Envolvente de un Edificio Resistente a Huracanes

Valeria Madera Olmeda, Asesor: Profesor Gustavo Pacheco Crosetti PhD, PE, Co-asesor: Omaira Collazos Ordóñez PhD
Universidad Politécnica de Puerto Rico, Programa de Investigación Subgraduada para Estudiantes de Honor 2020-2021
HSI STEM GRANT
San Juan, Puerto Rico, 17 de septiembre de 2021

Abstracto

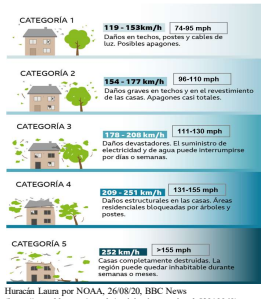
El paso de un huracán puede ocasionar muchos daños en la envolvente de las casas y edificios (Costa, C., Olona, C., Tombesi, C., 2020). Las fallas principales son en las ventanas y puertas, ya que son los elementos más vulnerables de la envolvente. Hasta el momento en Puerto Rico no existe ninguna regulación que exija el uso de ventanas resistentes a huracanes en construcciones nuevas ni existentes. Esta investigación tiene como propósito contribuir a reducir los daños y las perdidas que son ocasionadas por los huracanes, aumentando la resiliencia de las edificaciones. Por ello, se desarrollaran guías que se puedan utilizar como punto de partida para futuras enmiendas en el código de construcción de Puerto Rico que incluyen requisitos de resistencia a vientos huracanados en ventanas de edificios nuevos y en reparaciones de edificios existentes.

Introducción

Cada año, entre los meses de junio y noviembre, los huracanes azotan la zona del Caribe, arrasando con edificios y poblaciones (Costa, C., Olona, C., Tombesi, C., 2020). El paso de los huracanes ha provocado que muchas personas hayan perdido sus hogares, mascotas, pertenencias, incluso hasta sus vidas. En el año 2017 el huracán María impactó Puerto Rico como categoría 5 dejando a su paso 166,000 casas destruidas (Cruzado & Pacheco, 2018).

El sistema de ventanas más común observado en edificios residenciales en Puerto Rico son las ventanas estilo "miami". Sin embargo, no son herméticas al aire ni al agua y permiten que el aire fluya a través del edificio. La consecuencia es un aumento de la presión sobre los sistemas de techo desde el interior de los edificios, lo que ocasiona la falla de la plataforma del techo, la estructura del techo y los sistemas de techo completos (FEMA P-2020, 2018).

Escala de vientos de huracanes Saffir-Simpson



Huracán Laura por NOAA, 26/08/20, BBC News (https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-53919969)

Daños por Huracanes

Huracán	Categoría	Año	Casas Destruidas	Daños Económicos
Hugo	4	1989	13,000	1.5 billones
Georges	3	1998	28,005	2.0-8.0 billones
María	5	2017	166,000	100 billones

Esta tabla describe los huracanes mas significativos que han pasado por Puerto Rico en los pasados 40 años.

Cruzado, H., Pacheco, G., (2018, abril 6). *Mega Viernes Civil.* Retrieved from Structural Damages due to Hurricane María.
El Nuevo Día. (2013, julio 8). Retrieved from Los cinco huracanes más intensos en Puerto Rico: : https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/notas/los-cinco-huracanes-mas-intensos-en-puerto-rico/

Objetivos

Los objetivos específicos de esta investigación son: determinar la situación actual de la industria de construcción de ventanas y otros componentes en Puerto Rico; conocer la capacidad de resistencia a vientos huracanados que deben tener la envolvente de un edificio; desarrollar guías que puedan usarse como punto de partida para establecer un proceso de certificación de ventanas en PR. Las mismas deben ser diseñadas con las velocidades de diseño de vientos en PR, de acuerdo con el Código de Edificación de Puerto Rico 2018 (adoptado en febrero 2019).

Metodología

1. Documentación detallada de las fallas en envolvente y sus causas.
2. Estudio de los requisitos para aprobación de producto (ventanas resistentes a huracanes) usando el código de construcción de Florida y evaluando el código de PR.
3. Procesos de pruebas para certificar ventanas.
4. Estudio de los equipos y laboratorios para la realización de pruebas en ventanas.
5. Estudio de velocidades básicas del viento para las diferentes categorías de riesgo que incluyan el factor de topografía en diferentes localizaciones de PR.
6. Desarrollo y aplicación de un formulario para el estudio de mercado de las ventanas en PR.
7. Desarrollo de lineamientos generales que deberían tener las guías de certificación de ventanas en PR.

