

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SUJECIÓN DE FACHADA VENTILADA CON GRES PORCELÁNICO DE GROSOR REDUCIDO

Karina Felisbino Campos⁽¹⁾, Humberto Ramos Roman⁽²⁾

⁽¹⁾ MSc. Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil.

⁽²⁾ Prof. PhD. Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil.

RESUMEN

Actualmente existe un gran crecimiento de la innovación tecnológica, lo que permite la ejecución de proyectos con sistemas de construcción innovadores. Las fachadas tienen una importancia fundamental en la presentación del edificio y hay una tendencia de cubrir las fachadas con baldosas cerámicas, proporcionando una mayor protección al edificio. Las especificaciones se centran en nuevos materiales y técnicas de construcción con el fin de lograr un mayor valor estético de los proyectos, conseguir el crecimiento de la productividad en los trabajos de construcción, aumentar las prestaciones y especificar materiales y servicios de calidad. La tecnología de las fachadas ventiladas presenta varias ventajas, tales como: mayor agilidad en el plazo de ejecución del trabajo, más seguridad con respecto a la sujeción de las piezas, rendimiento mejorado del confort térmico, reducción de los problemas de infiltración de agua en comparación con el sistema tradicional. El propósito de este trabajo es el dimensionamiento de una fachada ventilada revestida de gres porcelánico de grosor reducido y la sujeción de las piezas por una infraestructura auxiliar de aluminio, una técnica utilizada para la ejecución de muros cortina de vidrio. El dimensionamiento se basa en la determinación de las cargas causadas por el viento y el mismo es la carga aplicada en la infraestructura auxiliar de aluminio y gres porcelánico de grosor reducido. Para el comportamiento estructural de la infraestructura auxiliar de aluminio, se calculan los valores de la flecha máxima permitida, momento de inercia mínimo, momento mínimo de resistencia, expansión térmica lineal y tensión activa. Para el gres porcelánico de grosor reducido, se calcula la resistencia a la flexión y luego se determina la cantidad necesaria de soportes de la estructura. La conexión de la infraestructura auxiliar en aluminio y gres porcelánico de grosor reducido se realiza por medio de un sellante estructural. Se verifica también el dimensionamiento del sellante estructural mediante la determinación de la resistencia a la tracción y a la cizalladura de la fachada que se ha estudiado aquí. Se describe el sistema de construcción de fachada ventilada con gres porcelánico de grosor reducido. Se comprueba la compatibilidad entre los materiales y las dimensiones de acuerdo con las especificaciones.

1. INTRODUCCIÓN

La industria cerámica mejora constantemente el desarrollo de nuevos productos, por lo que resulta necesaria la búsqueda de técnicas de construcción alternativas. Estas técnicas de instalación, asociadas a las baldosas cerámicas pueden generar mejoras significativas en las prestaciones del sistema y ofrecer nuevas oportunidades que se traducen en la calidad de los edificios.

Los fabricantes de baldosas han estado buscando el desarrollo de productos y sistemas sostenibles. Las fachadas ventiladas y el gres porcelánico de grosor reducido se destacan en el mercado de la construcción por sus características de confort térmico, ahorro energético y sistemas de construcción ligeros.

La fachada es la primera impresión visual de un edificio. Se considerada la tarjeta de visita de un edificio y también es responsable de su protección y durabilidad.

Las fachadas ventiladas aumentan la eficiencia energética de los edificios con las características de un sistema sostenible. El sistema de fachada ventilada se compone de un espacio entre la base de apoyo del edificio y la pieza cerámica, definido como una cámara de aire. Las piezas cerámicas se sujetan a la estructura mediante anclajes mecánicos. La mejora de confort térmico se logra a través de la circulación del aire, ya que la variación de la densidad del aire en la cámara de aire hace que asciende el aire caliente para que sea remplazado por aire más frío. Este flujo se produce constantemente en el interior de la cámara de aire que se caracteriza por el efecto chimenea.

El método de ejecución de las fachadas ventiladas puede ser utilizado en construcciones nuevas y en reformas. El proceso de ejecución de las fachadas se considera rápido, ya que las piezas cerámicas y los anclajes mecánicos son materiales prefabricados. Las fachadas ventiladas se caracterizan por un sistema de construcción que promueve la agilidad en la ejecución, una alta productividad, reducción de medidas para controlar la recepción de los materiales y la producción, facilidad de mantenimiento, etc.

El gres porcelánico tipo tiene un grosor de aprox. 10mm. En Europa, se ha desarrollado una tecnología para la fabricación de gres porcelánico con grosor reducido y gran formato.

El gres porcelánico de grosor reducido se caracteriza por su estética y versatilidad dimensional. Está reconocido como el producto y el proceso tecnológico más innovadores que la industria cerámica haya desarrollado en los últimos años.

El gres porcelánico de grosor reducido se define como un gres porcelánico sin esmaltar con una absorción de agua de aproximadamente 0.1%. Actualmente en el mercado brasileño se presenta con dimensiones comerciales máximas de 3x1m y 7kg/m² de peso. También es posible tener grosores de 3.5mm, 7mm y 11mm, y eso es posible con la unión de piezas y la inserción de fibra de vidrio en la parte

posterior de la pieza para proporcionar resistencia mecánica y seguridad en el manejo y transporte del producto. Este trabajo está enfocado para piezas de 3x1m y 3.5mm de grosor (3mm de gres porcelánico y 0.5mm de fibra de vidrio), lo cual resulta en 8 kg/m².

Ya que este producto tiene un grosor reducido y gran formato, la técnica de instalación para las fachadas ventiladas es muy similar a la técnica utilizada para los muros cortina de vidrio.

2. SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN DE LA FACHADA VENTILADA CON GRES PORCELÁNICO DE GROSOR REDUCIDO

En primer lugar, para un método de ejecución de fachada ventilada, se deben comprobar la compatibilidad del diseño arquitectónico con el sistema de construcción de la fachada ventilada, la comprobación de la carga debido al viento de acuerdo a las dimensiones del edificio, la ubicación y la topografía.

