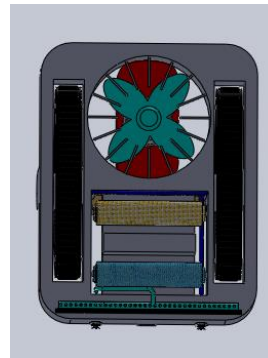
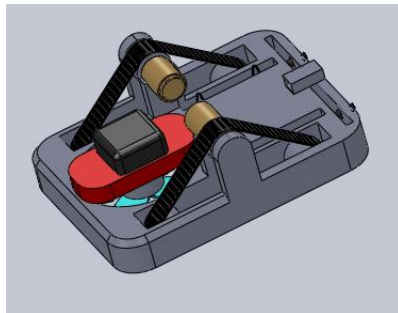


DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRONICO DE LIMPIEZA DE VIDRIOS PARA EDIFICIOS

Diego Alexis Jaimes, Roberto Muñoz Zabaleta, Msc. Hernan Gonzalez Acuña, Ph.D. Omar Lengerke,

Abstract

Este paper relaciona la Mecatronica como medio de automatizacion de procesos manuales, con alternativas de solucion para la limpieza de vidrios en los edificios de gran altura, en el cual se aplican campos como la robotica, neumatica, electronica y mecanica. Este sistema cuenta traccion de oruga para un mejor agarre y un sistema de succion llamado vortex el cual esta entrando fuertemente en la tendencia de robot tipo GEKKO.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema se basa en el tiempo que se invierte en la limpieza de edificaciones de gran altura generando pérdidas económicas. El problema más relevante es el peligro que se genera al situar personas a grandes

alturas sobre andamios para realizar la limpieza, ya que estas estructuras se consideran muy inestables y no son para nada confiables para sostener grandes pesos y movimientos bruscos generados por vientos, o temblores, además este proceso debe estar en movimiento para limpiar todas las zonas, y es necesario tener más de una persona para realizar su desplazamiento en toda la edificación.

Nuestro proyecto se profundizara a reducir las pérdidas humanas mediante la automatización de este proceso, disminuyendo el tiempo de realización de la limpieza, y además teniendo una limpieza a base de agua pero sin dejar rastro de ella.

2. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Diseñar un Sistema Mecatrónico que permita la limpieza vidrios en edificios cuyas estructuras no presente grandes irregularidades para que el robot pueda desplazarse.

3. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Seleccionar el Modo de Adhesión, Tracción y Sistema de Limpieza.
- ✓ Realizar los cálculos matemáticos que dan base a la selección de los actuadores y estructura del sistema.
- ✓ Diseñar y Construir el Sistema Mecatrónico en CAD.

4. MARCO TEORICO

En los siguientes párrafos observaremos los avances realizados en los robots escaladores horizontales y en las diferentes aplicaciones en que son usados, enfocándonos principalmente

en los robots limpiavidrios. También hablaremos los principios físicos que dan la base al diseño de este robot.

4.1. Antecedentes

En Colombia los mayores avances en el diseño y construcción de robot escaladores horizontales se han realizado en la Universidad Autónoma de Bucaramanga [6,7] mediante la técnica de *Vortex* inspirados en robots como el Alicia VTX y City Climber en sus versiones V1, V2 y V3 se realizaron proyectos enfocados a una actividad industrial como limpieza de Tanques, Pintura de Tanques.



Figura 1 Alicia VTX

Para ser partícipes de este proceso de investigación y diseño se propone el Diseño de un Robot Limpiavidrios motivados por los avances que otros robots han realizado como TITO, WINDORO, GEKKO G3 (Serbot), ROTAQLEEN (Lehmann) y URAKAMI son las bases para iniciar el proceso de diseño.



Figura 2 City Climber

4.2. Estado del Arte

En primera instancia se construyeron edificaciones con fachadas en ladrillos o paredes con ventanas pequeñas, pero este armazón presenta una ineficiencia en la iluminación interna de la construcción, y esto generaba costos mayores en energía. Con la integración del vidrio a este tipo de construcciones como una alternativa de solución y además marco una nueva tendencia en la estética y diseño de nuevas edificaciones brindando además de una muy buena iluminación para los trabajadores un ambiente natural que ofrece una excelente vista a las cercanías de la construcción. En la Latinoamérica gracias a todos estos avances se llevo a cabo la el primer proyecto de construcción en base a un armazón de acero y forrado de aluminio y vidrio, inaugurado en 1956 en la Ciudad de México llamado Torre Latinoamérica que tuvo un año más tarde su primera prueba que le dio prestigio y comprobó que esta ingeniería de construcción era viable ya que en 1957 la ciudad de mexicana tuvo un terremoto de 7,7 en la escala de Richter. Fue el edificio más alto de Latinoamérica, hasta 1979 cuando fue superado por la Torre Colpatria de Bogotá, Colombia.

