

DOI: <https://doi.org/10.24054/16927257.v30.n30.2017.2752>Recibido: 23 de marzo de 2017  
Aceptado: 26 de junio de 2017**LIMPIEZA DE VENTANAS DE RASCACIELOS Y ALTERNATIVAS  
TECNOLÓGICAS EMERGENTES****SKYSCRAPER WINDOWS CLEANING AND EMERGING TECHNOLOGICAL  
ALTERNATIVES****Ing. Artur Mosquera Mykh<sup>1</sup>  
PhD Oscar Eduardo Gualdrón Guerrero<sup>2</sup>**<sup>1</sup>**J&D Trading Group, Inc.** 85 Columbia Street Suite 17d, Nueva York, Estados Unidos.<sup>2</sup>Universidad de Pamplona, Grupo de investigación AyC. kilómetro 3 vía Bucaramanga  
E-mail: [artur\\_mosquera@hotmail.com](mailto:artur_mosquera@hotmail.com), [oscar.gualdron@unipamplona.edu.co](mailto:oscar.gualdron@unipamplona.edu.co)

**Resumen:** El objetivo del presente documento es caracterizar la dinámica de crecimiento de los rascacielos, determinar los requerimientos para efectuar la limpieza de sus ventanas e identificar las alternativas tecnológicas desarrolladas en los últimos años para la limpieza rascacielos. Asimismo, se examinan los avances y nuevas aplicaciones de los drones y se reconoce la posibilidad de implementar una plataforma voladora con brazo robótico para realizar el trabajo de limpieza de ventanas de rascacielos. Finalmente, se identifica una serie de aspectos básicos a tener en cuenta para la creación de un nuevo sistema de limpieza de ventanas de rascacielos integrando drones y brazos robóticos.

**Palabras clave:** Dron, limpieza de ventanas, rascacielos, robótica.

**Abstract:** The purpose of this document is to characterize the growth dynamics of skyscrapers, determine the requirements to perform the cleaning of their windows and identify the technological alternatives developed in recent years for cleaning skyscrapers. Likewise, it also examines the advances and new applications of drones and recognizes the possibility of implementing a flying platform with a robotic arm to do the task of cleaning skyscraper windows. Finally, it identifies a series of basic aspects to consider for the creation of a new skyscraper window cleaning system integrating drones and robotic arms.

**Keywords:** Drone, window cleaning, skyscrapers, robotics.

## 1. INTRODUCCIÓN

Con los rascacielos siendo cada vez más altos y con una arquitectura que no es una simple fachada plana, la dificultad para limpiar las ventanas de dichas edificaciones ha estado incrementándose en los últimos años. En la mayoría de los países desarrollados se han construido una gran cantidad de rascacielos que, a diferencia de los edificios de altura convencional en los que las ventanas pueden

abrirse y limpiarse fácilmente, presentan inconvenientes relacionados con la imposibilidad de abrir estas ventanas selladas que hacen parte de la estructura de la fachada, y que están diseñadas de tal forma que permitan asegurar un confort bioclimático al interior de las edificaciones por medio de diferentes sistemas de ventilación. De esta manera, la limitación de tener que realizar la limpieza de las ventanas desde el exterior, generó la proliferación de servicios de limpieza

profesional desde el siglo pasado, los cuáles actualmente siguen siendo la mejor opción a pesar de las diversas alternativas creadas con los avances tecnológicos recientes.

No obstante, el proceso de limpiar ventanas de rascacielos es un trabajo que implica múltiples inconvenientes relacionados con el peligro para la salud y la vida de los trabajadores que lo realizan en cuanto a factores como el manejo de vértigo, seguridad y confort laboral, puesto que cualquier descuido o falla del equipo puede comprometer lesiones o incluso conllevar a la muerte del operario. Trabajar a tales alturas requiere que los limpiadores profesionales cumplan con los estándares de seguridad de la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) y empleen herramientas y equipos tales como, cuerda protectora cuerda de seguridad, herramienta de agarre de cuerdas, mecanismo de descenso, amarres y ventosas, solamente para poder llegar a la ventana y estar seguros durante la limpieza. Esto sin mencionar el costo y tiempo que se requiere para realizar las labores de limpieza de fachadas de rascacielos.

Teniendo en cuenta el aumento en los costos y tiempo que toma el proceso, así como el peligro al que se someten estos trabajadores, a lo largo de los años se han creado alternativas tecnológicas para facilitar la limpieza de ventanas de rascacielos. Sin embargo, estas alternativas no solo funcionan bajo condiciones específicas limitantes, sino que cuentan con desventajas adicionales de operación que evitan que sean más viables en comparación al servicio de limpieza tradicional.

Al mismo tiempo, a pesar de que en los últimos años los drones han pasado de ser solo un hobby a ser implementados en varias aplicaciones de la industria, actualmente no existe una opción que integre y aproveche los avances en la capacidad de carga y tiempo de vuelo, para emplear los drones en el proceso de limpieza de ventanas de rascacielos.

