión, visor láser y un sistema de detonación a tres tiempos para eliminar los disparos involuntarios.
- 9) Carro horizontal articulado de cañón con accionamiento motorizado DC y un controlador de velocidad variable.
- 10) Carro de cañón montado a una tijera hidráulica sobre ruedas – Modelo Autoquip número 84B16F20.
- 11) Marco de reacción de acero hecho de vigas de acero verticales y horizontales ancladas al suelo para otorgar soporte a la parte superior e inferior de la muestra de prueba.

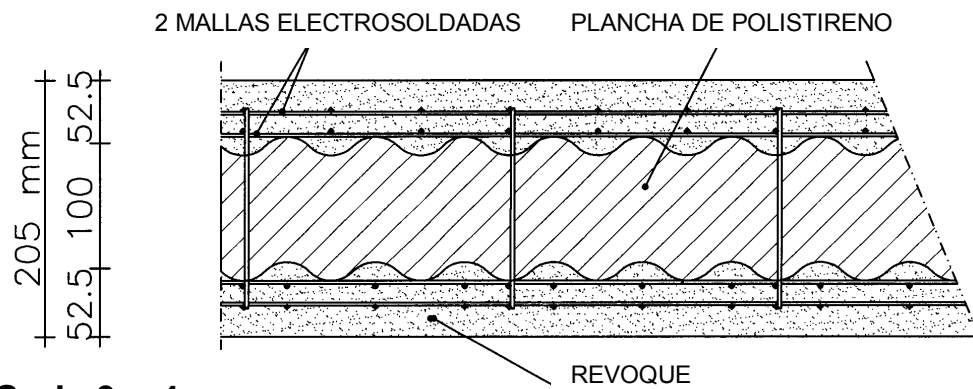
**Serie 1**

1 PSME100 $\varnothing$ 3,5 H=244cm