La definición de la infraestructura auxiliar en aluminio está directamente relacionada con el dimensionamiento de los perfiles verticales y horizontales, resistencia a la flexión del gres porcelánico de grosor reducido y sellante estructural. Se ha proporcionado una cámara de aire con el fin de hacer que el sistema funcione con ventilación. Se han definido los componentes y accesorios para la composición del sistema de fachada ventilada. La elección de los perfiles ha sido a través de cálculos del comportamiento estructural y la compatibilidad de los perfiles utilizados para los muros cortina en el mercado brasileño.

El sistema de construcción de la fachada ventilada tiene un peso total de 12kg/m². Se considera el gres porcelánico de grosor reducido un material ligero, al pesar solo 8kg/m². La infraestructura auxiliar en aluminio corresponde a 4kg/m².

El uso de perfiles verticales y horizontales y anclajes se definió de acuerdo con las cargas del viento. Estos elementos desempeñan la función estructural del sistema. Se define también el perfil llamado de lámina, con un perfil periférico, que envolverá todos los lados de la pieza de gres porcelánico de grosor reducido. El perfil de lámina con el gres porcelánico de grosor reducido y el sellante estructural constituyen un marco. La unión del perfil de lámina y del gres porcelánico de grosor reducido se lleva a cabo por el sellante estructural.

La fachada estudiada se define por el llamado sistema "Stick". La instalación de la fachada Stick se hace pieza por pieza. En primer lugar, se sujetan los perfiles verticales, luego los perfiles horizontales y, finalmente, los perfiles de las láminas (ya adheridos al gres porcelánico de grosor reducido, como un marco – ha sido adoptado el término "marco" para explicar la unión del perfil de lámina + gres porcelánico de grosor reducido + sellante estructural). La Figura 1 muestra los princi-

pales perfiles, componentes y accesorios de la infraestructura auxiliar en aluminio y la Figura 2 muestra el Sistema Stick.

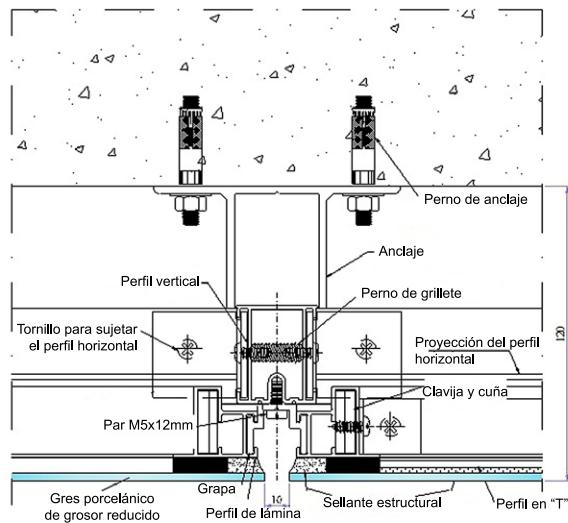


Figura 1 – Detalles del Sistema (mm).

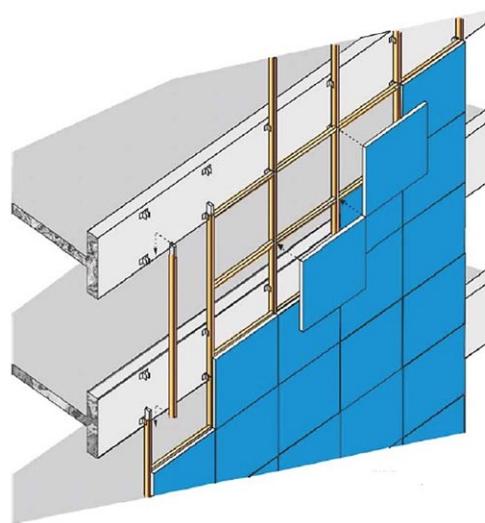


Figura 2 – Fachada Stick (Santos, 2005).

Para la instalación de una fachada ventilada, el primer paso es la instalación de los anclajes, responsables de la conexión del sistema de construcción de la fachada a la base de apoyo del edificio.

Mediante la expansión de los pernos de anclaje de acero inoxidable, los anclajes se instalan en zonas de hormigón. Se fijan los perfiles verticales a los anclajes por un perno. Después de la instalación de los anclajes, la sujeción del perfil vertical se realiza mediante un perno de grillete. Después de la instalación de los perfiles verticales, los perfiles horizontales se sujetan a los perfiles verticales a través de elementos de sujeción previamente colocados en los mismos.

Los anclajes tienen una función estructural y determinan la alineación de los perfiles verticales y horizontales, además de soportar las cargas de su propio peso, el peso de la pieza cerámica y la carga del ambiente exterior.

La conexión del marco con el sistema se lleva a cabo mediante grapas. La grapa es parte del perfil de lámina y constituye un pre-montaje de las grapas a lo largo de los perfiles de lámina antes de su envío a la obra. Un tornillo (M5x12mm, de color negro) sujetá las grapas a los perfiles verticales y horizontales. Un sistema de clavija y cuña es el encargado de cerrar el perfil de lámina con un ángulo de 45°.

El espacio entre el gres porcelánico de grosor reducido (o las juntas) es de 10mm. La dimensión mínima de 10mm es determinada por el tamaño del tornillo (Par M5x12mm), debido a que es necesario fijar el tornillo entre las juntas para ejecutar la sujeción del marco a los perfiles verticales y horizontales.

Con este tipo de sistema de construcción que utiliza la sujeción por grapas, se puede montar y desmontar cada marco de manera individual. Simplemente se retira el tornillo y el perfil de lámina (marco). Esta ventaja es muy importante porque si hay alguna exigencia de sustituir cualquier pieza de gres porcelánico de grosor reducido, pueden ser remplazadas fácilmente sin descolocar otras piezas que componen la fachada. Todos los perfiles son extruidos y reciben el proceso de anodizado en color negro.

La cámara de aire se determina por la instalación del sistema de construcción y tiene un grosor máximo de 120mm. El grosor mínimo es de 70mm y se determina por el área requerida para la instalación de la infraestructura auxiliar en aluminio. La cámara de aire está diseñada para funcionar con el sistema de ventilación. De este modo, las aberturas superior e inferior y también las juntas de 10mm permanecen abiertas.