Para el efecto, se evidencia la necesidad de establecer un estado del arte de los rascacielos y la limpieza de sus ventanas, y al mismo tiempo la de los drones, como prerrequisito para proceder a la formulación de una propuesta de brazo robótico que, articulado a un dron, permita operativizar y hacer más eficiente el proceso de limpieza mencionado.

## 2. METODOLOGÍA

El documento corresponde a un trabajo investigativo de carácter descriptivo sustentado en una revisión bibliográfica y soportado en el método hipotético deductivo, mediante el cual se asume que la posibilidad de implementar una plataforma voladora con brazo robótico para realizar el trabajo de limpieza de ventanas de rascacielos sin necesidad de un operario puede ser viable, en la medida en que se reconozcan las características generales de los rascacielos, las exigencias relacionadas con la limpieza de sus ventanas, las tendencias asociadas a la implementación de tecnologías emergentes para la optimización del proceso de limpieza y los requerimientos básicos que resultan de la interacción de diferentes componentes que condicionan la operatividad del proceso de automatización.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Construcción de rascacielos y necesidades asociadas a su limpieza exterior

El desarrollo de los rascacielos fue resultado de avances tecnológicos que se implementaron a principios del siglo XX en Chicago y en Nueva York, los cuales estuvieron representados en el entramado o marco estructural de acero, el concreto reforzado, el muro cortina y el elevador o ascensor eléctrico (Abel, 2004; Wells, 2005; Giedeon, 2009; Dupre, 2013).

Un concepto revolucionario que influyó en la evolución de la construcción en altura fue el “rascacielos de cristal”, propuesto por el arquitecto Mies van der Rohe como un prisma con piel transparente que permitió el aprovechamiento de las visuales, la captura de la luz, el manejo interior de planta libre y de extremos en voladizo con un sencillo marco estructural (García, 2011).

Aunque el número de rascacielos en el mundo está en constante incremento, con los recientes avances en la optimización de sus estructuras (Aldwaik & Adeli, 2014), se puede apreciar un aumento considerable con respecto a años anteriores. El año 2016 fue el tercer año consecutivo en el que se supera el record anterior de número de rascacielos mayores a 200m construidos (Fig. 1), con 128 rascacielos construidos, llevando el total de rascacielos mayores a 200m existentes en el mundo a 1166 (Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 2016).

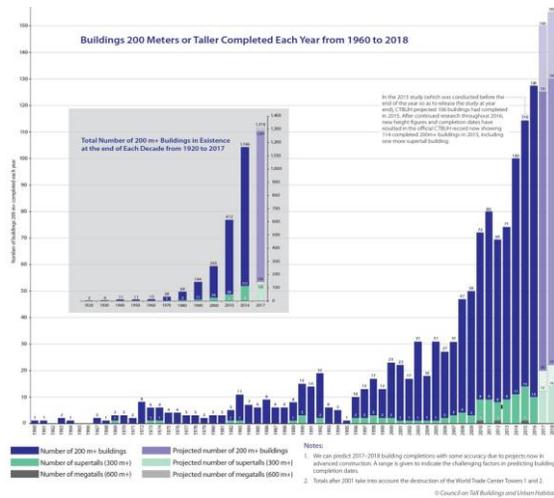


Fig. 1. Edificios de más de 200m completados por año entre 1960 y 2016.

Fuente: Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 2016.

Lo anterior se debe a que las ciudades en países desarrollados están buscando volverse lugares importantes desde los puntos de vista financiero, cultural, tecnológico o turístico, con el fin de atraer inversiones necesarias para crecer. Mientras las ciudades crecen, más personas son necesarias, lo que conlleva a más infraestructura para acomodarlas, culminando en el aumento de demanda de rascacielos (Guedes & Cantuária, 2017).

No solo existe el aumento del número de rascacielos, sino que también está aumentando la altura (Fig. 2) y la complejidad arquitectónica de estos (Emporis, 2014), pensada más en la estética urbana y la percepción financiera (Meissner, 2017), lo cual hace más difícil y menos económica la tarea de limpiar sus ventanas considerando los sistemas de limpieza actuales.

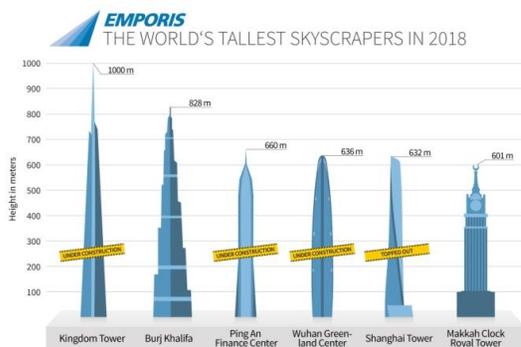


Fig. 2. Los rascacielos más grandes del mundo en 2018.

Fuente: Emporis, 2014.

