

# ***Diseño Resistente a Huracanes de Techos de Armazón de Madera y Revestimiento de Zinc de Residencias Unifamiliares***

*José M. Montañez Negrón*

*Maestría de Ingeniería en Ingeniería Civil*

*Héctor J. Cruzado, Ph.D.*

*Departamento de Ingeniería Civil, Ingeniería Ambiental y Agrimensura*

*Universidad Politécnica de Puerto Rico*

**Resumen** — *En el año 2017, los huracanes Irma y María causaron daños a la infraestructura de Puerto Rico. Un daño que se observó con frecuencia fue la falla de techos de madera y zinc de residencias unifamiliares. El objetivo de este proyecto fue proponer un diseño estándar de techos de madera y zinc que sea resistente a cargas de vientos causadas por huracanes de categorías altas. Se realizaron entrevistas a algunos dueños de residencias con este tipo de techo y que fueron afectados por el huracán, determinándose que, en los casos observados, las fallas mayormente se produjeron por el uso de pocos clavos en el revestimiento. Se tomaron medidas de casas evaluadas y se seleccionó un tamaño estándar de 40 pies de largo, 30 pies de ancho y 12 pies de alto. Se realizaron experimentos para determinar la capacidad de agarre de clavos y tornillos en madera. Por último, se realizó un diseño de techo de madera y zinc utilizando un programa de ingeniería estructural y cumpliendo con los requisitos mínimos de los códigos de construcción vigentes.*

**Palabras claves** — *cargas de viento, estructuras de madera, ingeniería estructural.*

## **INTRODUCCIÓN**

El 6 de septiembre de 2017, el Huracán Irma, registrado como categoría 5, pasó cerca de la costa norte de Puerto Rico. Aunque su ojo no tocó tierra en Puerto Rico, la isla experimentó 15” de lluvias, vientos sostenidos de 88 mph y ráfagas de 110 mph [1]. Sus efectos en la isla tuvieron una duración de aproximadamente 18 horas, dejando daños de más de \$600 millones y al menos 3 muertes [2].

Dos semanas después, el 20 de septiembre del 2017, el Huracán María pasó por Puerto Rico con una trayectoria directa entrando por el municipio de

Yabucoa (ver Figura 1) y saliendo por el municipio de Arecibo. María entró siendo huracán de categoría 4 con vientos sostenidos de 155 mph, con ráfagas de hasta 200 mph [3] y alcanzando 38” de lluvias. Este terrible fenómeno de unas 12 horas de duración fue suficiente para dejar \$94,000 millones en daños y miles de muertes registradas [2].



**Figura 1**

**Entrada del Huracán María a Puerto Rico [2]**

Entre los muchos daños ocasionados por los Huracanes Irma y María en Puerto Rico, una falla que se observó con bastante frecuencia fue la pérdida de revestimiento de techos de armazón de madera de residencias unifamiliares. Como ejemplo, en la Figura 2 se pueden apreciar varias residencias que perdieron el revestimiento del techo luego del Huracán María, aun cuando las residencias no muestran daños en las paredes, puertas y ventanas.



**Figura 2**

**Vista de Varias Residencias que Perdieron Revestimiento del Techo Luego del Huracán María [4]**

El objetivo de este proyecto fue realizar un diseño de techos de madera y zinc que pueda ser utilizado de forma estándar en Puerto Rico y que sea resistente a las cargas de viento de acuerdo con los códigos vigentes. Este artículo se procede a continuación con la Revisión de Literatura donde se discuten los códigos de construcción que aplican a Puerto Rico, los daños a residencias unifamiliares causados por los huracanes Irma y María, los materiales utilizados típicamente en la construcción de techos de madera y zinc, y lo que la literatura recomienda para la construcción de estas estructuras. Prosigue la sección de Metodología, en la cual se presentan las cinco etapas que se realizaron secuencialmente en este proyecto. Posteriormente se presenta los resultados que se estuvieron recopilando a través de dichas etapas. Finalmente, se presentan conclusiones y recomendaciones para el diseño de techos de madera y zinc.

## REVISIÓN DE LITERATURA

Se realizó una revisión de literatura de temas relevantes relacionados al diseño y construcción de techos de madera y zinc en Puerto Rico y los daños ocasionados por los Huracanes Irma y María que se observaron en estas estructuras.