Este tipo de edificaciones genero una nueva industria, aun que riesgosa para los trabajadores fue acogida con rapidez por los altos ingresos que recibía, Llamada en USA como Cleaning

las empresas que ofrecían la limpieza de los edificios fueron en aumento y los métodos que utilizaban eran dos: bajar a los trabajadores en arnés realizando el trabajo a alturas superiores a los 100 metros o utilizar andamios para mayor seguridad, empresas como Ecolimpia S.A (Colombia) [1], Alfacleam LTDA y Serlingo Servicios S.L (España).

Estos métodos generaron muchos accidentes producidos por errores humanos al no tomar las medidas de seguridad o por el vértigo producido en las personas al trabajar en las alturas. Generando a las empresas grandes costos en indemnizaciones pagadas a las familias de las víctimas, esto impulso a los empresarios a buscar ingenieros que desarrollaran mecanismos semiautónomos que realizaran un trabajo eficaz y a la vez alejaran a sus empleados de la zona de riesgo.

Compañías como LEHMANN GERMAN CLEANING SYSTEMS [2] fundada en 1985 respondieron al primer enfoque de ingeniería para solucionar el problema de arriesgar vidas humanas, ofreciendo en su portafolio unas herramientas de limpieza manuales sus modelos más destacados se encuentra:

- LEWI: es una barra telescópica multifuncional “limpiador de vidrios tradicional”, esta herramienta presenta una modelo muy estable y de prevención de fallos con una larga duración y rentabilidad.
- QLEAN: su principal característica es la interacción a prueba de fallos entre los modulos elaborados y las estaciones terrestres flexibles y con un montaje sencillo, seguro y facilidad para desmontaje de los postes. También tiene una forma de configuración de acuerdo con el nivel de dificultad dela limpieza.

- ROTAQLEAN: es un cepillo de acondicionamiento de cabeza eléctrica que utiliza un motor de 12 voltios para su rotación y que tiene un efecto de limpieza, incluso mejores que los cepillos convencionales.



Figura 3 Rotaqlean

Otras empresas diseñaron productos que no necesitaban ser manipulados por personas, en Estados Unidos la empresa SKYPRO [8] diseñó métodos de limpieza que eran guiados desde las terrazas del edificio logrando la limpieza de toda la edificación, dándole una mejor eficiencia y estética al proceso.

Posteriormente empresas como SERBOT SWISS INNOVATIONS [9] que diseñaron un robot llamado GEKKO el cual es autónomo. Esta empresa se enfocó en las diferentes superficies para realizar limpieza tales como, paneles solares, fachadas común y corrientes y vidrios, los cuales a su vez a medida que pasaba el tiempo iban proponiendo nuevos modelos empezando con el GEKKO 63-61, que incluye funciones automáticas para limpieza en cualquier superficie de las mencionadas anteriormente, y fue participe en el Hotel

intercontinental en Dubái el 28 de enero de 2010. Este robot combina ingeniería aplicada a la robótica, sistemas de comunicaciones, sistema anti-caída, e ingeniería de limpieza robotizada, además se comprobó la eficacia [10].



Figura 4 Gekko Junior G3

Por otra parte presento su segundo modelo GEKKO PLUS enfocado a menor tiempo de trabajo y mas área de limpieza (340 metro cuadrado a 350 metros cuadrado por hora) y además incluyo una reforma que permitiera al robot superar deformación en los marcos de los vidrios de 4 cm máximo, y además con un menor peso de 73 kilogramos en total, con un rendimiento optimo y un consumo de energía 3.8 KW con un sistema electrónico trifásico de 400 V [12].

Por último presento un modelo CLEAN ANT que se enfocaba a llegar a superficies de poco acceso, pero con una eficiencia menor a los modelos anteriores ya que no abarca gran área y no tiene una limpieza lineal o sectorizada [13].