La frecuencia de limpieza de estos rascacielos depende de factores como el lugar en el que está ubicado, tamaño, tipo de negocio y el clima de la región (Jack's Maintenance, 2017). Para edificios de oficinas se recomienda realizar la limpieza al menos dos veces al año, pero al final esto depende del dueño y de la apariencia con la que se quiera presentar el edificio a potenciales clientes.

### 3.2 Procesos y tecnologías de limpieza externa de rascacielos

En lo referente a lavado de ventanas de rascacielos, lo que predomina actualmente es la limpieza hecha por profesionales (Fig. 3) que cuentan con la experiencia, los equipos y la confianza para realizar esta tarea.



Fig. 3. Limpiadores profesionales de ventanas de rascacielos.

Fuente: Skyway Window Cleaning, 2017.

Anteriormente se comentó sobre el peligro y el tiempo que toma realizar este trabajo, pero otro factor importante a tener en cuenta al realizar un nuevo sistema, es el del costo actual del servicio. Por ejemplo, en Estados Unidos en promedio un limpiador de ventanas puede hacer entre \$10 y \$25 por hora, y si cuenta con años de experiencia, el equipo y los certificados, en una ciudad como Nueva York se puede hacer entre \$30 y \$40 por hora. Aunque depende del tamaño de la ventana, una de 0,9 m por 1,21 m puede tomar entre dos y tres minutos para limpiar, y una de 1,5 m por 1,8 m, tres a cinco minutos. Las compañías de limpieza suelen cobrar \$5 por ventana o \$40 por hora, en Nueva York puede ser fácilmente \$14 a \$16 por ventana, pero suele tener un descuento para edificios con muchas ventanas o contratistas habituales (Kompereit, 2017).

Se estima que un limpiador profesional de rascacielos trabaje en promedio cuatro horas al día, lo cual en la mayoría de los casos cubre un descenso, exige que sean empleados varios trabajadores e implica que limpiar un rascacielos

promedio tome entre una y dos semanas, de manera que los costos de la operación se incrementan. Por ejemplo, los edificios más altos de Manhattan suelen requerir trabajar por cuatro meses a seis limpiadores de ventanas profesionales, y en el caso del Empire State Building un mes para el mismo número de trabajadores (Aquamar Cleaning Ltd., 2017).

Entre las primeras alternativas que aparecieron comercialmente tratando de dar solución a este problema se encuentran los robots tales como, el Windoro (MyWindoro, 2010), que funciona por medio de imanes y el Winbot (Ecovacs Robotics, 2013), que funciona por medio de succión. El concepto de funcionamiento de ambos es aferrarse a las ventanas y emplear un sistema similar a las aspiradoras robóticas para la limpieza. Estos robots se presentan teóricamente como una alternativa viable, pero en la práctica tienen muchas desventajas e inconvenientes, especialmente si se considera emplearlos en ventanas de rascacielos. Por ejemplo, si hay un obstáculo entre las ventanas, el robot debe ser despegado manualmente y pegado nuevamente en la siguiente ventana; además una inconveniencia aún mayor se presenta en los que funcionan por medio de imanes, puesto que este tiene partes a ambos caras de la ventana que deben ser despegados y reajustados. Esto quiere decir que a menos que sea una porción grande de vidrio continuo e ininterrumpido, estos robots son poco eficientes. No obstante, es necesario resaltar que estas desventajas no demuestran que todos los robots para la limpieza de ventanas son obsoletos o que la tecnología propuesta no es viable, sino que las dos alternativas que están disponibles comercialmente para la limpieza de ventanas no están pensadas para los rascacielos, ya que estos requieren altos niveles de adaptación y flexibilidad de las plataformas robóticas.

Como evidencia Nansai & Mohan (2016), al categorizar los robots trepadores por mecanismo de trepado, enuncian que existen muchos tipos de robots limpiadores de ventanas, y algunos están diseñados completamente para edificios específicos, sin embargo los atributos de diseño deseados y que deben ser buscados en nuevas alternativas es la minimización del tiempo de operación, deslizamiento, consumo energético, ruido y cambios de infraestructura para su operación, y al mismo tiempo la maximización del área de cobertura, tolerancia a fallos, información perceptible, remoción de polvo, seguridad e interacción con el usuario.

De los últimos trabajos enfocados a robots trepadores para limpieza de rascacielos se encuentran los que tratan de mejorar su viabilidad económica (Kumar, Rajashekhar & Dayananda, 2013), mejorar la autonomía de operación (Ranjani, Nandhini & Prakash, 2016), o simplemente proponer nuevos diseños (Jagtap, 2013; Yiwen, Joo, & Ping, 2013; Gandhinathan & Ambigai 2016).

Otra alternativa de limpieza que puede encontrarse comercialmente es la de las máquinas diseñadas para el lavado de edificios, como lo es el SkyPro (Fig. 4), las cuales se enfocan más en proveer la limpieza de toda la fachada del edificio, incluidos los travesaños, las ventanas y los sellos (VIU Global, 2017). La mayor ventaja de estos sistemas es que pueden realizar el trabajo de limpieza tres veces más rápido que otras formas tradicionales de limpieza vertical, con más privacidad y con menos intrusión con los habitantes.