### Código Aplicable en Puerto Rico

En Puerto Rico, el código vigente requiere que las cargas de viento se calculen de acuerdo con el estándar ASCE/SEI 7-16. Este presenta dos métodos principales para calcular las presiones de viento que actúan en los edificios: Procedimiento Direccional y el Procedimiento de la Envolvente. Este segundo solamente puede ser utilizado para edificios de baja altura. Ambos métodos tienen variantes para atender si se está analizando sistemas de resistencia principal a cargas de viento o componentes y revestimiento.

El estándar ASCE/SEI 7-16 refiere al sitio web del *Applied Technology Council* (ATC) para determinar la velocidad de viento de diseño de acuerdo con la localización de la estructura (ver

ejemplo en Figura 3). Las velocidades provistas en este sitio consideran los efectos topográficos en la velocidad del viento.

Para el diseño estándar de techos de madera y zinc, se escogieron los siguientes parámetros para el procedimiento de cargas de viento del ASCE/SEI 7-16:

- Categoría de Riesgo: II
- Velocidad del Viento,  $V = 190$  mph (Se escogió esta velocidad luego de examinar la costa sureste de Puerto Rico y las islas municipios, donde predominan las velocidades máximas. Puede haber lugares en Puerto Rico con mayores velocidades debido a efectos topográficos.)
- $K_d = 0.85$
- $K_{zt} = 1.0$
- Exposición: B
- $K_h = 0.7$
- $K_e = 1.0$
- $G = 0.85$
- Edificio Cerrado

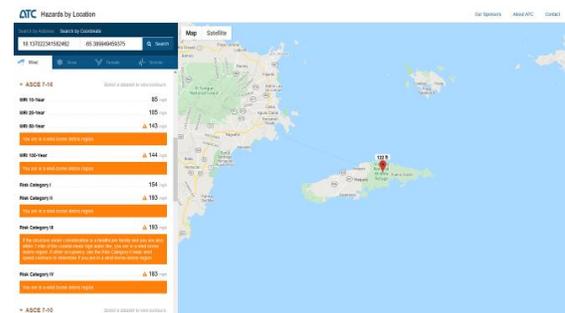


Figura 3  
Sitio Web del ATC

### Daños a Residencias Unifamiliares por Irma y María

Sobre 166,000 casas fueron destruidas y más de 472,000 unidades sufrieron daños mayores con el paso de los dos huracanes, Irma y María. En Puerto Rico es muy común la construcción de casas de madera de un nivel y se consideran vulnerables a los huracanes por ser construidas informalmente. La mayoría de estas construcciones tienen de 40 a 50 años, con solamente el 1% construidas después del año 2010 [2].

## Materiales

Para los techos de madera y zinc típicamente construidos en Puerto Rico, la madera es importada, extraída de un árbol de pino y tratada, usándose mayormente las secciones rectangulares con tamaños de 2" x 4" y de 1" x 2". El zinc utilizado como revestimiento es hecho de acero galvanizado ondulado con un espesor de 0.22 mm, y se venden en planchas de 2 pies de ancho y 20 pies de largo. Para adherir el zinc a la madera, se utilizan clavos lisos o helicoidal o tornillos. Para conectar distintos elementos de madera, se utilizan angulares de acero galvanizado con tornillos.

Los techos investigados están construidos de forma que la madera forma un armazón agarrado a la estructura y el zinc está atornillado o clavado a la madera (ver Figura 4). Los techos son de dos aguas con una inclinación menor de 10 grados. Durante esta investigación se observó que un tamaño típico de una residencia es aproximadamente 40 pies de largo, 30 pies de ancho y una altura máxima de 12 pies.



Figura 4

Techo de Armazón de Madera y Revestimiento de Zinc

## Prácticas Recomendadas

Para casas de madera con techos de dos aguas, se ha recomendado que los techos tengan ángulos de 30 grados para hacerlos más resistentes a cargas de vientos [5]. Implementar esta práctica en Puerto Rico sería un reto ya que las casas no se construyen con tanta altura y requería más uso de materiales, lo que incrementaría los costos de construcción.