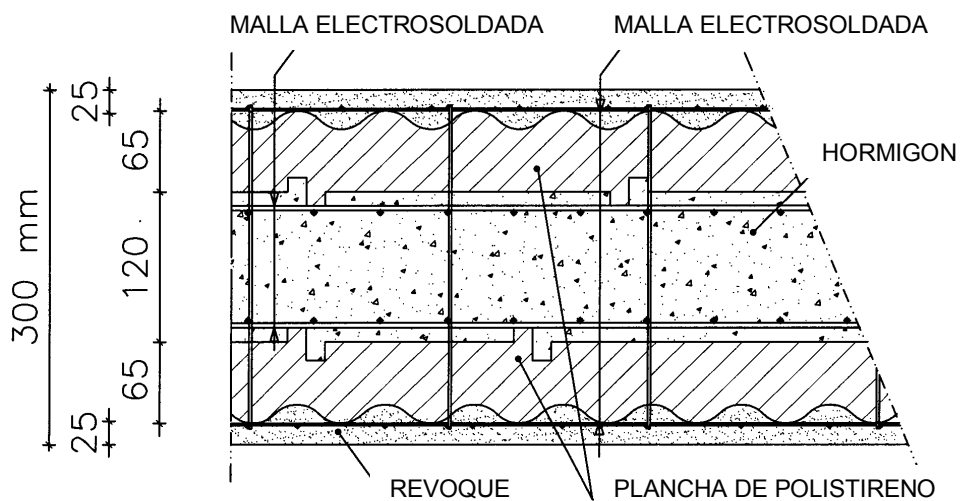
**Serie 2 e 5**

2 PSM100HP $\varnothing$ 3,5 H=244cm



**Serie 3 e 4**

3 PDME120 H=244cm

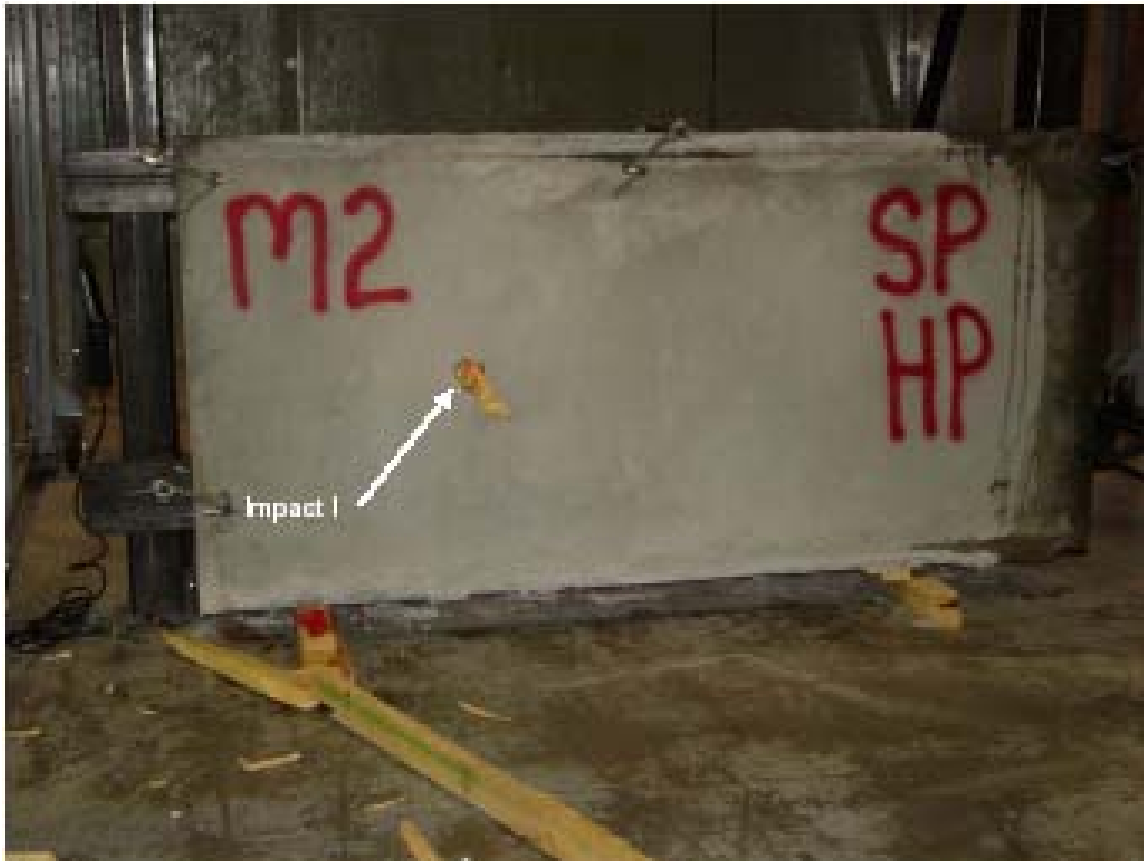


**Figura 1. Serie 1 – Panel 5 M2**

## Prueba Serie 2, Protocolo 4

### Detonación Misil 1 – Protocolo Prueba Tornado 15libras 102 mph

El misil tornado impactó la muestra de la serie 2 PSM100HP a la izquierda del centro. El misil dejó una tosca impronta de 2 x 4 pulgadas con una profundidad de 1 pulgada. No se produjeron daños significativos en la parte posterior del panel.



