

**Gestión sostenible de obras complejas: Aeropuerto de Carrasco**

**Célia Regina Moretti Meirelles**

Profesora PhD, Mackenzie, Brasil  
UFS, Brasil  
celiaregina.meirelles@mackenzie.br

**Silvio Stefanine Sant'Anna**

Profesor PhD, Mackenzie, Brasil  
UFS, Brasil.  
silvio.anna@mackenzie.br

**Lucas Fehr**

Profesor PhD, Mackenzie, Brasil  
UFS, Brasil.  
lucas.fehr@mackenzie.br

**Flávio Marcondes**

Professor PhD, Mackenzie, Brasil  
flavio.marcondes@mackenzie.br

## RESUMEN

La operación y mantenimiento de grandes edificios en terminales de pasajeros aeroportuarias ha ido ganando protagonismo en las últimas dos décadas debido a los grandes costos energéticos de estos, por lo que, además del diseño y construcción, se debe evaluar el ciclo de vida de los edificios. Los objetivos de esta investigación son discutir las técnicas de construcción que hacen más sostenibles obras complejas como las terminales de los aeropuertos y analizar cómo las nuevas tecnologías pueden colaborar en su gestión sostenible. Como método, partimos de la revisión de la literatura y el estudio de caso de la terminal de pasajeros TPS del Aeropuerto Internacional de Carrasco en Uruguay, concluido en 2009. Como conclusión, este terminal destaca por la aplicación de técnicas constructivas en cerchas planas, que puede considerarse un sistema ligero y económico, y para la promoción del confort, la aplicación de materiales innovadores en la estanqueidad de la cubierta. Otro punto valorado en el proyecto y en la sostenibilidad fue la integración de elementos naturales y bioclimáticos como la captación de luz natural a través de cúpulas en la cubierta. En el contexto de la operación de los edificios tras la finalización de la obra, el operador de la terminal en 2016 definió objetivos para reducir el uso de equipos activos que impactan los gases de efecto invernadero y la producción de energía renovable mediante placas fotovoltaicas. Se destaca la importancia de las nuevas tecnologías integradas a la plataforma BIM - Building Information Modeling, ya que estas serán de gran apoyo en el control, operación y mantenimiento de edificios TPS, ya que permiten la monitorización en tiempo real.

**PALABRAS CLAVE:** Gestión, operación y mantenimiento; Terminales de pasajeros de Aeropuertos; Sostenibilidad.

## INTRODUCCIÓN

Las áreas aeroportuarias tienen impactos en el medio ambiente, como se destaca en la Guía de sostenibilidad del Departamento de Aviación de Chicago CDA (2010). Por lo tanto, la agencia indica la relevancia de reducir estos factores y reducir los costos operativos durante la vida útil del edificio y recomienda promover “beneficios sociales” para las comunidades aledañas.

La misma Guía indica acciones que preceden al diseño, construcción y mantenimiento, por ejemplo la ubicación ideal para la instalación de un aeropuerto debe estar cerca de “transporte público como autobuses, ferrocarriles, subterráneos, etc.” (LEONA; MEIRELLES, 2014).

En el contexto de la operación y mantenimiento de edificios de forma más sostenible, se debe buscar minimizar las energías no renovables y aplicar sistemas inteligentes, como sensores de presencia, e iluminación económica como la luz LED. Otro punto relevante es la búsqueda de la producción de energía renovable, como la solar, mediante placas fotovoltaicas y geotermia. (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, AÑO) (CDA, 2010)

El mantenimiento del confort térmico del usuario en las terminales de pasajeros en general se define por el uso de aire acondicionado, por lo que se deben buscar envolventes y aberturas eficientes, como materiales de techado y cierres adaptados al clima local. Otros aspectos destacados por el CDA (2010) son el aprovechamiento de la vegetación con la captación de agua de lluvia para su reutilización. En cuanto al proyecto alrededor de las terminales, como los estacionamientos, se deben evitar las “superficies impermeables y pavimentadas” (LEONE; MEIRELLES, 2014).