Las planchas de zinc deben estar sobrepuestas al menos dos ondulaciones, según se muestra en la Figura 5. Los clavos helicoidales son considerados los mejores anclajes, más aún si se doblan en las

maderas, según se puede observar en la Figura 6 [5]. Se recomienda una cantidad mínima de 6 clavos o tornillos por cada metro cuadrado de zinc [6] y el uso de diferentes angulares para realizar las conexiones del armazón de madera, según se muestra en la Figura 7 [7].

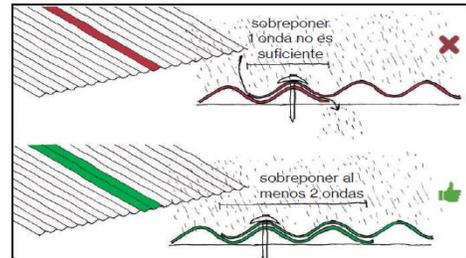


Figura 5

Sobreposición de Ondulaciones en Planchas [5]

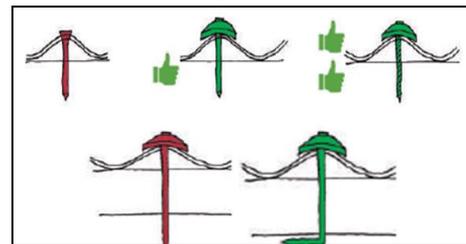


Figura 6

Recomendaciones de Uso de Clavos [5]

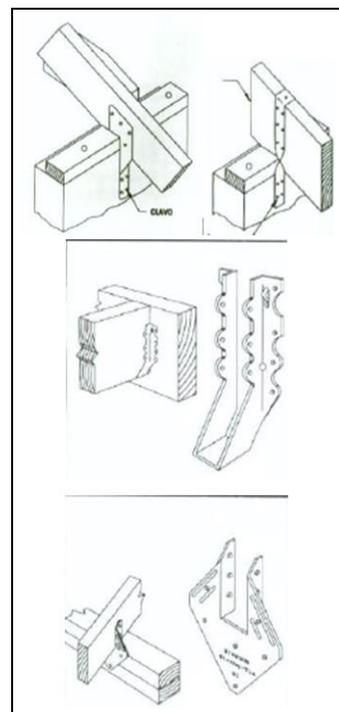


Figura 7

Conexiones con Diferentes Tipos de Angulares [7]

## METODOLOGÍA

La metodología de este proyecto se realizó en cinco etapas, según se detalla a continuación.

### **Etapas 1: Entrevistas**

Primero se procedió hacer una plantilla de ciertas preguntas para entrevistar a diferentes residentes en varios municipios de Puerto Rico que fueron afectados por ambos huracanes y que sus residencias perdieron sus techos. Las preguntas iban dirigidas a determinar las condiciones de las casas antes de los eventos, verificar con certeza que el fallo solo fue en el techo e identificar la causa principal del fallo. La mayoría de los entrevistados entendía que la causa principal de la falla fue el no tener un número de clavos adecuados anclando el zinc al armazón de madera. Se observó en estos casos que los techos perdieron las planchas de zinc, pero el armazón de madera parecía estar intacto.

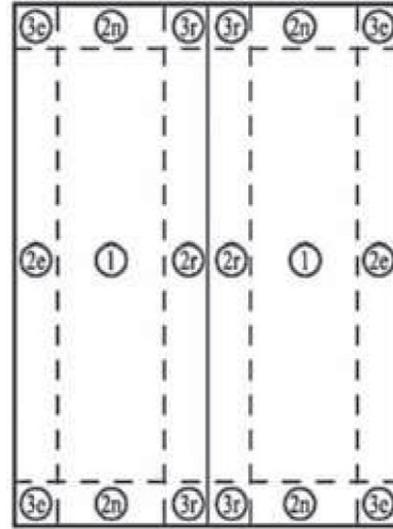
### **Etapas 2: Dimensiones y Características de una Casa Estándar Evaluada**

En esta etapa se midieron las dimensiones de casas con techos de madera y zinc para poder identificar unas dimensiones típicas de casas de Puerto Rico. Se decidió tomar una casa de una sola planta de 40 pies de largo, 30 pies de ancho, 10 pies de alto en los laterales y una altura máxima del centro de 12 pies.