Figura 5 Gekko Junior G1

4.3. Apartes Teóricos

Vortex

Para cumplir la función de escalar horizontalmente el robot se debe adherir o mantenerse en contacto con la superficie, mediante la aplicación de un fuerza de Unión. Recircular el aire en una carcasa fija mediante un impulsor que gira a altas velocidades y que permita generar una zona de baja presión al mover el aire lejos del eje de rotación. [4]

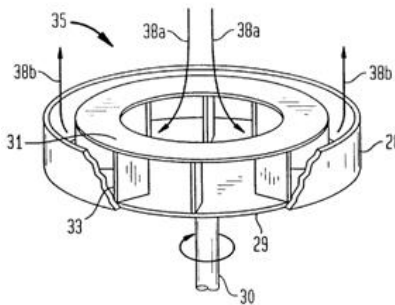


Figura 6 Impulsor centrífugo en Vortex

Equilibrar la fuerza centrípeta con la tendencia a sustituir el aire lejos del eje de rotación permite el cálculo teórico para la fuerza de adhesión generada por la turbina.

Así, la fuerza de adhesión se da por:

$$F = \pi \cdot \rho \cdot \Omega^2 \cdot R^4 / 2$$

Donde:

ρ = Densidad del aire

Ω = Velocidad angular

R = Radio del impulsor

4.4. Análisis Estático

Encontraremos el valor de la Fuerza de Unión mínima que requiere el robot para mantener el equilibrio, en base a esto definir el motor a usar para generar la Fuerza de Unión por medio de *Vortex*. [5].

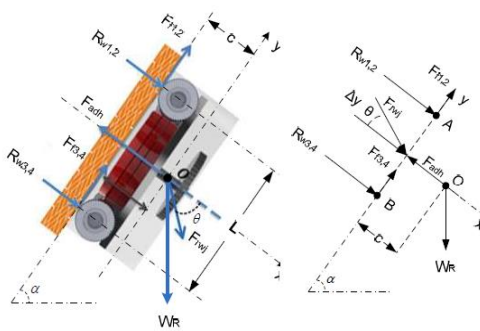
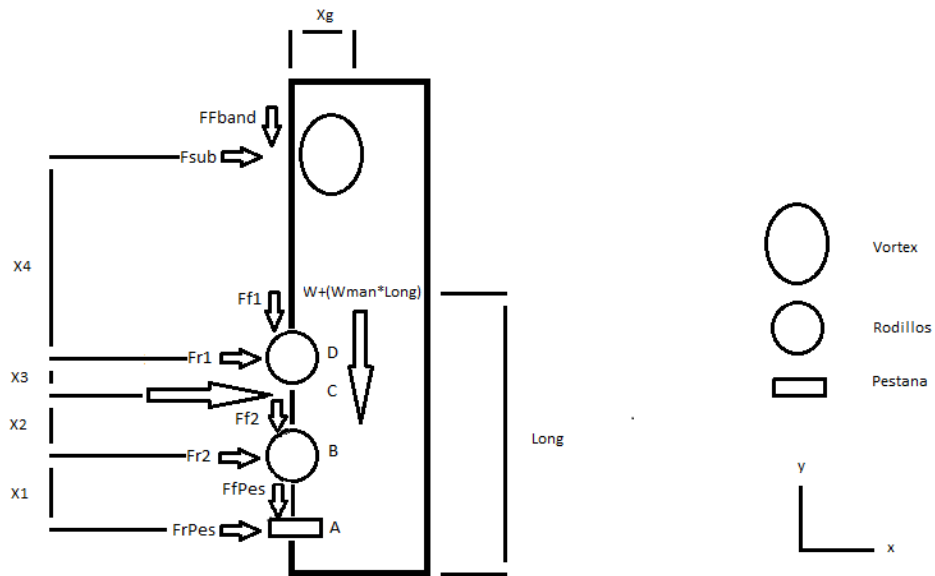


Figura 7 Diagrama Cuerpo Libre

4.5. Análisis de Fuerzas de Fricciones y Reacciones



$$\sum F_x = 0$$

$$Fr_1 + Fr_2 + Fr_{Pes} + 2.Fr_{Band} - F_{sub} = 0$$

$$\sum M_a = 0$$

$$-Fr_2(x_1) - 2.Fr_{Band}(x_1 + x_2) - Fr_1(x_1 + x_2 + x_3) - W(x_g) + F_{sub}(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) = 0$$