El diseño de un aeropuerto se define por áreas con diferentes usos, tales como “la terminal de pasajeros - TPS, estacionamiento para vehículos automotores, edificios para almacenamiento de carga, patio de aeronaves, pista de aterrizaje y despegue, hangares para mantenimiento”, entre otros. En la TPS ocurre “la transición entre modos de transporte. En este sentido, la TPS debe promover el “movimiento y movilidad de personas, con funciones de embarque y desembarque, áreas operativas y de servicio, áreas de comidas y comerciales”

(ANAC, 2008).

Como se destacó anteriormente en los aeropuertos internacionales, el movimiento de personas se produce en la TPS, por lo que en estas zonas es donde se aplican estructuras que permiten un gran hueco en busca de sistemas estructurales ligeros y rígidos como cerchas, en formas complejas con doble curvatura.

En las últimas dos décadas se ha producido una gran evolución en los sistemas de comunicación en red, así como en el software, especialmente en el satélite GPS (Global Positioning System), que permite la georreferenciación de la obra. En el otro extremo, la red de Internet aumentó la capacidad y la velocidad, permitiendo la realización de diferentes proyectos utilizando un único modelo paramétrico utilizando sistemas como BIM (Building Information Modeling). Varios diseñadores pueden actualizar los proyectos colaborativos en tiempo real. Las últimas actualizaciones BIM incluyeron estudios de viabilidad y desempeño de componentes como información técnica, costos y elementos del ciclo de vida del edificio, por lo que es una herramienta a favor de la sostenibilidad, ya que permite la gestión y mantenimiento de obras como terminales aeroportuarias (KASSEN, DE AMORIM, 2015).

Otro sistema de interés tecnológico innovador es el RFID (*RadioFrequency*) que, integrado con el sistema de posicionamiento global GPS-RTK, permite la "ubicación de material" asociada a las tecnologías de asistente digital (PDA) que puede incluir "inventarios de materiales / componentes, dibujos de construcción, gestión de seguridad". Si RFID se asocia con tecnologías BIM en la gestión del edificio en uso, puede "almacenar y recuperar datos del ciclo de vida de los componentes y en nuevos proyectos" (IACOVIDOU; PURNELL; LIM, 2018).

## OBJETIVOS

La presente investigación tiene como objetivos discutir las técnicas constructivas que hacen más sostenibles obras complejas como las terminales de los aeropuertos y analizar cómo las nuevas tecnologías, en particular BIM, pueden colaborar en la gestión sostenible de este tipo de proyecto.

## METODOLOGÍA

- Revisión de la literatura
- estudio de caso: la Terminal de Pasajeros del Aeropuerto Internacional de Carrasco en Uruguay

## RESULTADOS

El aeropuerto internacional de Carrasco está ubicado en la región metropolitana de Montevideo - Uruguay "17,7 km al este del centro". El proyecto fue contratado al estudio de arquitectura Rafael Viñoly, con su obra finalizada en 2009. Este edificio será estudiado en este artículo ya que se encuentra en el contexto de obras arquitectónicas reconocidas en el ámbito de América Latina y es un proyecto premiado en términos de sostenibilidad e innovación. La Figura 1 destaca la cubierta y el edificio y el estacionamiento en el lado tierra.

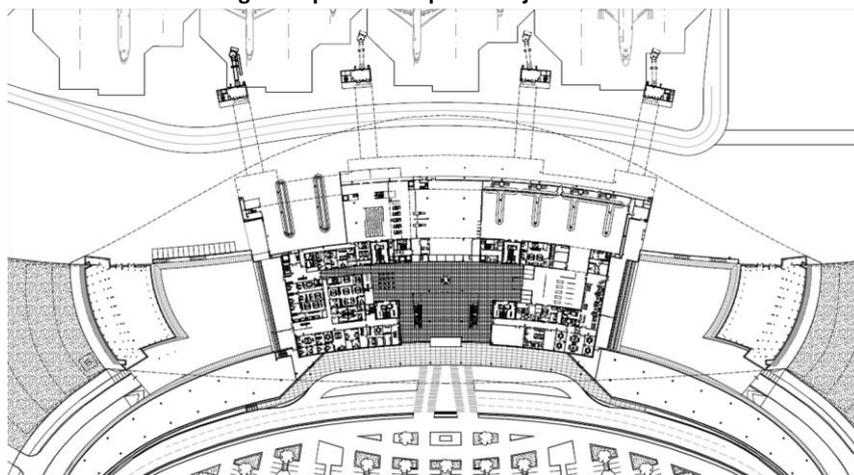
Figura 1: vista exterior del edificio y estacionamiento