**Serie 2 Panel Impactado por el Misil 1**



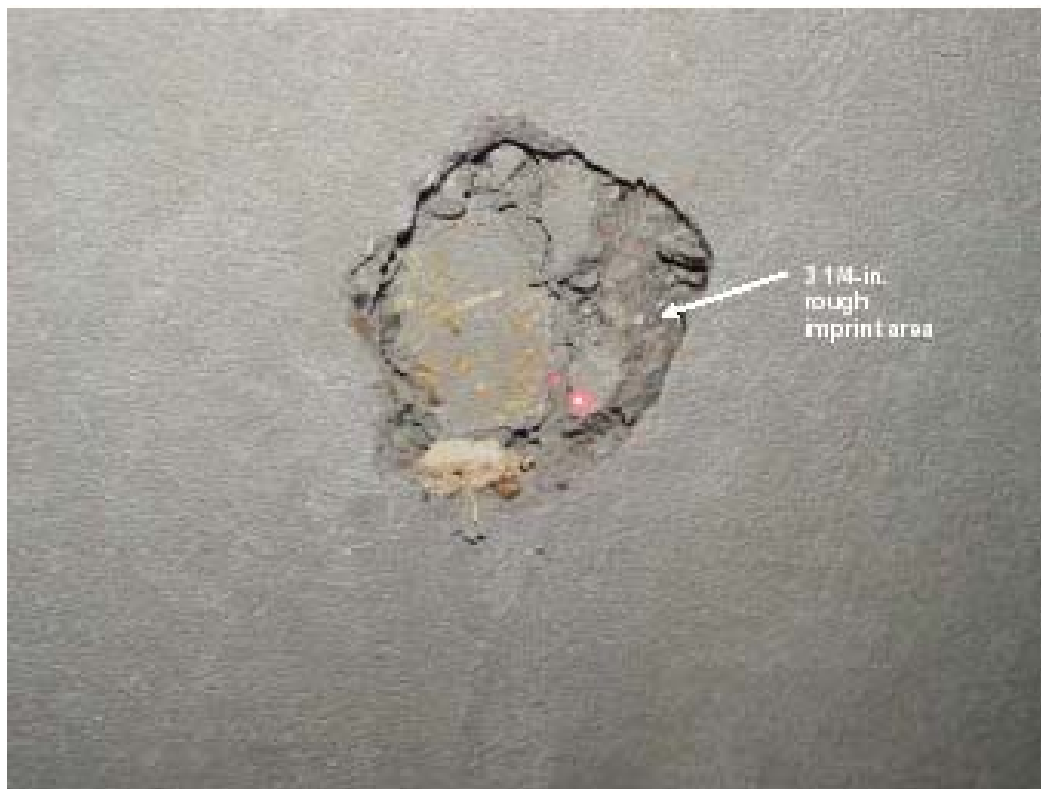
**Astillas que quedaron del impacto del Misil Tornado 1**

## Detonación Misil II – Protocolo Refugio Tornado 15 libras 100 mph

El misil de prueba del protocolo del refugio contra tornados impactó la muestra de la Serie 2 PSM100HP en el centro de la pared de muestra con una profundidad de  $\frac{3}{4}$ -pulgadas, se observó una tosca impronta de  $3 \frac{1}{4}$  pulgadas en el exterior de la superficie. No se produjeron daños significativos en la parte posterior del blanco.