Se utiliza una lámina perforada de aluminio para un acabado en la parte superior e inferior de la cámara de aire. Esta lámina tiene la función de cerrar la cámara para evitar la presencia no deseada de determinados elementos (como insectos, hojas, etc.).

Se utiliza un perfil en "T" de aluminio que se adjunta a la parte posterior del gres porcelánico de grosor reducido. Este perfil se encarga de evitar los esfuerzos de flexión en el marco. La sujeción del perfil en la parte posterior del gres porcelánico de grosor reducido se lleva a cabo por medio del sellante estructural. El perfil en "T" se ata también en los perfiles de lámina por medio de tornillos. Se determina mediante cálculo de resistencia de flexión la aplicación del perfil en "T" a cada 75 cm.

El mapa del perfil se presenta en la Figura 3. Las dimensiones, formas y datos estructurales de cada perfil: vertical, horizontal, lámina, grapa, anclaje, perfil en "T" (soporte), clavija y cuña de conexión. Los momentos de inercia (J_x y J_y), momentos de resistencia (W_x y W_y) y distancia del centro (X e Y) también son presentados.

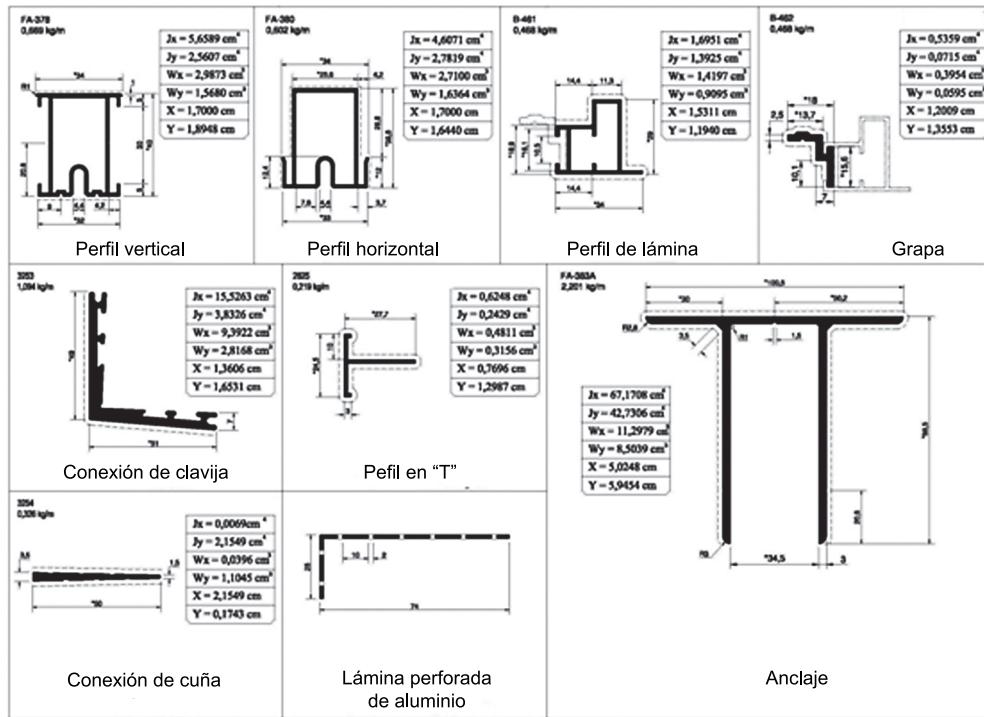


Figura 3 – Mapa de perfiles de la infraestructura auxiliar en aluminio.

Es muy importante determinar el comportamiento estructural de los perfiles. Por ejemplo, el perfil vertical soporta su propio peso, el peso y la carga del gres porcelánico debido al viento. La instalación de los perfiles verticales y horizontales define el plan ortogonal con el fin de llevar a cabo los marcos (perfil de lámina con gres porcelánico de grosor reducido).

Las Figuras 4 y 5 muestran el sistema compuesto por el perfil de lámina, gres porcelánico de grosor reducido y sellante estructural. También hay la sujeción por grapas. En primer lugar, se cierra el perfil de lámina como un tablero (con el perfil de lámina + gres porcelánico de grosor reducido + sellante estructural = marco). El segundo paso consiste en aplicar el espaciador (cinta de espuma de polietileno con caras adhesivas) que tiene la función de mantener el gres porcelánico de grosor reducido en la posición ideal para recibir el sellante estructural. Esto se inserta en el espacio que queda entre el perfil de lámina y el gres porcelánico de grosor reducido. Después de la aplicación de sellante estructural, es necesario esperar la cura, y más tarde enviar a la obra y colocar en los perfiles verticales y horizontales.

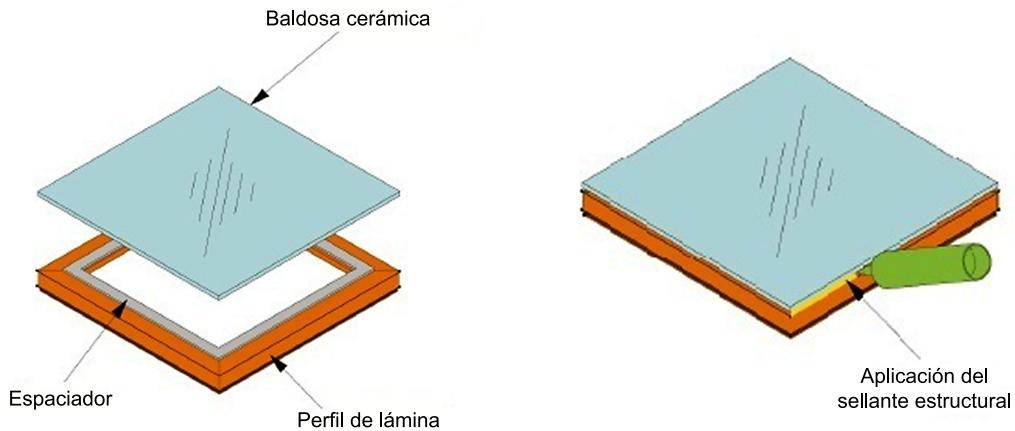


Figura 4 –Montaje del perfil de lámina + gres porcelánico de grosor reducido + sellante estructural = marco. (Tecnologia&Vidro, 2000).