*Fig. 4. Máquina de limpieza SkyPro.*

Fuente: VIU Global, 2017.

El sistema de aspersión y cepillo de la máquina no necesita químicos y emplea agua que ha sido despojada de iones, lo que permite una limpieza de ventanas sin manchas o residuos. Al mismo tiempo, subir la máquina al techo de un edificio de 22 pisos toma 18 minutos, y armarla y tenerla en operación toma alrededor de medio día o una hora si el techo cuenta con infraestructura apropiada para el soporte (VIU Global, 2017). La mayor ventaja que tienen estos tipos de máquinas es la velocidad de limpieza; sin embargo, dentro de sus desventajas se encuentra el tiempo de montaje, el gasto de agua y que solamente funciona en fachadas planas.

Parecido al anterior, el HighRise™ (Fig. 5) es otro sistema de limpieza de ventanas que puede ser operado desde las grúas o rieles de soporte de los techos. La operación se realiza mediante un control

remoto inalámbrico y alcanza una tasa de limpieza de 10,6 metros por minuto. Tiene la misma desventaja que otros sistemas de limpieza de fachadas, y según el fabricante usa entre 3,785 l/min a 9,464 l/min dependiendo del modelo empleado (IPC Eagle, 2017).



Fig. 5. Limpiador HighRise™.  
Fuente: IPC Eagle, 2017.

Además de las máquinas y robots desarrollados para la limpieza de ventanas, también existen soluciones de materiales bioinspirados para construir superficies auto limpiantes (Nishimoto & Bhushan, 2013). Estos tipos de materiales y recubrimientos se están volviendo una parte integral de la vida diaria gracias a sus aplicaciones actuales en paneles solares, ventanas, pintura y cemento, y nuevas posibilidades evaluadas como el recubrimiento de edificios (Herrmann, Péruchon, Puzenat & Guillard, 2016).

Las investigaciones recientes se enfocan en evaluar el rendimiento, durabilidad y aplicaciones de distintos nanocompuestos basados en dióxido de titanio. Como por ejemplo su durabilidad en piedra caliza (Munafò, Quagliarini, Goffredo, Bondioli & Licciulli, 2014), durabilidad en fachadas de ladrillos de arcilla (Graziani, Quagliarini, Bondioli & D'Orazio, 2014), aplicaciones de superficies autolimpiantes fotocatalíticas (Banerjee, Dionysiou & Pillai, 2015) y propiedades mejoradas para recubrimientos en edificios que son una herencia cultural (Bergamonti, Predieri, Paz, Fornasini, Lottici, & Bondioli, 2017).

Tomando en consideración las alternativas actuales, muestra un lugar y mercado para nuevas alternativas, y al mismo tiempo indica cuales son las capacidades que esta alternativa debe tener para ser una solución más viable. En ese sentido, si bien existe una tendencia a la implementación de nuevos recubrimientos, su aplicación a los

rascacielos actuales implica un sobrecosto significativo e inviable en adecuaciones y reemplazo de materiales. Por lo tanto, la condición fundamental de los rascacielos actuales y del futuro inmediato está asociada a la optimización de los procesos de limpieza teniendo en cuenta sus materiales y la aplicación de nuevas tecnologías.

### 3.3 Tendencias emergentes de uso de drones

Los drones o UAV (Unmanned Aerial Vehicle) como se suelen nombrar técnicamente, han presentado unos avances considerables durante los últimos cinco años, de tal forma que se han vuelto costeables y pueden ser vistos en actividades cotidianas, laborales y especializadas en todo el mundo. La variedad existente de estos multicópteros les ha permitido ser adaptados a diferentes aplicaciones como la entrega de paquetes (Murray & Chu, 2015; Amazon, 2017), agricultura (Malveaux, Hall & Price, 2014; Berrío, Mosquera & Alzate, 2015), inspección de edificios (Ashour, Taha, Mohamed, Hableel, Kheil, Elsalamouny & Cai, 2016), búsqueda y rescate (Cui, Phang, Ang, Wang, Dong, Ke & Liu, 2016), mapeo (Dai, 2015), filmación de películas (Maxwell, 2016) y fotografía (Corbett, 2014), entre otras.

Una de las aplicaciones referentes a la limpieza de ventanas, es la presentada por Marcus Fritzsche en la competencia "The UAE Drones for Good Award" de 2015, la cual es un prototipo de dron para la limpieza de ventanas de casas (Fig. 6) que en un futuro busca convertirse en un enjambre autónomo de drones inteligentes para limpieza de ventanas. Está compuesto por una escobilla de goma por un lado y un aplicador de microfibras por el otro, y usa el movimiento del dron en contacto con la ventana para hacer la limpieza. Luego de cada ventana, el dron regresa a la estación que está en tierra para limpiar el aplicador y luego volar hacia la siguiente ventana, debido a esto, este sistema está más enfocado a edificios de pocos pisos. Al día de hoy, el proyecto continúa su desarrollo y se enfoca en incrementar la autonomía del dron, la estabilidad de vuelo y la opción de trabajo en enjambre (Fritzsche, 2016). Al respecto, el problema de la necesidad de regresar a una estación es lo que evita que este sistema en específico sea una alternativa viable para la limpieza de rascacielos; sin embargo, la idea presenta la posibilidad de desarrollar nuevos sistemas automatizados para la limpieza y adaptarlos a otros tipos de drones actuales.