**Serie 2 Impacto del Misil II del Refugio Tornado**



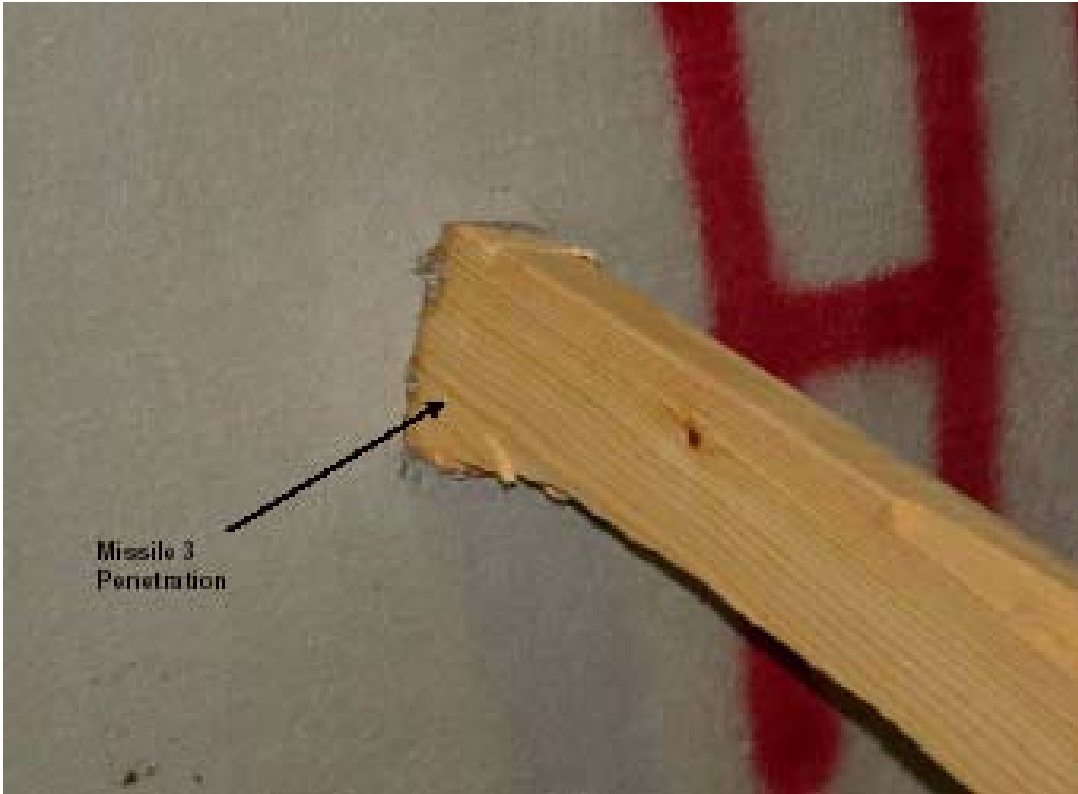
**Muestra luego del Impacto II de la Serie 2**

### **Detonación Misil III – Protocolo Refugio Tornado 15 libras 100 mph**

El misil impactó la muestra de la Serie 2 PSM100HP a la derecha del impacto 2). El estrato de la placa exterior fue perforado cuando el misil desplazó el refuerzo metálico, deteniéndose en la parte posterior de la placa provocando una penetración total de 4 1/4-pulgadas. No se presentaron daños significativos en la parte posterior del panel.



**Refugio Tornado Impacto sobre la muestra de la Serie 2**



**Impacto lateral del Panel de la Serie 3 después del impacto 3 del Misil Refugio Tornado I**

### Prueba Serie 3, Protocolo 5b

#### Detonación Misil 1 – 75 libras. Impacto provocado por un tubo propulsado a 74 mph Prueba de Regulación Nuclear para Recinto de Seguridad

El misil impactó la muestra Serie 3 PDME 120 a la derecha del centro del panel. El misil penetró en 5 3/8 pulgadas, perforando la primera capa del enlucido, núcleo de espuma y centro de concreto hasta alcanzar la primera capa de las barras de refuerzo. La parte posterior exhibió un agrietamiento radial que se extendía desde el punto del impacto hasta los bordes de la pared, no se observaron resquebrajamientos.



**Serie 3 Panel Impactado por Misil Regulación Nuclear**



**Cráter de Impacto de la Serie 2 Misil Regulación Nuclear**



**Agrietamiento Radial en la parte posterior del impacto de la Series 3**

## Prueba Serie 4, Protocolo 5a

### Detonación Misil I – 75 libras. Misil tubo a 52 mph – Prueba Regulación Nuclear para el recinto de seguridad

El misil impactó la muestra de la Series 4 PDME120 a la derecha del centro del panel, penetrándolo 4 5/8 pulgadas. La cara exterior del enlucido y el núcleo de espuma fallaron, pero el misil fue contenido por la capa central de concreto. Se observaron agrietamientos radiales en la parte posterior del blanco con fisuras que se extienden hasta los bordes adyacentes de la pared.