### **Etapas 3: Cálculos de Presiones de Viento**

Se calcularon las presiones de viento que deben ser usadas para el diseño de acuerdo con el ASCE/SEI 7-16. En las presiones de viento calculadas que actúan en el techo predomina la dirección negativa, lo que representa una presión que tiende a levantar el techo. Con el Procedimiento de la Envolvente se obtuvieron presiones mayores que con el Procedimiento Direccional. Para el análisis y diseño del sistema de resistencia a viento principal se obtuvo una presión de -68.8 psf. Para el análisis y diseño revestimiento se obtuvieron presiones de -207.85 psf en las cuatro esquinas del techo (zonas 3 de la Figura 8), -110.02

psf para las áreas laterales (zonas 2 de la Figura 8) y -37.39 (zonas 1 de la Figura 8) psf para el centro.



PLAN

Figura 8

Zonas de Presiones en Techos para Revestimientos Según ASCE/SEI 7-16

### **Paso 4: Experimento de Clavos y Tornillos**

No se halló en la literatura información sobre la capacidad agarre de los distintos tipos de clavos y tornillos utilizados típicamente en la construcción de techos de madera y zinc. Por lo tanto, se realizó un experimento para poder obtener ese dato. Se anclaron distintos clavos y tornillos a elementos de madera, según muestra como ejemplo la Figura 9. Se utilizó una máquina de tensión, según se muestra en la Figura 10, para determinar la carga necesaria para arrancar el clavo o tornillo de la madera. Se evaluaron clavos de tipos lisos, clavos de tipos helicoidal y tornillos, todos para utilizarse en planchas de zinc.

Para los clavos lisos se pudo obtener un agarre promedio de 304.5 lb, pero se notó un comportamiento muy irregular porque cada clavo daba muy distinto para cada prueba. Por el contrario, el clavo helicoidal daba un comportamiento bastante uniforme y se pudo obtener un agarre promedio de 384.4 lb. Mientras tanto, el tornillo tuvo un comportamiento gráfico muy uniforme y con un promedio de agarre

notablemente mayor al de los clavos con un promedio de 1,466.5 lb.



**Figura 9**

**Ejemplo de Muestra de Clavo para Experimento**



**Figura 10**

**Muestra Siendo Probada en Máquina de Tensión**

### **Etapas 5: Modelo Estructural en Software**

Se utilizó el programa Visual Analysis para diseñar un techo estándar con armazón de madera y revestimiento de zinc. Para el techo, se utilizaron las medidas indicadas en la Etapa 2 y se aplicaron las presiones obtenidas en la Etapa 3.

## **RESULTADOS**

En esta sección se presenta el diseño estándar recomendado para techos de madera y zinc en Puerto Rico.

### **Materiales Adecuados**

Las maderas deben ser de buena calidad para proveer mayor fortaleza, de tamaños 2" x 4" y 1" x 4", tratados y cepillados de primera (ver Figura 11). (La madera 1" x 4" también se le conoce como alfajías.) Los tornillos deben ser para madera de al menos 1" de longitud para un mejor agarre para el armazón. Para revestimiento se puede utilizar el zinc comúnmente disponible en el mercado, siempre y cuando este en óptimas condiciones. Se deben utilizar clavos helicoidales con arandelas grandes incorporadas o tornillos con arandelas de acero y goma para una mejor instalación. No se deben utilizar clavos lisos. Para las conexiones de los elementos en madera, se deben utilizar el angular adecuado para la configuración de la conexión.