Fig. 6. Dron para limpieza de ventanas.  
Fuente: Fritzsche, 2016.

En la robótica, y en especial en los brazos robóticos, el estado del arte muestra un desarrollo continuo con una gran cantidad de aplicaciones emergentes; robots modulares, manos y brazos robóticos, robots biomiméticos, robot voladores (Siciliano & Khatib, 2016), o hasta robots empleados como un instrumento didáctico y de aprendizaje (Mesa & Lombana, 2013; Samacá, Mesa & Holguín, 2016).

Lo observado en el estado del arte, es que las plataformas voladoras de bajo peso y los brazos robóticos combinan las fortalezas de dos industrias paralelas de desarrollo rápido; los drones pueden llegar a varios lugares, pero están limitados en cuanto a las operaciones que pueden hacer, mientras que los brazos robóticos tienen un área de trabajo y capacidades extensas, pero están limitados a un espacio en particular. Basado en lo anterior, se ha realizado una investigación enfocada a realizar un sistema de control adaptativo en quadrópteros con brazos robóticos (Bazylev, Zimenko, Margun, Bobtsov & Kremlev, 2014).

Por la razón anterior, desde que la capacidad de carga de los drones comenzó a ir en aumento, se ha estudiado la posibilidad de añadir brazos robóticos diseñados específicamente para diferentes aplicaciones como la que se puede ver en la Fig. 7, que es el de la detonación de minas (Hassani, 2016), u otras más complejas como el de la compañía Energid Technologies, que con un contrato para la NASA, se encuentra en las primeras fases de una plataforma con manipulador móvil (Fig. 8) con el fin de emplearlo en mantenimiento, asistencia y operación remota de experimentos científicos en microgravedad (Tardela, 2016).



Fig. 7. Mine Kafon Dron para mapeo, detección y detonación de minas.

Fuente: Hassani, 2016.



Fig. 8. Dron con brazo robótico de 7 grados de libertad de Energid.

Fuente: Tardela, 2016.

La razón principal para emplear distintos brazos robóticos diseñados para aplicaciones específicas se debe principalmente al área de trabajo, movimiento y precisión requeridos, porque dependiendo de la aplicación es necesario hacer un análisis y estudio cinemático teniendo en cuenta que el brazo va a estar montado sobre una plataforma (Torres, Archila, Tronco, Becker, Porto & Tiberti, 2013), y el cómo lograr estos influye en el peso de los brazos robóticos, y por consiguiente en el dron requerido, su capacidad de carga y el tiempo de vuelo resultante.

Como ejemplo, Freely Systems (2017), compañía creadora del octocóptero Alta 8, el cual tiene una capacidad de carga de 9,1 kg, realizó las pruebas de cómo la carga influencia el tiempo de vuelo de su octocóptero dependiendo del tamaño de las baterías que se usen (Fig. 9).

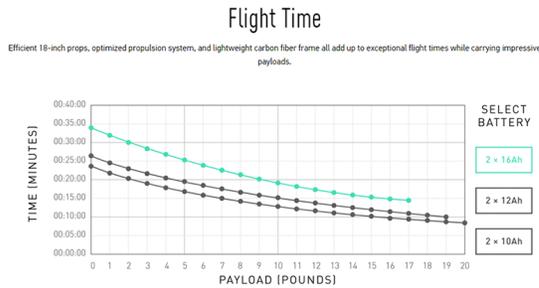


Fig. 9. Relación entre la capacidad de carga y el tiempo de vuelo.

Fuente: Freefly Systems, 2017.

Con esto se puede apreciar que aunque se coloquen más baterías en los drones, debido al peso de estas baterías, la ganancia en cuanto a tiempo de vuelo va a ser mínima, y solamente se incrementará el peso y el valor del sistema que se desea implementar. Por otro lado, en lo que respecta al área de trabajo, como se pudo observar en la Fig. 8, el alcance del brazo robótico está pensado para trabajar por debajo del dron, mientras que una aplicación como la limpieza de ventanas de rascacielos requiere trabajar en frente del dron (Fig. 10).

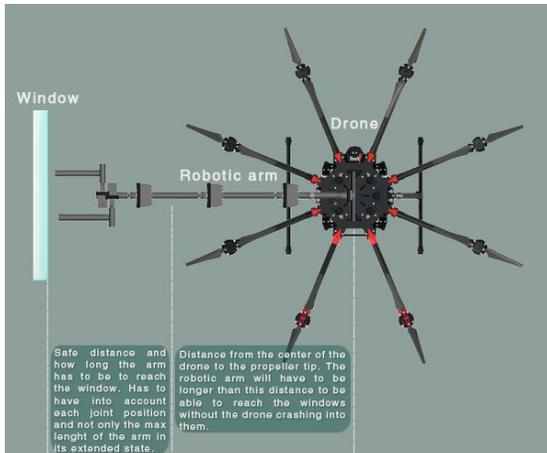


Fig. 10. Alcance y tamaño necesario de un brazo robótico para limpieza de rascacielos.