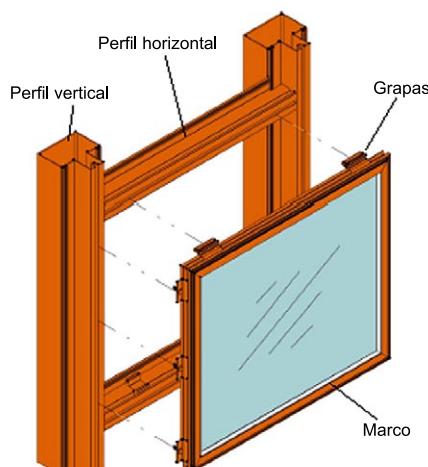


Figura 5 –Sistema de sujeción por grapas (Tecnologia&Vidro, 2000).

En las Figuras 6 y 7 se presentan los perfiles, componentes y accesorios para la instalación de la fachada ventilada, además del gres porcelánico de grosor reducido, el perfil vertical, perfil de lámina, anclaje, perno de anclaje, perno de grillete, espaciadores, grapas y sellante estructural.

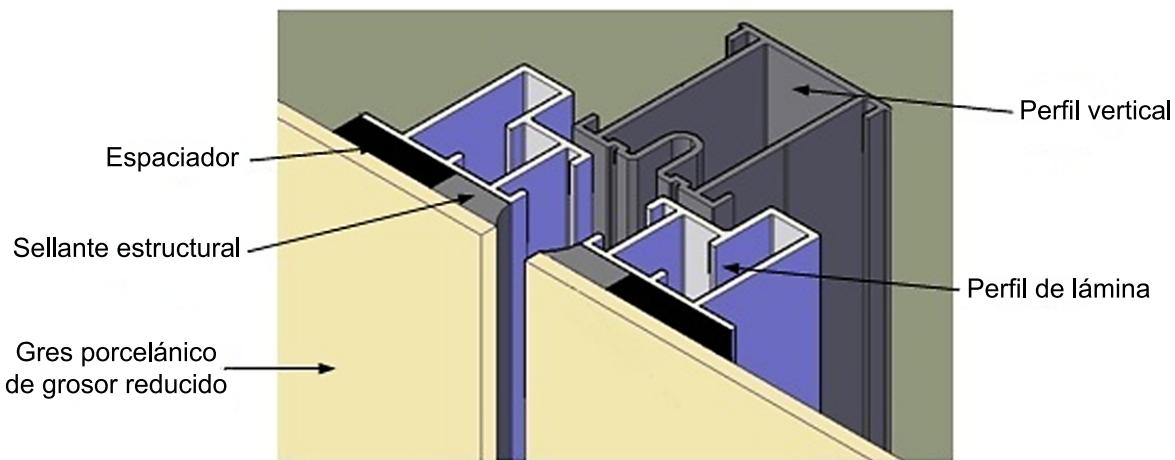


Figura 6 -Detalle de las juntas.

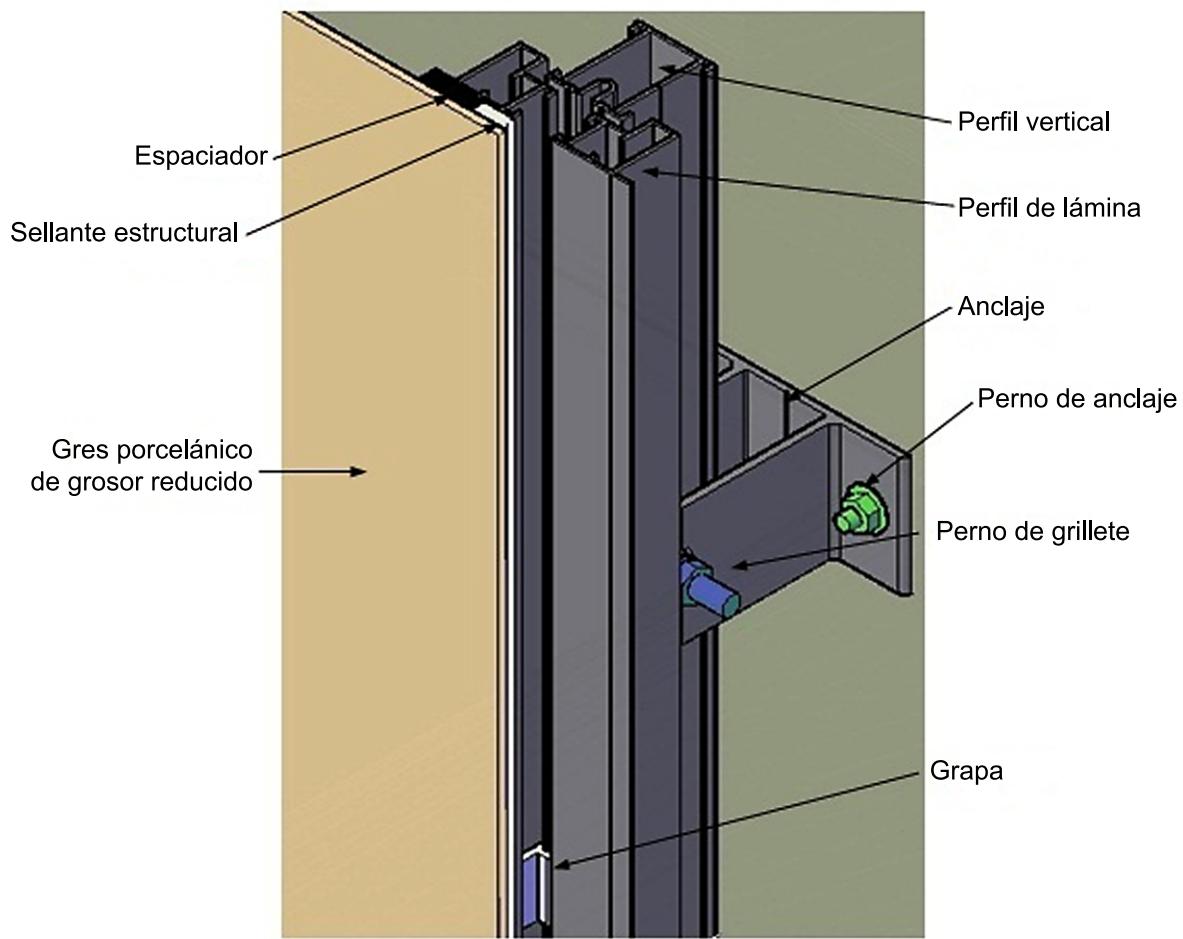


Figura 7 – Sistema de sujeción por grapas.