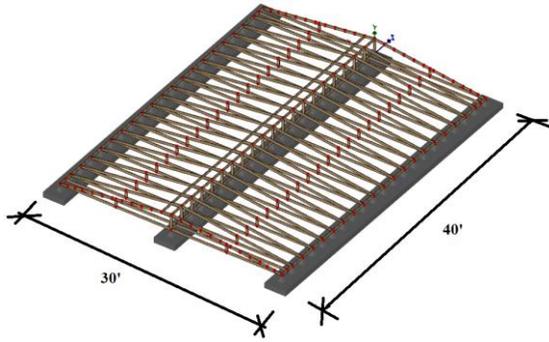
**Figura 11**

**Madera Tratada 2" x 4" (arriba) y 1" x 4" (abajo) [8]**

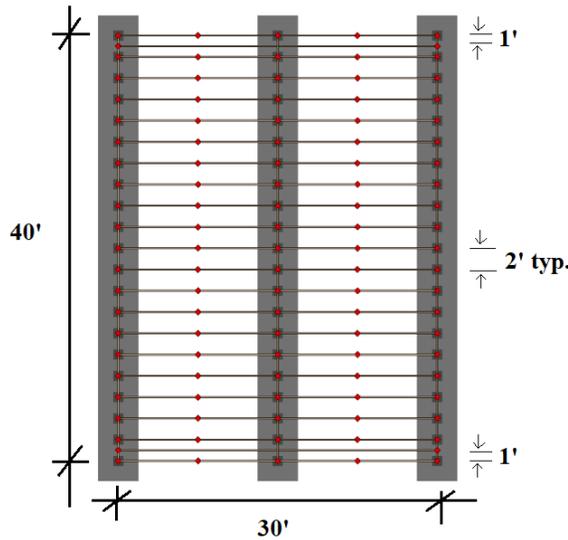
### **Diseño Detallado**

En las Figuras 12, 13 y 14 se presenta la geometría del armazón principal de madera. Todos los elementos mostrados en estas figuras son 2" x 4". Esta madera debe estar bien anclada a las paredes de la casa con angulares (ver Figura 7) en los puntos de apoyo indicados en la Figura 13.

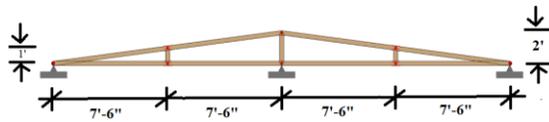
Encima del armazón, se deben colocar alfajías según se muestra en la Figura 15. Las alfajías deben tener una separación de 16", pero más cerca del perímetro se deben acercar a 12", según se puede apreciar en la figura.



**Figura 12**  
Vista 3D en "Visual Analysis"

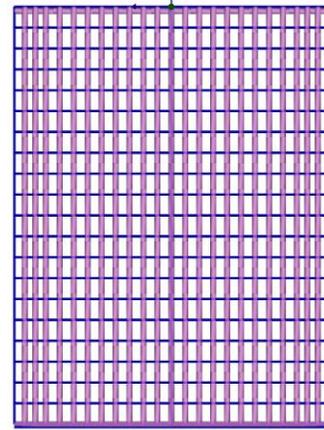


**Figura 13**  
Vista de Planta del Armazón

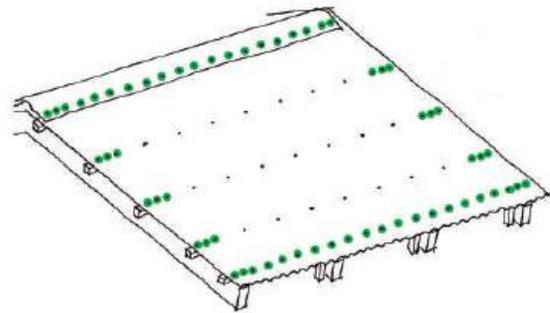


**Figura 14**  
Vista Frontal del Armazón

El zinc debe estar colocado encima de este armazón, sobreponiendo al menos dos ondulaciones entre plancha y plancha (ver Figura 5), clavados o atornillados a la madera. En el perímetro se debe clavar o atornillas a cada pie de distancia, utilizando las primeras tres filas de las alfajías. Para la demás área se debe clavar o atornillar a la misma distancia dejándose llevar las posiciones de las alfajías (ver Figura 16).

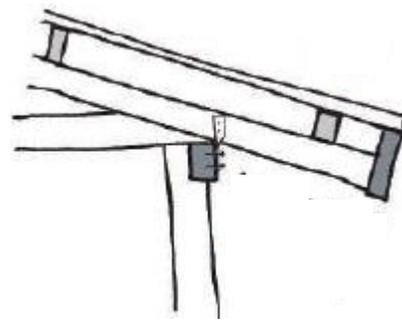


**Figura 15**  
Vista de Planta del Armazón con Alfajías



**Figura 16**  
Manera Ilustrativa de Anclar el Zinc [5]

Para proteger las paredes de las casas de lluvias, se puede dejar un voladizo de no más de 18", aunque lo típico en Puerto Rico es de 12" (ver Figura 17). Por último, es imperativo tapar cualquier hueco que se encuentre a través de la instalación ya sea entre las paredes y el techo, en el centro arriba del todo de la estructura y huecos que pueda haber en el zinc.