Detalle de las fallas en envolvente y sus causas

En estas imagenes se muestran daños en la envolvente ocasionados por el Huracán María.

Infobae, 21/09/17 por Carlos Garcia Rawlins (https://www.infobae.com/america/fotos/20170921/las-imagenes-de-la-devastacion-tras-el-paso-de-maria-por-puerto-rico/)

Héctor Cruzado, PhD, PE ; Gustavo Pacheco, PhD, PE. (2018, abril 6). *Mega Viernes Civil.* Retrieved from Structural Damages due to Hurricane María.

Pruebas para certificar ventanas.

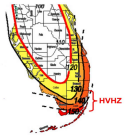
El código de construcción de Florida existe una sección que indica los lugares con mayor riesgo dentro del estado y cuáles deben ser las pruebas que se deben realizar a las ventanas. Las pruebas que se realizan están detalladas en los ASTM ("American Society for Testing and Materials") y para las zonas de alto riesgo se deben utilizar el estándar de TAS ("Testing Application Standard").

Tipos de Pruebas:

1. **Prueba estructural:** se prueba el marco de la ventana y el vidrio. Esto se realiza lanzado un proyectil, como se muestra en la tabla.

2. **Infiltración del agua:** se prueba el porcentaje de presión de agua mantenida en el exterior. Para conocer el porcentaje se coloca la ventana en la pared de prueba y con un equipo especial se le rocía agua.

3. **Infiltración de aire:** mide la cantidad de aire que se escapa a través de una ventana. Esto se hace sellando la ventana y colocando un equipo que le expulsará aire a la ventana.



Zona de alto riesgo en FL

Large Missile (● Impact Location)					
Missile: 2" X 4" Lumber	ASTM E-1996	Level B: 2lb @ 50 ft/s; Level C: 4.5lb @ 50 ft/s; Level D: 9lb @ 50 ft/s; Level E: 9lb @ 50 ft/s	●		●
	TAS 201 (HVTZ)	9lb @ 50 ft/s	●	●	●

Pass/Fail: • No Tear Permitting a 3" Sphere to Pass Through • No Tear Longer than 5"

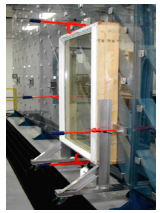
Small Missile (● Impact Location)					
Missile: (10) 2 Gram Steel Balls	ASTM E-1996	2g @ 130 ft/s	●	●	●
	TAS 201 (HVTZ)	2g @ 130 ft/s	●●	●●	●●

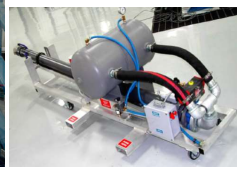
Pass/Fail: • No Tear Permitting a 3" Sphere to Pass Through • No Tear Longer than 5"; Pass/Fail: • No Tear Longer than 5" and 1/16" in Width

Comparación entre el ASTM E-1996 y el TAS 201

ProTek® Understanding Codes for Windborne Debris (July 2010) por Gilbert, M. (https://www.ct.gov/dpw-bdc/lib/dpw-bdc/Hurricane_Impact_Presentation_July2010.pdf)

Equipos y laboratorios para la realización de pruebas en ventanas.





Automated Testing Solutions. (n.d.). Retrieved from https://www.ats-equipment.com/?page_id=99

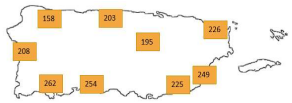
En la imagen de la izquierda se muestra el "Test Wall System" es una pared especializada para colocar las ventanas y realizar todos los tipos de pruebas. A la derecha se observa el Cañón que se utiliza para lanzar los misiles. Ambos equipos son de la compañía Automatic Testing Solutions Inc. Estos equipos cumplen los requisitos de los estándares ASTM (American Society for Testing and Materials) y NAFS (North American Fenestration Standard). También cumple con las certificaciones del AAMA (American Architectural Manufacturers Association) y Miami Dade County.

Estudio de velocidades básicas del viento para las diferentes categorías de riesgo que incluyan el factor de topografía en diferentes localizaciones de PR.