$$\sum M_b = 0$$

$$FrPes(x1) + 2.FrBand(x2) - Fr1(x2 + x3) - W(xg) + Fsub(x2 + x3 + x4) = 0$$

$$\sum Mc = 0$$

$$FrPes(x1 + x2) + Fr2(x2) - Fr1(x3) - W(xg) + Fsub(x3 + x4) = 0$$

$$Ff1 = W.Fr1$$

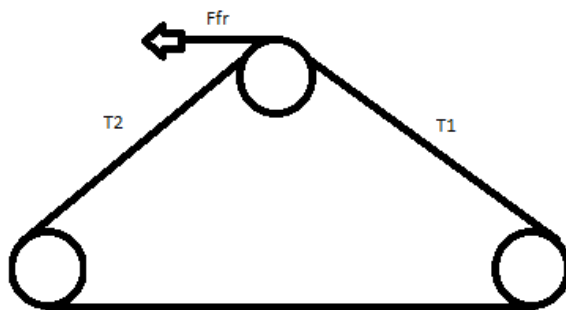
$$Ff2 = W.Fr2$$

$$FfPes = W.FrPes$$

$$FfBand = W.2.FrBand$$

4.6. Fuerza de Fricción y Torque

Las fuerzas de fricción son necesarias para mantener el robot de limpieza verticalmente a la ventanas, la fuerza de fricción generalmente contrarrestar las fuerzas de peso del robot y las mangueras, entonces es necesario para calcular la torsión, así como para elegir motores de par con dicho valor [6].