Sin importar la aplicación, al implementar un brazo robótico en un dron, este debe ser diseñado específicamente para la tarea deseada, con el balance perfecto entre precisión, velocidad de operación, peso, consumo energético y precio.

Adicional a lo anterior, para automatizar este tipo de sistemas es necesario emplear un programa de visión artificial basado en métodos de reconocimiento de patrones o procesamiento digital de imágenes en general, con el fin de dar autonomía de operación a estos brazos robóticos.

Partiendo de las aplicaciones más prominentes de la visión artificial como el reconocimiento de rostros (Parmar & Mehta, 2014; Franco, Ospina, Cuevas, & Capacho, 2015), reconocimiento de gestos con las manos (Rautaray & Agrawal, 2015; Balaguera, 2016), reconocimiento de huellas (Ferrin, Magdalena, Loaiza, López & Henao, 2014), inspecciones de procesos (García, Plata & Quintero, 2017) y el reconocimiento de formas enfocadas a las placas de autos (Azad & Baghdadi, 2014) y señales de tráfico (Berkaya, Gunduz, Ozsen, Akinlar & Gunal, 2016), y enfocando la visión artificial en las necesidades de detección de una plataforma voladora con brazo robótico, se observa la posibilidad de hacer que esta tecnología en desarrollo sea viable y asequible en el futuro.

#### 4. CONCLUSIONES

Con las bases y estado del arte sobre la limpieza de ventanas de rascacielos expuestos en este artículo se pudo apreciar que ante la tendencia de aumento de construcción de rascacielos y de la altura de los mismos, crece la necesidad de implementar nuevas tecnologías para hacer que dicho proceso de limpieza sea seguro y económicamente viable; se identificó que características básicas de los drones son necesarias al acoplar brazos robóticos y así aumentar su espectro de uso; y se estableció cuáles aspectos teóricos y conceptuales, nociones y enfoques emergentes deben ser tenidos en cuenta para fundamentar una propuesta de plataforma voladora con brazo robótico enfocado a operativizar y hacer más eficaz el proceso de limpieza de ventanas de rascacielos.

Desde el punto de vista operativo, el trabajo permitió evidenciar que es imprescindible profundizar sobre factores relevantes para el desarrollo de procesos investigativos sobre integración de drones y brazos robóticos tales como, capacidad de carga, tiempo de vuelo para la tarea, velocidad y estabilidad de vuelo del dron, así como el alcance, tiempo de respuesta, peso, área de operación y precisión del brazo robótico, conjuntamente con la viabilidad económica de ambos.

Los resultados obtenidos permiten establecer una serie de aspectos conceptuales, técnicos y tecnológicos a tener en cuenta para continuar expandiendo la posibilidad de automatizar la limpieza de ventanas de rascacielos y pueden facilitar el desarrollo de futuras investigaciones asociadas a este proceso.

**RECONOCIMIENTO**

El autor agradece a la empresa **J&D Trading Group, Inc.**, por el apoyo en la investigación tendiente a generar una alternativa automatizada de una plataforma voladora con brazo robótico segura, eficiente y rápida para la limpieza de ventanas de rascacielos.

**REFERENCIAS**

Abel, C. (2004). *Sky High: Vertical Architecture*. London: Royal Academy Publications.

Aldwaik, M. & Adeli, H. (2014). Advances in optimization of highrise building structures. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 50(6), 899-919.

Amazon (2017). Amazon Prime Air Delivery Drones. Recuperado de: <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?node=8037720011> (Consultado: 25 de Octubre 2017)

Aquamark Cleaning Ltd. (2016). How Long Does It Take to Clean a Skyscraper in London? Recuperado de: <https://www.aquamarkwindowcleaning.co.uk> (Consultado: 10 de Octubre 2017)

Ashour, R., Taha, T., Mohamed, F., Hableel, E., Kheil, Y. A., Elsalamouny, M. & Cai, G. (2016, October). Site inspection drone: A solution for inspecting and regulating construction sites. In *Circuits and Systems (MWSCAS), 2016 IEEE 59th International Midwest Symposium on* (pp. 1-4). IEEE.

Azad, R. & Baghdadi, M. (2014). Novel and Fast Algorithm for Extracting License Plate Location Based on Edge Analysis. *arXiv preprint arXiv:1407.6496*.

Balaguera, J. D. G. (2016). Algoritmos de procesamiento de imágenes y redes neuronales artificiales para el reconocimiento de la lengua de señas colombiana (LSC). *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada* ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 – Número 28.