2.1. Cargas por el viento – NBR 6123 (1988)

Para el dimensionado de la fachada ventilada, se ha calculado la carga provocada por el viento, de acuerdo con la norma NBR 6123 (1988). En la Figura 8 se presenta un mapa con las velocidades básicas del viento con respecto a las regiones de Brasil.

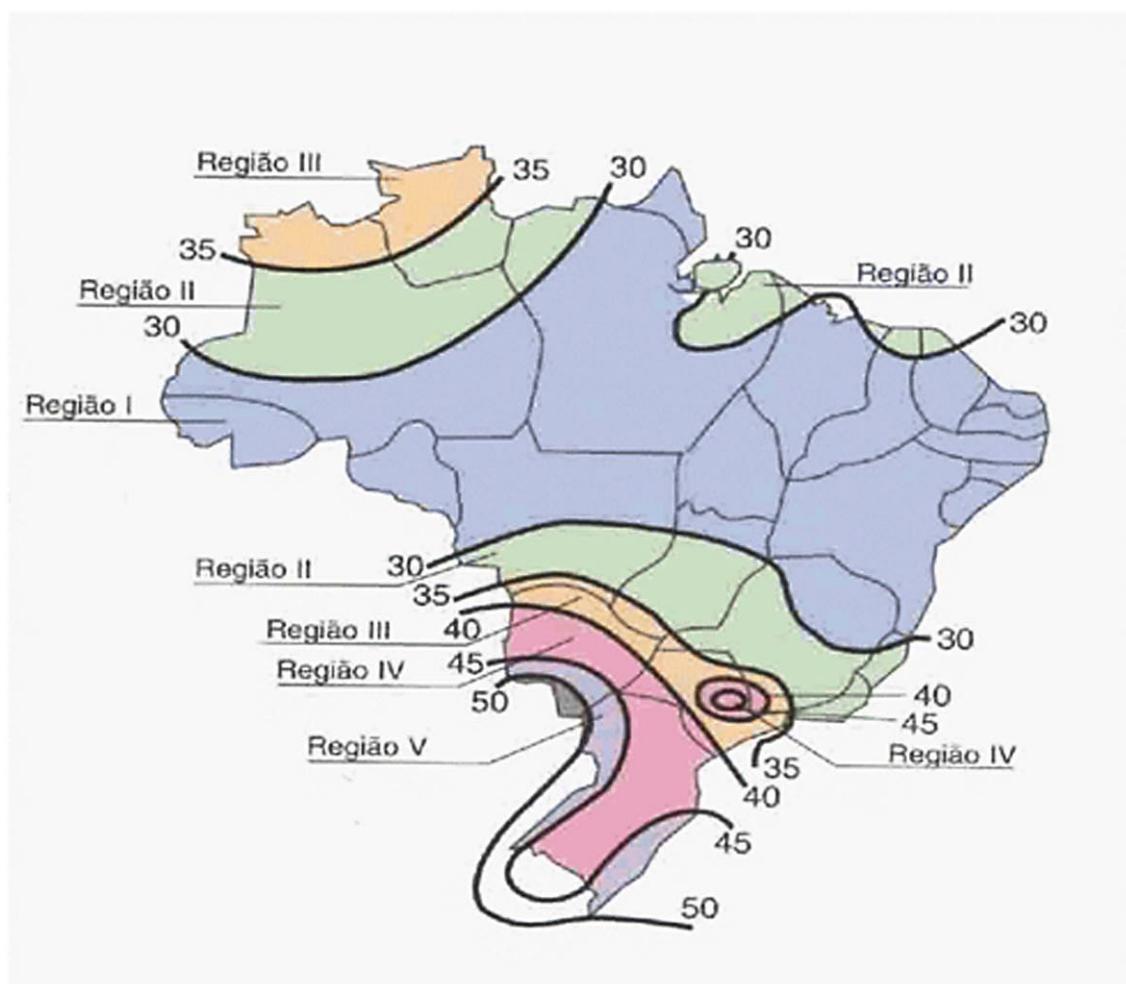


Figura 8 –Mapa de las velocidades básicas del viento; “ v_0 ” en m/s en Brasil (NBR 6123,1988).

En primer lugar, se ha adoptado una velocidad básica del viento de 50m/s. Así, se estableció una presión de ensayo de 2001.04 N/m². Se ha aplicado la recomendación de la NBR 10821 (2000), cuya ensayo de presión es de 1800.00N/m para muros cortina. Por lo tanto, para la fachada que se ha estudiado aquí, se ha considerado este valor para el diseño del sistema de construcción. Se llevó a cabo una comprobación, incluso suponiendo una velocidad básica del viento igual a 45m/s, ya que esta velocidad cubre casi todo el territorio brasileño y se ha encontrado una presión de ensayo de 1620.84 N/m². Por lo tanto, se ha concluido que la presión de ensayo utilizada en este trabajo está de acuerdo con las especificaciones.

2.2. Comportamiento estructural

Para el dimensionamiento de los perfiles verticales y horizontales se ha considerado que la carga de la estructura tiene una geometría trapezoidal, ya que los esfuerzos no se concentran en toda la zona del perfil. Se han seguido las recomendaciones de la NBR 10821 (2000). En las Figuras 9 y 10 hay una carga trapezoidal para los perfiles verticales y horizontales, respectivamente.