Fuente: los autores

Según Viñoly (2010) la terminal de pasajeros de Carrasco está definida por cinco pisos por los tres niveles de accesibilidad del proyecto en planta baja, primer piso y entreplanta. En la planta baja se ubican el “desembarque nacional e internacional” y las áreas necesarias para los servicios y actividades internas del aeropuerto, y bajo tierra están “salas de máquinas, almacenamiento de agua, transformadores, etc” (NAVARRO, 2019).

Figura 2: plano de la planta baja - lado aire

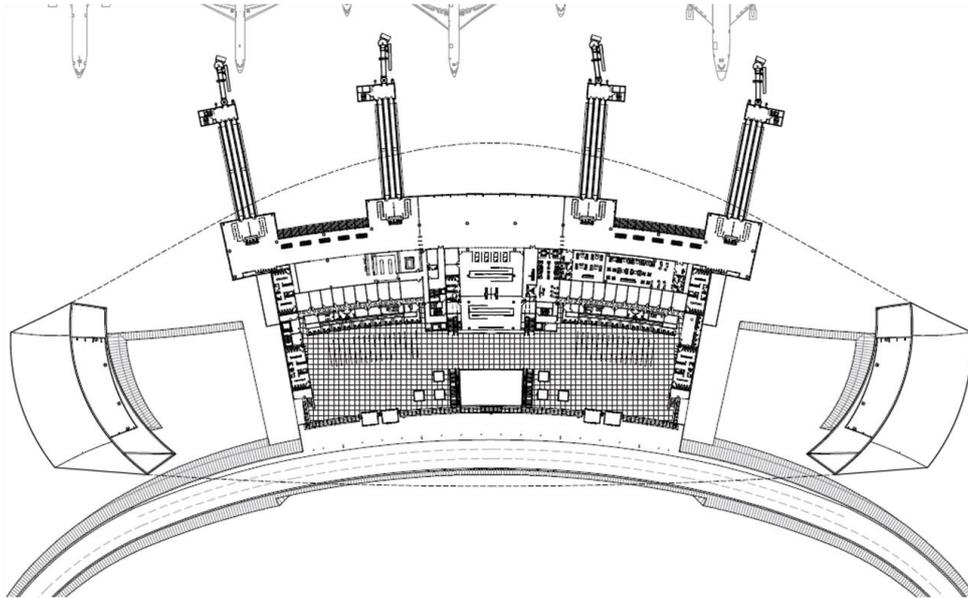


Fuente: Rafael Viñoly

La planta baja se destaca en la figura 2, ya que el primer piso recibe acceso a través de un viaducto para vehículos de motor, como se muestra en el plano de la figura 3 y figura 4. En este piso se ubican las salas de check-in y “área de servicio, baños, restaurantes, espacios

comerciales y jardín” y el acceso a los aviones en el lado opuesto, denominado lado aire (VIÑOLY, 2010).