Banerjee, S., Dionysiou, D. D. & Pillai, S. C. (2015). Self-cleaning applications of TiO<sub>2</sub> by photo-induced hydrophilicity and photocatalysis. *Applied Catalysis B: Environmental*, 176, 396-428.

Bazylev, D., Zimenko, K., Margun, A., Bobtsov, A. & Kremlev, A. (2014, September). Adaptive control system for quadrotor equipped with robotic arm. In *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2014 19th International Conference On* (pp. 705-710). IEEE.

Bergamonti, L., Predieri, G., Paz, Y., Fornasini, L., Lottici, P. P. & Bondioli, F. (2017). Enhanced self-cleaning properties of N-doped TiO<sub>2</sub> coating for Cultural Heritage. *Microchemical Journal*, 133, 1-12.

Berkaya, S. K., Gunduz, H., Ozsen, O., Akinlar, C. & Gunal, S. (2016). On circular traffic sign detection and recognition. *Expert Systems with Applications*, 48, 67-75.

Berrío V., Mosquera J. y Alzate D. (2015). Uso de drones para el análisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión. @ *limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, ISSN 1692-7125, 13(1). Universidad de Pamplona. Pamplona, (pp.28-40).

Corbett, P. (2014). Drone photography catching on in real estate. *The Arizona Republic, The Arizona Republic, Phoenix*.

Council on Tall Buildings and Urban Habitat (2016). Another Record-Breaker for Skyscraper Completions. Recuperado de: [http://www.skyscrapercenter.com/research/C\\_TBUH\\_ResearchReport\\_2016YearInReview.pdf](http://www.skyscrapercenter.com/research/C_TBUH_ResearchReport_2016YearInReview.pdf) (Consultado: 12 de Octubre 2017)

Cui, J. Q., Phang, S. K., Ang, K. Z., Wang, F., Dong, X., Ke, Y. & Liu, P. (2016). Search and Rescue Using Multiple Drones in Post-Disaster Situation. *Unmanned Systems*, 4(01), 83-96.

Dai, X. (2015). *Aranica: Commercialization of a Drone Mapping and Sensing Technology* (Master's thesis, UiT Norges arktiske universitet).

- Dupre, J. (2013). *Skyscrapers: A History of the World's Most Extraordinary Buildings*. New York: Black Dog & Leventahl Publishers, Inc.
- Ecovacs Robotics (2013). WINBOT: The Window Cleaning Robot. Recuperado de: <http://ecovacsrobotics.com/ecovacs-robotics-products/winbot-window-cleaning-robots/> (Consultado: 10 de Noviembre 2017)
- Emporis (2014). The World's Tallest Skyscrapers in 2018. Recuperado de: <https://www.emporis.com> (Consultado: 12 de Octubre 2017)
- Ferrin, C., Magdalena, X., Loaiza, H., López, S., & Henao, S. (2014). Sistema de extracción automática de parámetros morfológicos de la huella plantar mediante técnicas de visión por computador en un sistema embebido. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada* ISSN: 1692-7257 - Volumen 1 – Número 23.
- Franco, C. E., Ospina, C. T., Cuevas, E. S., & Capacho, D. V. (2015). Reconocimiento facial basado en Eigenfaces, LBHP y Fisherfaces en la Beagleboard-xM. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada* ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 – Número 26.
- Freefly Systems (2017). Alta 8 octocopter. Recuperado de: <http://freeflysystems.com/alta-8> (Consultado: 15 de Noviembre 2017)
- Fritzsche, M. (2016). Window Cleaning Drones. Recuperado de: <http://window-cleaning-drones.com> (Consultado: 25 de Octubre 2017)
- Gandhinathan, R. & Ambigai, R. (2016, November). Design and kinematic analysis of tethered guiding vehicle (TGV) for façade window cleaning. In *Green Engineering and Technologies (IC-GET), 2016 Online International Conference on* (pp. 1-3). IEEE.
- García, E. D. L., Plata, J. L. L., & Quintero, A. E. T. (2017). Revisión de técnicas de sistemas de visión artificial para la inspección de procesos de soldadura tipo GMAW. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada* ISSN: 1692-7257 - Volumen 1 – Número 29.
- García, M. R. C. (2011). Los Rascacielos y su Evolución Tipológica. Módulo Arquitectura Cuc, 10(1), 205-214.
- Graziani, L., Quagliarini, E., Bondioli, F. & D'Orazio, M. (2014). Durability of self-cleaning TiO<sub>2</sub> coatings on fired clay brick façades: effects of UV exposure and wet & dry cycles. *Building and Environment*, 71, 193-203.
- Giedion, S. (2009). *Espacio, tiempo y arquitectura (Edición definitiva): Origen y desarrollo de una nueva tradición* (Vol. 17). Reverté.
- Guedes, M. C. & Cantuária, G. (2017). The Increasing Demand on High-Rise Buildings and Their History. In *Sustainable High Rise Buildings in Urban Zones* (pp. 93-102). Springer International Publishing.
- Hassani, M. (2016). Mine Kafon Drone. Recuperado de: <https://www.kickstarter.com/projects/massoudhassani/mine-kafon-drone?ref=dfg&token=4a3c87bf> (Consultado: 25 de Octubre 2017)
- Herrmann, J. M., Péruchon, L., Puzenat, E. & Guillard, C. (2016). Photocatalysis: from fundamentals to self-cleaning glass applications. *Newsletter*.
- IPC Eagle (2017). HighRise™ Professional Window Cleaning System. Recuperado de: <http://www.ipceagle.com/products/highrise%E2%84%A2-professional-window-cleaning-system-0> (Consultado: 25 de Octubre 2017)
- Jack's Maintenance (2017). Commercial Window Cleaning: How Often Should I Have My Windows Cleaned? Recuperado de: <http://www.jacksmaintenance.com/blog/bid/291768/Commercial-Window-Cleaning-How-Often-Should-I-Have-My-Windows-Cleaned> (Consultado: 12 de Octubre 2017)
- Jagtap, A. (2013). Skyscraper's Glass Cleaning Automated Robot. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(7).
- Kompareit (2017). Average Costs to Hire a Commercial Window Cleaner in 2017. Recuperado de: <http://www.kompareit.com/business/cleaning-commercial-window-cost.html> (Consultado: 12 de Octubre 2017)