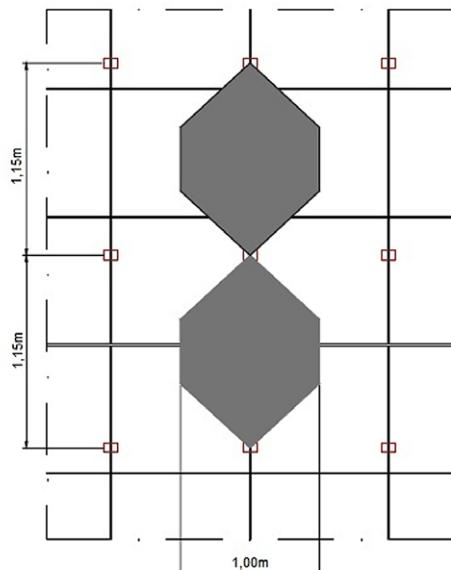


Figura 9 – Carga en el perfil vertical.

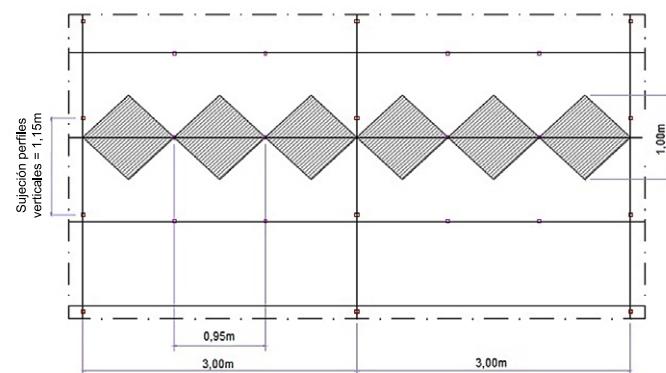


Figura 10 – Carga en el perfil horizontal.

El perfil horizontal o vertical distribuye uniformemente las cargas con un esquema de doble soporte.

Se ha determinado a través del comportamiento estructural que los perfiles verticales se sujetan por anclajes a la base de la estructura del edificio en intervalos de hasta 1.15 m. Los perfiles horizontales deben sujetarse por medio de anclaje por lo menos a cada 0.95 m.

Los siguientes datos para el análisis estructural son necesarios:

- Distancia Soportes:

- Perfil Vertical – A = 1.00m
- Perfil Horizontal – A = 1.00m

- Distancia Ejes:

- Perfil Vertical L = 1.15m
- Perfil Horizontal – L = 0.95m

- Área de sección del ensayo:

Matemáticamente, se determina el área de la sección a partir de la siguiente expresión:

$$S_m = (H - b/2) \times b$$

- Perfil Vertical:

$$\begin{aligned} S_m &= (1.15m - 1.00m/2) \times 1.00(m) \\ S_m &= 0.65 m^2 \end{aligned}$$

- Perfil Horizontal:

$$\begin{aligned} S_m &= (0.95m - 1.00m/2) \times 1.00(m) \\ S_m &= 0.45 m^2 \end{aligned}$$

- Presión de Ensayo:

$$P_e = 1800.00 \text{ N/m}^2$$

- Carga total en la sección:

- Perfil Vertical:

$$\begin{aligned} Q &= 1800.00 \text{ (N/m}^2\text{)} \times 0.65 \text{ (m}^2\text{)} \\ Q &= 1170.00 \text{ N} \end{aligned}$$

- Perfil Horizontal:

$$\begin{aligned} Q &= 1800.00 \text{ (N/m}^2\text{)} \times 0.45 \text{ (m}^2\text{)} \\ Q &= 810.00 \text{ N} \end{aligned}$$

- Carga distribuida:

- Perfil Vertical:

$$q = \frac{1170.00(\text{N})}{1.15(\text{m})}$$

$$q = 1017.39 \text{ N/m}$$

- Perfil Horizontal:

$$q = \frac{810.00(\text{N})}{0.95(\text{m})}$$

$$q = 852.63 \text{ N/m}$$

- Módulo de elasticidad del aluminio:

$$E = 70 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \text{ (70GPa)}$$

- Tensión admisible de la aleación de aluminio 6060-T5:

$$\sigma_{adm} = 75 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \text{ (75MPa)}$$

- Coeficiente de dilatación lineal

$$\alpha = 24 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Cálculo de la flecha máxima permitida:

$$\delta_{adm} = \frac{L}{175} \leq 2 \text{ cm}$$

- Perfil Vertical:

$$\delta_{adm} = \frac{115(\text{cm})}{175}$$

$$\delta_{adm} = 0.66 \text{ cm} (0.0066 \text{ m})$$

- Perfil Horizontal:

$$\delta_{adm} = \frac{95(\text{cm})}{175}$$

$$\delta_{adm} = 0.54 \text{ cm} (0.0054 \text{ m})$$

Momento de inercia mínimo:

$$D_{max} = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI}$$

- Perfil Vertical:

$$J_x = \frac{5}{384} \times \frac{1017.39 (\text{N/m}) \times (1.15 \text{ m})^4}{70 \times 10^9 (\text{N/m}^2) \times 0.0066 (\text{m})}$$

$$J_x = 5.0150 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

- Perfil Horizontal:

$$J_y = \frac{5}{384} \times \frac{852.63 (\text{N/m}) \times (0.95 \text{ m})^4}{70 \times 10^9 (\text{N/m}^2) \times 0.0054 (\text{m})}$$

$$J_y = 2.3922 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Momento de resistencia mínimo:

La ecuación para definir la tensión de flexión activa se calcula por la resistencia de los materiales de la siguiente forma:

$$\sigma_f = \frac{M_{max}}{I} \times y$$

Para la deducción de la ecuación para el momento de resistencia, (W) se calcula de la siguiente forma:

$$W = \frac{qL^2}{8 \sigma_{max}}$$

- Perfil Vertical:

$$W_f = \frac{1017.39 (\text{N/m}) \times (1.15 \text{ m})^2}{8 \times 75 \times 10^6 (\text{N/m}^2)}$$

$$W_f = 2.2425 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

- Perfil Horizontal:

$$W_f = \frac{852.63 (\text{N/m}) \times (0.95 \text{ m})^2}{8 \times 75 \times 10^6 (\text{N/m}^2)}$$

$$W_f = 1.2825 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Dilatación térmica lineal:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