**Serie 4 Protocolo 5a Impacto I Regulación Nuclear**



**Daño del impacto del Misil I de la Serie 4 Protocolo 5a**



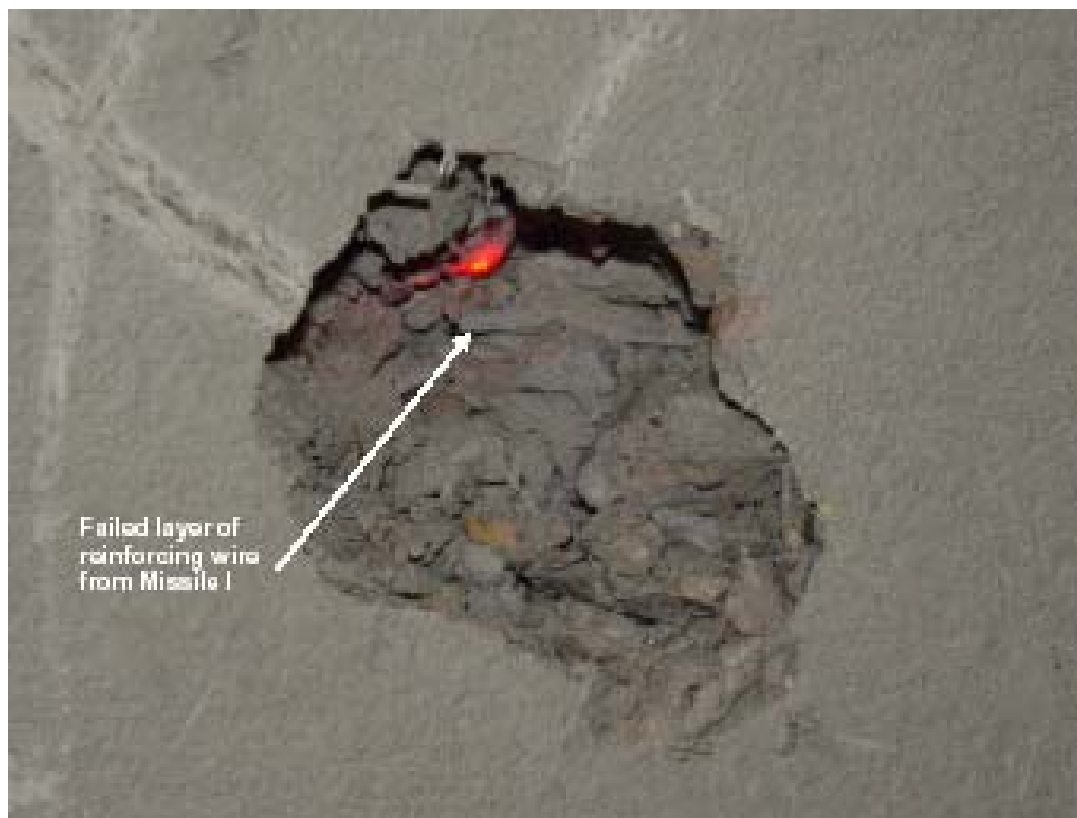
**Prueba Serie 5, Protocolo 4**

### **Detonación Misil I – Protocolo Tornado 15 libras 102 mph**

El misil impactó la muestra de la Serie 5 PSM100HP en el centro del panel. El misil penetró el panel en 3 ½ pulgadas y falló la primera capa de refuerzo metálico. No se produjeron daños significativos en la parte posterior de la muestra.



**Serie 5 Protocolo 1 Misil I Tornado Impacto sobre el Panel**



**Misil I Penetración Panel de la Serie 5 con Misil Tornado**

### **Detonación Misil II – Protocolo Tornado 15 libras 102 mph**

El misil tornado impactó la muestra de la Serie 5 PSM100HP a la derecha del centro. El misil penetró el panel en 1 pulgada deteniéndose en la primera capa del refuerzo, que quedó intacta. No se produjeron daños significativos en la parte posterior del panel.