$$T = (Ffr.r) + (T2.r) - (T1.r)$$

$$Pot = T.W = T.\left(\frac{n2.2\pi}{60}\right)$$

$$V = W.r$$

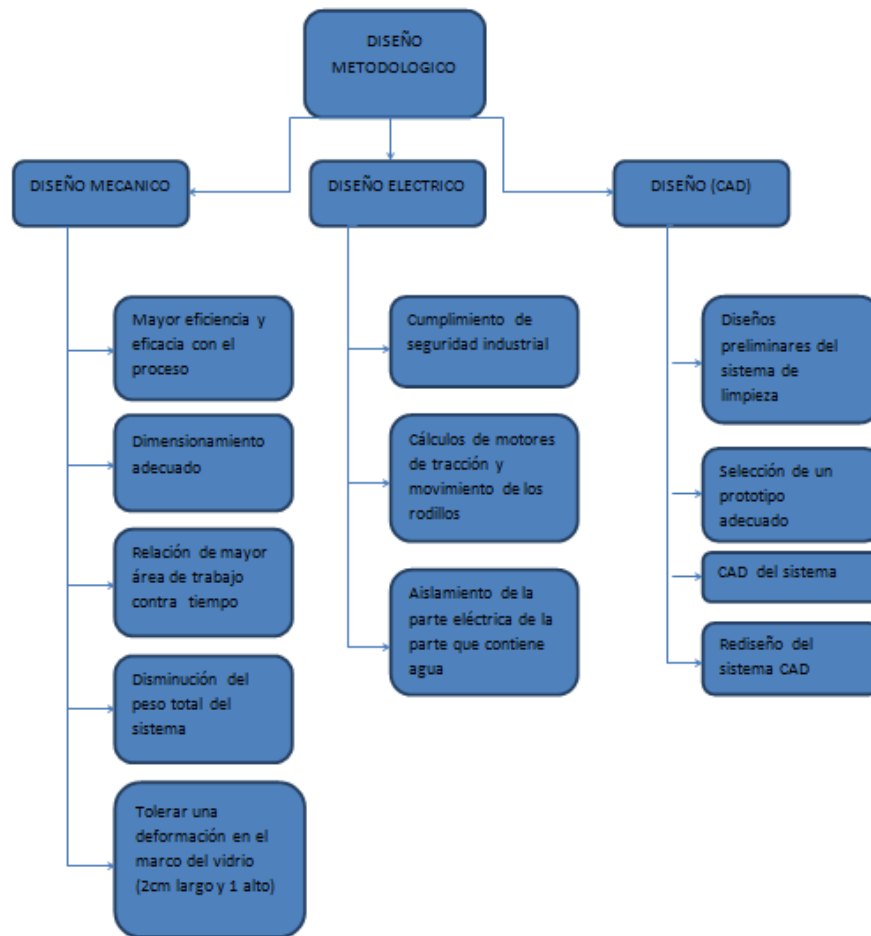
$$V = N.\frac{2\pi}{60}.r$$

$$N1 = V.\frac{60}{2\pi}.r$$

$$\frac{N1}{N2} = \frac{r2}{r1}$$

$$N2 = N1.\frac{r1}{r2}$$

4.7. Diseño Metodológico



5. Justificación

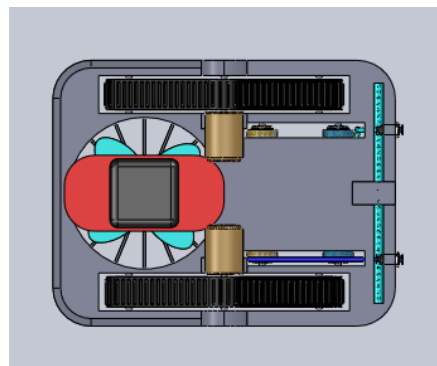
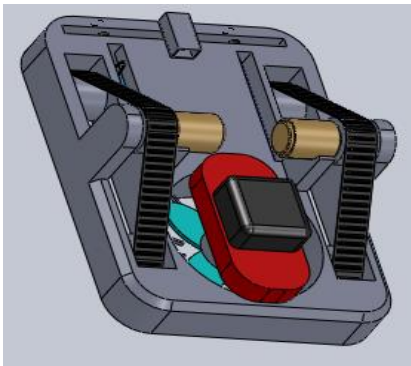
Optimización del proceso de limpieza en edificaciones con fachadas de vidrio y la reducción del riesgo de vida humanas.

6. Analisis del Problema

El problema radica en la no automatización del proceso de limpieza, generando grandes tiempos de trabajo y a su vez de alto riesgo, donde el operario arriesga su vida y la de otras personas al realizar la actividad de gran altura y con elementos con poca tecnología y seguridad.

7. ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO MECANICO

- Mayor eficiencia y eficacia con el proceso tradicional
- Dimensionamiento adecuado (No mayor a medio metro cuadrado)
- Relación de mayor Área de trabajo contra tiempo
- Acople del sistema de limpieza al robot escalador
- Disminución del peso del total del sistema
- Restricción de productos químicos para la limpieza
- Tolerar una deformación en el marco del vidrio (2 cm de largo y 1 cm alto)



8. ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO ELECTRICO

- Cumplimiento de seguridad industrial
- Cálculos de motores de tracción y de movimiento de los rodillos
- Aislamiento de la parte eléctrica de la parte que contiene agua

9. ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO

- Diseños preliminares del sistema de limpieza
- Selección de un prototipo adecuado
- CAD del sistema
- Rediseño del sistema CAD

10. REFERENCIAS

- 1 www.ecolimpia.com.co
- 2 www.lewi.de
- 3 Prah, J.M. (2002). Personal Communication.
- 4 Janet, J., D. Reinfeld, and B. Wiedeman (2004). Vortex Regenerative Air Movement: Attraction and Attachment on Vertical and Inverted Surfaces: A Simple Method for Static and Mobile Robots for Climbing on Walls and Ceilings, U.S. Army Soldier and Biological Chemical Command, Soldier Systems Center, Natick, Massachusetts. NATICK/TR-04/013L, May 2004. DTIC# ABV299170.
- 5 Li, J., Gao, X., Fan, N., Li, K., Jiang Z., 2009, "BIT Climber: A Centrifugal Impeller- Based Wall", IEEE

International Conference on Mechatronics and Automation, August 9 - 12, Changchun, China.

- 6 Hernan Gonzales Acuña, Fausto Sarmiento, Omar Lengerke, “Mechatronics desing applied to the concept of a service robot to clean storage tanks”, Universidad Autonoma de Bucaramanga.
- 7 González, H., Quintero, R., Ortiz, R., Montes, J., Hernando González A., H., Veslin, E., Design of a mobile robot for clean the external walls of oil tanks, book: Mobile Ad Hoc Robots and Wireless Robotic Systems: Design and Implementation.
- 8 <http://skypro.com/>
- 9 www.serbot.ch
- 10 Tecnun San Sebastián, “Diseño de un Robot Neumático para Limpieza de Cristales Inaccesible”, Escuela Superior de Ingenieros, 2008.
- 11 F. Cepolina, R.C. Michelini, R.P. Razzoli, M. Zoppi, “Gecko, a climbing robot for walls cleaning”, Dept. of Mechanics and Machine Design University of Genova, 2003.
- 12 F. Cepolina, R.C. Michelini, R.M. Molfino, R.P. Razzoli, “Gecko-Collie: Homecleaning Automation of Floors, Walls and Cupboards”, Dept. Machinery Mechanics and Design - University of Genova.
- 13 http://www.centrocristal.com.ar/Productos/eleccion_del_espesor_adequado_de.htm