- Perfil Vertical:

$$\Delta L = 24 \times 10^{-6} (\text{°C}^{-1}) \times 1.15 (\text{m}) \times (45^\circ - 0^\circ)$$

$$\Delta L = 24 \times 10^{-6} (\text{°C}^{-1}) \times 1.15 (\text{m}) \times (45^\circ - 0^\circ)$$

$$\Delta L = 1.242 \times 10^{-3} \text{ m (0.1242 cm)}$$

- Perfil Horizontal:

$$\Delta L = 24 \times 10^{-6} (\text{°C}^{-1}) \times 0.95 (\text{m}) \times (45^\circ - 0^\circ)$$

$$\Delta L = 24 \times 10^{-6} (\text{°C}^{-1}) \times 0.95 (\text{m}) \times (45^\circ - 0^\circ)$$

$$\Delta L = 1.026 \times 10^{-3} \text{ m (0.1026 cm)}$$

Análisis estructural de los perfiles verticales y horizontales (Aleación de aluminio = 6060 T5):

- Perfil Vertical:

$$J_x = 5.6589 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$J_y = 2.5607 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W_x = 2.9873 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_y = 1.5680 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

- Perfil Horizontal:

$$J_x = 4.6071 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$J_y = 2.7819 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W_x = 2.7100 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_y = 1.6364 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Flecha máxima de los perfiles verticales y horizontales:

- Perfil Vertical:

$$\delta_f = \frac{5}{384} \times \frac{1017.39 (\text{N/m}) \times (1.15 \text{m})^4}{70 \times 10^9 (\text{N/m}^2) \times 5.6589 \times 10^{-8} (\text{m}^4)}$$

$$\delta_f = 0.0058 \text{ m}$$

$$\delta_f \leq \delta_{adm}$$

$$0.0058 \text{ m} < 0.0066 \text{ m}$$

- Perfil Horizontal:

$$\delta_f = \frac{5}{384} \times \frac{852.63 (\text{N/m}) \times (0.95 \text{m})^4}{70 \times 10^9 (\text{N/m}^2) \times 2.7819 \times 10^{-8} (\text{m}^4)}$$

$$\delta_f = 0.0046 \text{ m}$$

$$\delta_f \leq \delta_{adm}$$

$$0.0046 \text{ m} < 0.0054 \text{ m}$$

Tensión activa de los perfiles verticales y horizontales:

- Perfil Vertical:

$$M_f = \frac{1017.39 (\text{N/m}) \times (1.15 \text{m})^2}{8}$$

$$M_f = 168.19 \text{ N.m}$$

$$\sigma_f = \frac{168.19 (\text{N.m})}{2.9873 \times 10^{-6} (\text{m}^3)}$$

$$\sigma_f = 56.30 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\delta_f \leq \delta_{adm}$$

$$56.30 \text{ MPa} < 75.00 \text{ MPa}$$

- Perfil Horizontal:

$$M_f = \frac{852.63 (\text{N/m}) \times (0.95 \text{m})^2}{8}$$

$$M_f = 96.19 \text{ N.m}$$

$$\sigma_f = \frac{96.19 (\text{N.m})}{1.6364 \times 10^{-6} (\text{m}^3)}$$

$$\sigma_f = 58.78 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\delta_f \leq \delta_{adm}$$

$$58.78 \text{ MPa} < 75.00 \text{ MPa}$$

Resistencia a la flexión del gres porcelánico de grosor reducido:

El dimensionamiento del gres porcelánico de grosor reducido ha sido realizado mediante el cálculo de la resistencia a la flexión. Véase la información sobre el gres porcelánico de grosor reducido presentada a continuación:

- Resistencia a la flexión = $50 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ (50MPa)
- Grosor = 3.5mm;
- Tamaño = 3x1m;
- Peso = 8kg/m²

Según las cargas de viento se han encontrado los siguientes valores:

- Carga del viento = 1800.00 N/m o 1.8 kN/m²
- Carga distribuida = $1.8 \text{ kN/m}^2 \times 3\text{m}$ (ancho de influencia de la pieza) = 5.4 kN/m.

La pieza de gres porcelánico de grosor reducido debe recibir el perfil de lámina, como un marco. Se incorporan algunos soportes en la parte posterior del gres porcelánico de grosor reducido para evitar la flexión de la pieza. Estos soportes están compuestos por perfiles en forma de "T". En cuanto a la resistencia de los materiales, la tensión activa debe ser menor o igual a la resistencia a la tracción, por lo que se determinó la distancia de los soportes (a cada 0.75m).

La carga principal en el gres porcelánico de grosor reducido es el viento. Para el cálculo, se ha considerado una viga con cinco soportes.

El momento máximo se da en el soporte en la parte central de la pieza (gres porcelánico de grosor reducido), con el valor de 0.30 kN.m (300.00 N.m).

A través del cálculo del momento de inercia, se ha determinado la sección de resistencia de la pieza de gres porcelánico de grosor reducido para que sea posible tener la resistencia de flexión permitida.

Momento de Inercia:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$I = \frac{3.00(\text{m}) \times (0.0035\text{m})^3}{12}$$

$$I = 1.0718 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Tensión de flexión (activa):

$$\sigma_f = \frac{M_{\max}}{I} \times y$$

$$\sigma_f = \frac{300.00(\text{N.m})}{1.0718 \times 10^{-8} (\text{m}^4)} \times 0.00175(\text{m})$$

$$\sigma_f = 48.98 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_f \leq \sigma_r$$

$$48.98 \text{ MPa} < 50.00 \text{ MPa}$$

Dimensionamiento del sellante estructural:

Se ha definido el uso de un sellante estructural para unir el perfil de lámina y el gres porcelánico de grosor reducido. Este sellante estructural consiste de un simple componente poliuretano y el curado se lleva a cabo por una alteración química causada por la humedad que forma un producto elástico permanente. Se adhiere a una gran variedad de materiales como plástico, metal, fibra de vidrio, cerámica y madera. Están formulados para una amplia gama de dureza, tiempos abiertos y diferentes propiedades para distintas aplicaciones. El curado del sellante se indica como 24 horas. Se han realizado ensayos de resistencia a la tracción y a la cizalladura. Los ensayos se muestran en las Figuras 11, 12 y 13. Los ensayos se han realizado de acuerdo con la norma de ensayo ASTM D-897.