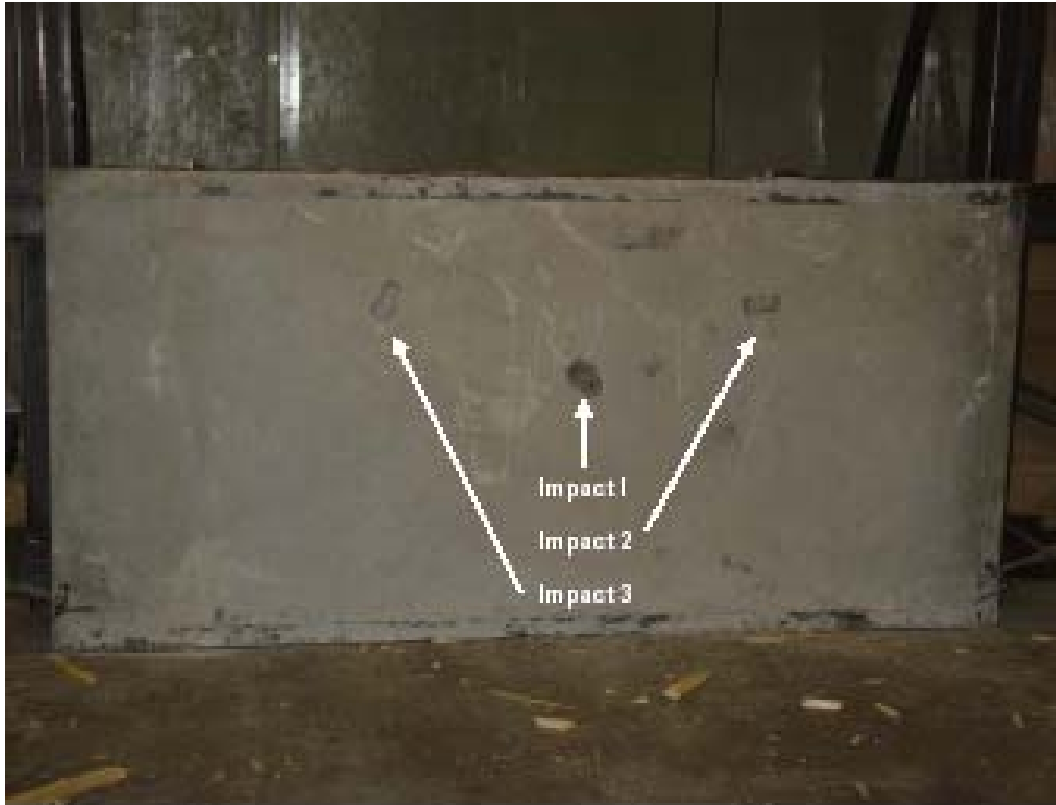
**Panel Serie 5 Impactado por el Misil Tornado II**



**Panel Serie 5 Impactado por el Misil Tornado II**

### **Detonación Misil III – Protocolo Tornado 15 libras 101 mph**

El misil tornado impactó la muestra de la Serie 5 PSM100HP a la izquierda del centro. El misil penetró el panel en  $\frac{3}{4}$  pulgadas deteniéndose en la primera capa de refuerzo, que permaneció intacta. No se produjeron daños significativos en la parte posterior del panel.



**Panel Serie 5 Impactado por el Misil Tornado I, II, y III**



**Panel Serie 5 Impactado por el Tercer Misil Tornado**

## Conclusiones

*Mi opinión es la siguiente, más allá de los límites de la certeza técnica y de ingeniería, y queda sujeta a cambios en caso de que hubiera información adicional disponible:*

Lo que sigue a continuación son los resultados de las pruebas de impacto de escombros que fueron conducidas por la Estructura de Prueba de Impacto de Escombros de la Universidad Tecnológica de Texas sobre paneles de concreto aislados fabricados por la firma EMMEDUE M2 – *Sistema de Construcción Avanzado de Fano, Italia*. Las pruebas respondieron a los requisitos establecidos por cuatro protocolos diversos:

Protocolo 1 - Misil de 2x4 pulgadas y 9 libras propulsado a 34 mph, como lo requiere el Código de Construcción del Sur de la Florida para la protección contra huracanes.