**Figura 17**  
Voladizo Adecuado [5]

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este artículo se dirige a ayudar a crear conciencia y poder adquirir conocimientos básicos sobre la construcción de techos resistentes a huracanes. También tienen miras de que pueda servir a la hora de reconstruir techos que hayan fallado.

El diseño estándar propuesto se realiza con la idea de proveer un techo bastante fuerte, estable y resistente a cargas de vientos provocadas por huracanes. Algunos puntos adicionales que se pueden considerar para obtener un mejor desempeño:

- Doblar los clavos luego de ser colocado es una práctica excelente y puede mejorar la estructura significativamente (ver Figura 6).
- El uso de tensores para un evento de huracanes parece ser una práctica que se está convirtiendo en usual para las casas más vulnerables.
- Para las casas existentes, una inspección y mantenimiento continuo es recomendable para la durabilidad de los techos. Por ejemplo, si se observa que los anclajes no tienen una separación adecuada, se puede optar por añadir clavos helicoidales o tornillos.
- Los tornillos tienen una capacidad considerablemente mayor que los clavos.
- Para huecos que pueda haber en el zinc, es muy importante taparlos. Para esto se recomienda el uso de aceite de asfalto, comúnmente conocido como bitumul.

## REFERENCIAS

- [1] Associated Press, “Lo último: Irma llega a Puerto Rico con Vendavales y Lluvias”, *AP News*, 9 sept. 2017. [En línea]. Disponible: <https://apnews.com/article/ec6f729618a842f8a007aee1c5b75288> [Recuperado el 10 de mayo de 2021].
- [2] Mitigation Assessment Team, *Mitigation Assessment Team Report. Hurricanes Irma and Maria in Puerto Rico: Building Performance, Observations, Recommendations and Technical Guidance*. Report FEMA P-2020 MA, Puerto Rico, USA, Rep. 2020, October 2018. [En línea]. Disponible: [https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/mat-report\\_hurricane-irma-maria-puerto-rico\\_2.pdf](https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/mat-report_hurricane-irma-maria-puerto-rico_2.pdf) [Recuperado el 4 de abril de 2021].
- [3] El Nuevo Día & Primera Hora, “María, un nombre que no vamos a olvidar”, *El Nuevo Día*, 28 ago. 2018. [En línea]. Disponible: <https://huracanmaria.elnuevodia.com/2017/> [Recuperado el 21 de abril de 2021].
- [4] E. Echevarría, “I Shot Aerial Photos of Puerto Rico in Ruins After Hurricane Maria,” *PetaPixel*, 14 oct. 2017. [En línea]. Disponible: <https://petapixel.com/2017/10/14/shot-aerial-photos-puerto-rico-ruins-hurricane-maria/> [Recuperado el 10 de mayo de 2021].
- [5] J. Cidón Martínez, C. Izquierdo Pérez., *Viviendas de madera resistentes a huracanes. Guía sobre construcción y reparaciones seguras*. Costa Rica: Hábitat para la Humanidad Internacional, 2017.
- [6] Comercial Arar Ltda. “Tornillos”. Comercial Arar Ltda. <https://www.arar.cl/folletos/09Tornillos.pdf> (Recuperado el 4 de abril de 2021)
- [7] Colegio de Ingenieros y Agrimensores de PR, *Huracanes en Puerto Rico, Guía de Mitigación de Daños Antes, Durante y Después del Huracán*, 1era. ed. San Juan, PR: CIAPR, CD, FEMA, 1996.
- [8] Forestal Dipede Madera Viva, “Madera Cepillada de Pino Seco 1x4" x 3.20 mts”, Forestal Dipede Madera Viva. [En línea]. Disponible: <https://www.dipede.cl/products/madera-cepillada-de-pino-seco-1x4-x-3-20-mts> [Recuperado el 12 de abril de 2021].