**Figura 3: plano del primer piso - lado aire**



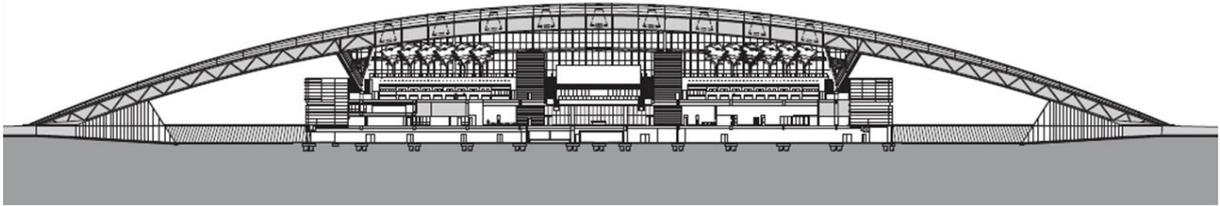
Fuente: Rafael Viñoly

**Figura 4: proyección del voladizo del lado tierra - sobre el viaducto**



Fuente: los autores

Figura 5: sección longitudinal

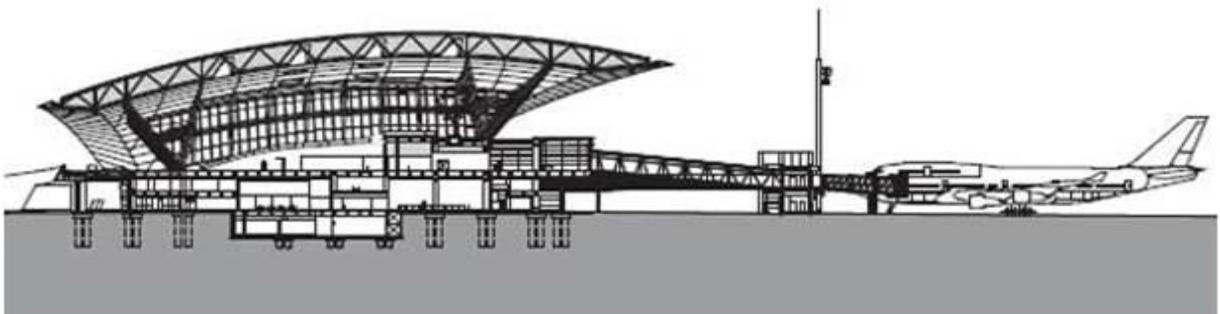


Fuente: Rafael Viñoly

La base de la terminal está compuesta por una losa de hormigón nervado, pilares modulados “10 x 15 metros y 10 x 18”. Los cimientos están formados por zapatas aisladas apoyadas sobre pilotes de hormigón y muros cortina. La cubierta tiene una doble curvatura formando un paraboloides elíptico, sin embargo fue estructurada por elementos planos, que se aprecian en las secciones transversales y longitudinales, por cerchas planas con arcos planos, figura 6 (VIÑOLY, 2010).

La cubierta de doble curvatura tiene una implantación longitudinal en el tramo longitudinal con “366 metros por 130” y apoyado sobre pilares de hormigón tangentes, como se muestra en la figura 5. En la sección transversal, figura 6, se puede observar que la cubierta tiene voladizos de “33,5 metros” en el patio de aeronaves (al norte) y “26 metros” (al sur) sobre la entrada del aeropuerto (figura 6). En el sentido de sostenibilidad y confort, cabe destacar que los cierres verticales de vidrio favorecen la entrada de luz natural a los espacios públicos, así como los “lucernarios circulares en la cubierta” distribuidos por todo el edificio, reduciendo la necesidad de iluminación artificial (VIÑOLY, 2010 ).

Figura 6: Sección transversal



Fuente: Rafael Viñoly

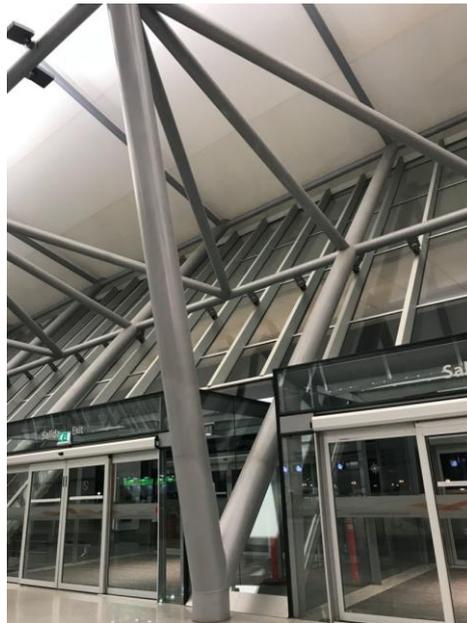
La forma arquitectónica requirió una asociación de la estructura metálica con la base de hormigón armado. En la sección transversal (figura 6), se puede observar que la estructura de las cerchas planas se apoya en pilares en forma de V de diferentes alturas. Entonces los pilares nacen a diferentes alturas. En el montaje, figura 7, se destaca que los elementos planos, pilares y cerchas se arriostraron en el plano transversal con una viga horizontal y en la viga longitudinal con diagonales formando un dibujo espacial, como se muestra en las figuras 7 y 8.