Figura 11 – Muestras.



Figura 12 – Resistencia a la tracción.

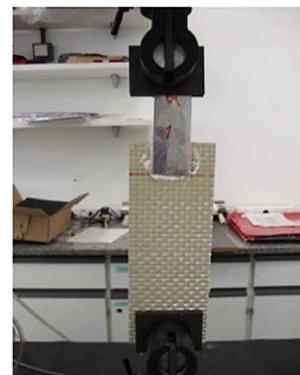


Figura 13 – Resistencia a la cizalladura.

El sellante estructural presentó una resistencia mínima a la tracción de 0.38 MPa y una resistencia a la cizalladura de 0.77 MPa, de modo que las resistencias están en conformidad con las especificaciones para sellantes.

En la resistencia a la tracción de los sellantes, no hubo desprendimiento de la lámina de metal, pero había una fractura del gres porcelánico, lo que significa que los sellantes son compatibles con la parte posterior del gres porcelánico de grosor reducido (fibra de vidrio). En la resistencia a la cizalladura, ha sido posible determinar el esfuerzo máximo, cuando se ha producido el desprendimiento de la lámina de metal. Las Figuras 14 y 15 presentan los gráficos de tracción y de corte, respectivamente.

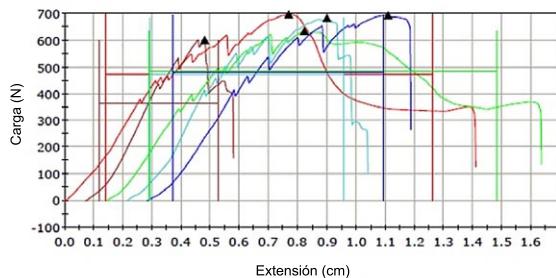


Figura 14 – Tracción.

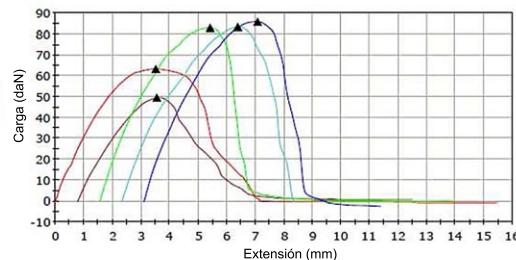


Figura 15 – Cizalladura.

En el ensayo de tracción, se ha producido una longitud máxima de 1.1mm, cuando se aplicaron cargas de 700N y en el ensayo de cizalladura hubo una longitud máxima de 7.5mm con cargas de 850N. Esto demuestra que el sellante se ha estirado antes de producir la ruptura.

3. CONCLUSIÓN

El dimensionamiento de la fachada ventilada que se ha estudiado aquí, se ha caracterizado por medio de una infraestructura auxiliar en aluminio, gres porcelánico de grosor reducido y sellante estructural. Todas las especificaciones están en conformidad con los requisitos técnicos establecidos en la normativa. Además, se han adoptado las directrices de las empresas internacionales que trabajan con esta tecnología desde hace mucho tiempo.

La carga del viento en la fachada y el comportamiento estructural de los perfiles verticales y horizontales han sido determinados. La flecha máxima permitida, momento de inercia mínimo, momento de resistencia mínimo y expansión térmica lineal han sido comprobados. Los datos estructurales de estos perfiles han sido evaluados, comprobando el cumplimiento de las especificaciones, mediante la evaluación de los resultados de la flecha máxima permitida y la tensión activa.

El tema que ha sido estudiado en este trabajo tiene excelentes perspectivas de crecimiento; ya que forma parte de una tendencia global hacia la utilización de sistemas industriales en la construcción civil. En el futuro, habrá varios edificios con el sistema de fachada ventilada, una vez que proporcionen un mejor comportamiento en comparación con los sistemas tradicionales.

Por lo tanto, la apreciación del gres porcelánico y la oportunidad para poner en marcha nuevos proyectos y productos surgirán en el mercado, así como el desarrollo de edificios más adecuados a entornos específicos.

El objetivo de este estudio es aplicar esta tecnología de fachada ventilada dentro de la industria cerámica en Brasil. El sistema de fachada ventilada desarro-

lado a través de este trabajo ha sido comercializado por la empresa Eliane Revestimentos Cerâmicos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10821: Caixilhos para edificação. Rio de Janeiro, 2000.
- [2] _____. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
- [3] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-897. Standard Test Method for Tensile Properties of Adhesive Bonds. Conshohocken-PA, 2008.
- [4] BELMETAL. Catálogo Linha Offset: sistema modular de fachadas. São Paulo. Available at <http://www.belmetal.com.br>. Accessed on 01 August 2010.
- [5] CAIXILHARIA básica para vidraceiros. Tecnologia & Vidro. São Paulo, 3-7 ed. Cap. II – VI, Apr./Feb./2000.
- [6] CRASTA, Gian Paolo. 3mm: taking up the challenge. Ceramic World Review. Italy, n.73, 2007, p.150-159.
- [7] HIBBEKER,R.C. Resistência dos materiais. 3rd ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000, 701p.
- [8] KISS, Paulo. Pulmões prediais. Téchne. São Paulo, v.8, n.39, p. 36-38, Mar./Apr. 1999.
- [9] LOW Thickness Ceramic Tiles. Tile International. Italy, p. 66-77, Feb. 2010.
- [10] SANTOS, Luiz Carlos. Fachadas de alumínio: como alcançar um desempenho eficiente em alumínio. Contramarco & Companhia. São Paulo, n.55, p.28-37, set/out. 2005.
- [11] TIMOSHENKO, Stephen P. Resistência dos materiais. 3rd ed., v.1. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A, 1973, 451p.