Protocolo 2 - Misil de madera de 2x4 pulgadas y 15 libras propulsado a 66 mph, como se aconseja para los refugios contra huracanes.

Protocolo 3 - Misil de madera de 2x4 pulgadas y 15 libras propulsado a 80mph como se aconseja para los refugios contra huracanes.

Protocolo 4 - Misil de madera de 2x4 pulgadas y 15 libras propulsado a 100 mph, como lo requieren las líneas directrices del estándar FEMA 320/361 para los refugios contra tornados.

Protocolo 5a - Misil tubo de acero de 75 libras propulsado a 50 mph, como lo requiere la Agencia de Regulación Nuclear de los Estados Unidos.

Protocolo 5b - Misil tubo de acero de 75 libras propulsado a 70 mph, como lo requiere la Agencia Regulación Nuclear de los Estados Unidos.

<b>Series</b>	<b>Protocolo1</b>	<b>Protocolo 2</b>	<b>Protocolo 3</b>	<b>Protocolo 4</b>	<b>Protocolo 5.a</b>	<b>Protocolo 5.b</b>
Serie 1 PSME100	No Probado	No Probado	No Probado	No Probado	No Probado	No Probado
Serie 2 PSM100HP	No Probado	No Probado	No Probado	Superado	No Probado	No Probado
Serie 3 PDME120 – Refuerzo máximo	No Probado	No Probado	No Probado	No Probado	No Probado	Superado
Serie 4 PDME 120 – Refuerzo libero	No Probado	No Probado	No Probado	No Probado	Superado	No Probado
Serie 5 PSM100HP Refuerzo Compensado	No Probado	No Probado	No Probado	Superado	No Probado	No Probado

## **Uso del Informe de Prueba y de los Logos de TTU e WISE**

El informe escrito y las fotos y/o videos adicionales pueden ser utilizados como referencia o distribuidos por vuestra compañía. No obstante, la Universidad Tecnológica de Texas no puede avalar productos ni se podrán utilizar el nombre de la Universidad o de ninguna de sus unidades o personal para fines publicitarios sin un permiso escrito otorgado por la Universidad. Todo uso indebido o interpretación errónea del informe y/o de las figuras causarán acciones legales por la Universidad contra las partes responsables.

Los fabricantes o productores de refugios contra tormentas que han hecho testear sus productos en la Universidad Tecnológica de Texas podrán usar el logo del Departamento de Ingeniería del viento de la Universidad de Texas a condición que éstos cumplan con lo siguiente:

- I. El logo no puede ser prominente para engañar al público y no se puede usar indebidamente el nombre de la “Texas Tech University Wind Engineering”.  
En caso de usar el logo en un texto, se debe respetar una de las dos declaraciones alternativas que siguen:

### Alternativa 1 – Refugio completo

El uso del logo de la “Texas Tech University Wind Engineering” significa que la completa estructura del refugio fue controlada y satisfactoriamente aprobada en las pruebas de resistencia al impacto del misil por la Universidad Tecnológica de Texas.

### Alternativa 2 – Componente del refugio

El uso del logo de la “Texas Tech University Wind Engineering” no significa que la estructura completa fuera probada por la Universidad Tecnológica de Texas, sino que sólo el (componente del refugio – nombre explícito) fue controlado y satisfactoriamente aprobado en las pruebas de resistencia al impacto del misil por la Universidad Tecnológica de Texas.

- II. Toda la publicidad y textos promocionales que contengan el uso del logo de la “Texas Tech University Wind Engineering” se deben presentar a la “Texas Tech University Office of Technology Transfer and Intellectual Property” *Oficina de Transferencia de Tecnología y Propiedad intelectual de la Universidad Tecnológica de Texas*) para su aprobación antes de la distribución.

La Universidad Tecnológica de Texas se opondrá a cualquier uso del logo del departamento de Ingeniería del viento de la Universidad de Texas que no cumplan con los estándares mencionados anteriormente.