- Kumar, M. V., Rajashekhar, C. R. & Dayananda, G. K. Studies on cost effective glass wall cleaning robot. In *National Conference on Challenges in Research & Technology in the Coming Decades (CRT 2013)*.
- Malveaux, C., Hall, S. G. & Price, R. (2014, July). Using Drones in Agriculture: Unmanned Aerial Systems for Agricultural Remote Sensing Applications. In *2014 Montreal, Quebec Canada July 13–July 16, 2014* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Maxwell, I. A. (2016). Technology and innovation: Drones, droids and robots. *Chemistry in Australia*, (Aug 2016), 32.
- Meissner, M. (2017). Setting the Scene: Financial Spaces and Architectures. In *Narrating the Global Financial Crisis* (pp. 41-82). Springer International Publishing.
- Mesa, L. A. M., & Lombana, N. B. (2013). La robótica educativa como instrumento didáctico alternativo en educación básica. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada* ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 – Número 22.
- Munafò, P., Quagliarini, E., Goffredo, G. B., Bondioli, F. & Licciulli, A. (2014). Durability of nano-engineered TiO<sub>2</sub> self-cleaning treatments on limestone. *Construction and Building Materials*, 65, 218-231.
- Murray, C. C. & Chu, A. G. (2015). The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 54, 86-109.
- MyWindoro (2010). Windoro WCR-I001. Recuperado de: <http://www.mywindoro.com/> (Consultado: 25 de Octubre 2017)
- Nansai, S., & Mohan, R. E. (2016). A Survey of Wall Climbing Robots: Recent Advances and Challenges. *Robotics*, 5(3), 14.
- Nishimoto, S. & Bhushan, B. (2013). Bioinspired self-cleaning surfaces with superhydrophobicity, superoleophobicity, and superhydrophilicity. *Rsc Advances*, 3(3), 671-690.
- Parmar, D. N., & Mehta, B. B. (2014). Face recognition methods & applications. *arXiv preprint arXiv:1403.0485*.
- Ranjani, R., Nandhini, M. & Prakash, C. A. (2016). Autonomous External Glass Cleaning Robot. *Applied Mechanics & Materials*, 852.
- Rautaray, S. S., & Agrawal, A. (2015). Vision based hand gesture recognition for human computer interaction: a survey. *Artificial Intelligence Review*, 43(1), 1-54.
- Samacá, L. F., Mesa, L. A. M., & Holguín, W. J. P. (2016). Investigación formativa para estudiantes de ingeniería utilizando robótica. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada* ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 – Número 28.
- Siciliano, B., & Khatib, O. (Eds.). (2016). *Springer handbook of robotics*. Springer.
- Skyway Window Cleaning (2017). Window Cleaning Services Provider in Manhattan and New York City. Recuperado de: <http://www.skywaywindows.com> (Consultado: 12 de Octubre 2017)
- Tardela, N. (2016). Earthbound Robots Today Need to Take Flight. Recuperado de: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/earthbound-robots-today-need-to-take-flight> (Consultado: 15 de Noviembre 2017)
- Torres, C. J., Archila, J. F., Tronco, M. L., Becker, M., Porto, A. J. V., & Tiberti, A. J. (2013). Estudio cinemático de una plataforma robótica para agricultura. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada* ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 – Número 22.
- VIU Global (2017). Vertical Cleaning Systems. Recuperado de: <http://viuglobal.com>
- Wells, M. (2005). *Skyscrapers: Structure and design*. Laurence King Publishing.
- Yiwen, L., Joo, E. M. & Ping, O. L. (2013, November). Design and Development of a Glass Cleaning Robot. In *Intelligent Systems Design and Engineering Applications, 2013 Fourth International Conference on* (pp. 225-228). IEEE.