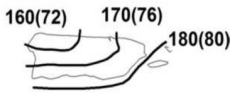
Se analizó y se comparó las velocidades básicas de viento del ASCE 7-16 (American Society of Civil Engineering) con las velocidades de viento ATC (Applied Technology Council) Hazards by Location. Se estarán analizando las categorías de uso de edificios II, III y IV, ya que son categorías que involucran un riesgo sustancial para la vida humana. Usando un mapa topográfico de PR (USGS) se localizaron los puntos mas elevados y pendientes en cada zona del país. Los resultados son presentados en la siguiente tabla, en la misma se muestran los diferentes pueblos con las respectivas velocidades básicas del viento considerando el efecto de topografía para cada categoría de uso. Estas velocidades son presentados gráficamente en el mapa para diferentes ciudades.

Pueblo	Coordenadas		Categoría II	Categoría III	Categoría IV
Yabucoa	18.0258	-65.863	231	249	262
Maunabo	18.0079	-65.8577	205	225	234
Guayama	18.002	-66.1538	234	254	266
Guánica	17.9758	-66.9225	243	262	275
Mayagüez	18.1816	-67.1268	194	208	214
Isabela	18.4373	-67.0283	149	158	164
Barceloneta	18.4261	-66.5298	192	203	211
Comerio	18.2408	-66.2242	182	195	202
Fajardo	18.3583	-65.6271	209	226	237

Velocidades básicas del viento para la categoría de riesgo III

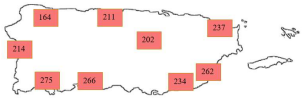


Con efecto de topografía (ATC)



Sin efecto de topografía (ASCE 7)

Velocidades básicas del viento para la categoría de riesgo IV



Con efecto de topografía (ATC)

Sin efecto de topografía (ASCE 7)

Estudio del mercado de ventanas en PR.

Se realizaron estudios de mercados para conocer los lugares que venden ventanas resistentes a huracanes en PR. Se desarrollo un formulario basado en los datos disponible de ventanas de la tienda Home Depot donde se compararon artículos en la tienda de PR y de Florida. Como resultado de este formulario encontramos que en PR tienen ventanas resistentes disponibles en la tienda mientras que en Orlando Fl se debe realizar por pedido especial. Se visitaron diferentes lugares en PR que venden ventanas resistentes a huracanes y se hicieron unas preguntas específicas para conocer más información sobre el tipo de ventanas. Los resultados de esta exploratoria son:

Localidad #1: San Miguel Windows
Ave. FD Roosevelt #1139, San Juan P.R.

Venden ventanas resistentes a huracanes, pero solo por pedido especial, ya que ellos le compran las ventanas a la compañía PGT Windows. Estas ventanas cumplen con las certificaciones de Miami-Dade Notice of Acceptance, AAMA Tested /Keystone Certified y Florida Product Approval.

Localidad #2: Air Master
Barceloneta, Puerto Rico

Air Master vende ventanas resistentes a huracanes y cumplen con la certificación del Miami Dade County Code. El proceso de esta compañía es fabricar sus ventanas en Puerto Rico y enviarlas a algún laboratorio certificado en Estados Unidos para que pueda ser aprobada como ventana resistente. En Barceloneta, PR tienen su propio laboratorio, pero el mismo aún no cumple con algunos requisitos para ser un laboratorio certificado, no obstante ellos lo utilizan para asegurarse que el tipo de modelo resiste antes de enviarlo a Estados Unidos.

Localidad #3: Valcor
PR-189, Gurabo 00777, Puerto Rico

Esta compañía fabrica sus ventanas en PR y luego las envía a Estados Unidos para la realización de sus pruebas. Valcor vende ventanas resistentes a huracanes y cumplen con las certificaciones del Miami Dade County.

Conclusión

El código de Construcción de Florida fue una parte esencial para esta investigación, ya que posee secciones que especifican las pruebas y los requisitos de las ventanas resistentes a vientos huracanados. El estudio de mercado demostró que en Puerto Rico hay varias compañías que elaboran cerramientos que brindan este tipo de ventana disponible para la venta y por pedidos especiales. Estas compañías usan el proceso de certificación de Florida, específicamente el de Miami Dade County. También se visitó el laboratorio de pruebas de Air Master, este laboratorio lo usan para pruebas preliminares en su proceso de investigación, desarrollo y diseño de productos. Si bien el mismo no tiene aún las certificaciones están en proceso de obtenerlas de parte de NOA (Notice of acceptance, Miami Dade County).