**Figura 7: proceso de montaje**



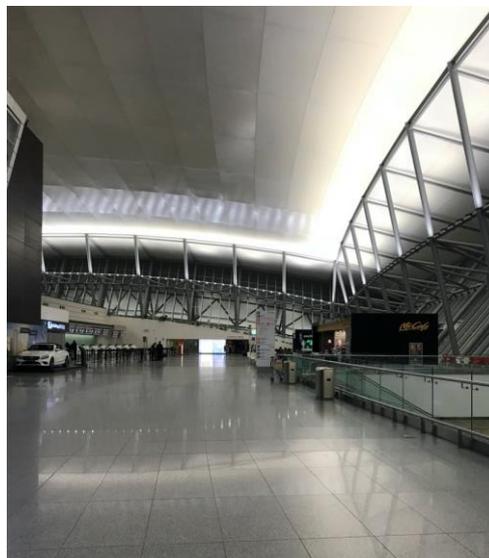
Fuente: Rafael Viñoly

**Figura 8: Pilar en V y tirantes**



Fuente: los autores

**Figura 9: espacio interno - primer piso**



Fuente: los autores

En el contexto de la sostenibilidad y el confort, además de la iluminación natural ya destacada, la cubierta de la terminal cuenta con una serie de capas para minimizar el impacto en los costes energéticos. Se trata de “láminas de acero galvanizado, láminas de espuma de poliisocianurato de 32 kg/m<sup>3</sup>”, paneles de “cartón-yeso reforzado con fibra mineral de 6 mm”. El sistema se cubrió con una “manta termoplástica impermeable” de alta resistencia en el “color blanco de la marca Ultraplay”. (CASTRO, 2010)( SIMOES, 2013).

En el contexto de la sostenibilidad, la eficiencia energética de los edificios es un hecho relevante en la operación y mantenimiento de los aeropuertos, como destaca el CDA (2010). En este contexto, el operador del aeropuerto Puerta del Sur SA impulsó en 2016 algunas acciones para minimizar los costos energéticos, como el uso de equipos industrializados que promueven el intercambio de calor de los ambientes. Este equipo no utiliza “combustibles fósiles y es 400 veces más eficiente que las calderas”. Además de la instalación de un parque de “1540” placas fotovoltaicas y la sustitución de luces fluorescentes por tecnologías LED. Esta acción definió el “Premio MIEM de Eficiencia Energética en 2016” (NAVARRO, 2019) (FERREIRA, 2020).

Otras acciones de la empresa para preservar el medio ambiente fueron la reducción de gases de efecto invernadero a través de la participación en el programa “Airport Carbon Accreditation” y la búsqueda constante de reducir este parámetro para convertirse en carbono neutral. (PUERTA DEL SUR SA, 2019 ).

## CONCLUSIÓN

Como conclusión, cabe señalar que en la terminal de pasajeros del aeropuerto internacional de Carrasco, a pesar de la cubierta de doble curvatura, se aplicó la estructura en cerchas planas, lo que puede considerarse un sistema ligero y económico.

En grandes obras como el Aeropuerto Internacional de Carrasco, la sostenibilidad es muy importante, por lo que además del proyecto, se debe planificar la operación y mantenimiento de los edificios. En la búsqueda de la eficiencia energética en las nuevas terminales, se deben utilizar sistemas de producción de energía integrados con sistemas inteligentes de monitoreo de presencia para minimizar los costos de energía. Dos puntos valorados en el contexto de la sostenibilidad de Carrasco fueron la integración de elementos bioclimáticos como la captación de luz natural a través de las Cúpulas y en los vidrios de las fachadas y los materiales aislantes en la cubierta de forma innovadora.

Otro aspecto relevante es la preocupación con el medio ambiente, especialmente con los gases de efecto invernadero en la operación y mantenimiento de los aeropuertos. En el Aeropuerto Internacional de Carrasco, estas acciones se han venido realizando incluso después de la finalización de la obra, como lo demuestran los premios.