Se hicieron estudios de velocidades en zonas críticas de Puerto Rico, por sus elevaciones y pendientes. Para ello se utilizó la herramienta del ATC (Applied Technology Council). Basada en la información obtenida se crearon unos mapas de velocidades máximas de viento por categoría de uso de la edificación. Al realizar las comparaciones de las velocidades de viento según el ATC y el documento ASCE 7-16 se encontró una diferencia significativa, debido al factor de la topografía, incluido en la herramienta del ATC. En el momento de realizar unas guías para las zonas de alto riesgo se deben considerar las velocidades de viento según el ATC, que incluyen el factor de topografía, y no las velocidades básicas de diseño de la ASCE. Según el estudio realizado, las velocidades de vientos huracanados que deberían usarse en las zonas de alto riesgo para certificar ventanas serían del orden de: 245 mph para edificios con Categoría de uso II, 260 mph para edificios con categoría de uso III, y 275 mph para edificios con categoría de uso IV.

Limitaciones

- Falta de información del precio de los equipos que se utilizan para realizar las pruebas a las ventanas que son resistentes a huracanes.
- La visita del laboratorio de Air Master fue limitada, ya que no se pudo participar del desarrollo de pruebas.

Recomendaciones

- Ampliar los datos de más pueblos en Puerto Rico para tener un estudio de velocidades más amplio y zonificar el país por áreas de alto riesgo hasta menor riesgo.
- Presentar esta investigación a diferentes foros con la intención de incentivar una modificación al código de PR
- Desarrollar especificaciones detalladas para las ventanas que se deben usar en PR.
- Fomentar el desarrollo de laboratorios locales de pruebas de ventanas, por ejemplo con incentivos contributivos.

Referencias

American Society of Civil Engineers. (n.d.). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. In *STANDARD ASCE/SEI 7-16* (pp. 246-276).
Applied Technology Council. (n.d.). Retrieved from ATC Hazards by Location: https://hazards.atcouncil.org/about
ASTM International. (n.d.). Retrieved from https://www.astm.org/FAQ/index-spanish.html#anchor1
Costa, C., Olona, C., Tombesi, C. (2020, agosto 26). BBC News Mundo. Retrieved from Cómo se forman los huracanes: https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-53910147
Cruzado, H. and Pacheco-Crosetti, G. (2018, abril 6). Mega Viernes Civil. Retrieved from Structural Damages due to Hurricane María.
Fema. (2018, abril 5). *Huracanes Irma y María.* Retrieved from Protección de ventanas y aperturas de edificios: https://www.fema.gov/media-library-data/1532487314103-d92f665e158310bf956aaa794ce81dea/PR-RA5_Protecting_Windows_Openings_Building_ESP_508.pdf
FEMA P 2020. (2018). Retrieved from Mitigation Assessment Team Report: Hurricanes Irma and Maria in Puerto Rico: https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/mat-report_hurricane-irma-maria-puerto- rico_2.pdf
Florida Building Code. (n.d.). Retrieved from Window Systems: http://www.floridabuilding.org/fbc/publications/Fact_Sheets 0307/Window Systems061506revised.pdf
Heise, J. (n.d.). *Florida Building Code, 5th Edition (2014) Fenestration Mitigation Advanced Class*. Retrieved from https://www.floridabuilding.org/fbc/commission/FBC_1015/commission_Education_POC/736/736-0-MATERIAL.pdf
Home Depot. (n.d.). Retrieved from Windows: https://www.homedepot.com/p/Air-Master-Windows-and-Doors-36-in-x-48-875-in-Titan-Light-Duty-All-Louver-Awning-Aluminum-Window-in-White-60041/202526205

Agradecimiento

- Programa de Investigación Subgraduada para Estudiantes de Honor de la Universidad Politécnica de PR por la oportunidad de participar.
- Prof. Gustavo Pacheco Crosetti, PhD, PE y Prof. Omaira Collazos Ordóñez, PhD por toda la enseñanza y mentoría.
- A mis padres y familiares por apoyarme siempre.
- Mis compañeros de investigación por los consejos y la ayuda.