Cabe destacar que las plataformas tecnológicas integradas con el sistema BIM permiten una ampliación del concepto del proyecto al tratar el modelo paramétrico con el fin de contener, además de la información geométrica, la información técnica sobre los componentes del edificio. En la última actualización se empezó a incluir información desde la elección de los materiales, apoyando todo el proceso constructivo, incluyendo conceptos relacionados con el ciclo de vida de los edificios. Por tanto, son herramientas que pueden

mejorar la gestión, operación y mantenimiento de las grandes terminales de pasajeros de los aeropuertos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC. **Regulación de la aviación civil brasileña**. Resolución No. 63, de 26 de noviembre de 2008: Aprueba el Programa Nacional de Instrucción de Seguridad de la Aviación Civil - PNIASEC. Brasilia, 2008.

CDA. **Manual Sustainable Airport Manual (SAM)**. Chicago: Chicago Department of Aviation, 2010.

CASTRO, Eduardo Munhoz de Lima. **Desafios e inovações em coberturas**: Aplicação do sistema de membrana TPO no aeroporto internacional de carrasco – Uruguai. Congreso Latinoamericano de Construcción Metálica, São Paulo, 2010. Disponible en <https://www.abcem.org.br/construmetal/2010/downloads/contribuicoes-tecnicas/30-desafios-e-inovacoes-em-coberturas-a-aplicacao-do-sistema-de-membrana-tpo-no-Aeroporto-internacional-de-carrasco-uruguai.pdf> Acceso el 12 de junio de 2020.

FERREIRA, C. **Um brasileiro entre os aeroportos mais sustentáveis do mundo**. 2020. Disponible en <https://www.aeroin.net/um-brasileiro-dentre-os-aeroportos-mais-sustentaveis-da-america-latina/> Acceso en 8 Sep. de 2020.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Brasil Sustentável: Impactos Sócio econômicos da Copa do Mundo 2014**. Departamento de comunicación de Ernst & Young: São Paulo: 2012.

IACOVIDOU, Eleni; PURNELL, Phil; LIM, Ming K. **The use of smart technologies in enabling construction components reuse**: A viable method or a problem creating solution? Journal of environmental management, v. 216, p. 214-223, 2018.

KASSEM, Mohamad; DE AMORIM, Sergio R. L. **BIM Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia**. B Brasília: diálogos setoriais, 20115. Disponible en <http://sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/bim.pdf> Acceso em 12. Oct. 2020.

LEONE, Camila; MEIRELLES, Célia Regina Moretti. Terminal 3 de Guarulhos: projeto, sustentabilidade e inovação. Centro de Investigación en Tecnología de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponible en [https://www.usp.br/nutau/anais\\_nutau2014/trabalhos/leone\\_camila.pdf](https://www.usp.br/nutau/anais_nutau2014/trabalhos/leone_camila.pdf) Acceso em 12. Junio de 2020.

NAVARRO, Jorge. **Manager Maintenance and Infrastructure**, Aeropuerto de Carrasco, Montevideo. OACI-Organización de Aviación Civil Internacional, Seminario Green Airports, Lima, Perú, 2019.

SIMÕES, Diogo Gonçalves. **Manutenção de edifícios apoiada no modelo BIM**. Doctorado en ingeniería civil, Técnico de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponible en <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395145922989/Vers%C3%A3o%20Final%20Tese-Corrigida.pdf> Acceso en 10. jun. 2018

VINOLY, R. **Carrasco international airport new terminal**. 2010. <https://archello.com/project/carrasco-international-airport-new-terminal> acceso en 12. Oct. 2020.

PUERTA DEL SUR S.A. **Declaración de política medio ambiental huella de carbono y energía**: Aeropuerto de Carrasco 2019. Disponible en [www.aerpuertodecarrasco.com.uy](http://www.aerpuertodecarrasco.com.uy) Acceso en 15.agosto.2020.

Gracias a Camila Leone que formó parte de esta investigación durante su graduación y al arquitecto Rafael Vinoly por enviarnos los planos e información sobre la obra.