

DISEÑO MECATRÓNICO DE UN ROBOT TIPO AGV “AUTOMATED GUIDED VEHICLE”

MAX SUELL DUTRA

*Doctor en Ingeniería Mecánica.
Gerhard Mercator Universität Duisburg, UNI-DUISBURG, Alemania
Professor Dr-Ing Universidad Federal de Rio de Janeiro UFRJ Brasil.
max@mecanica.coppe.ufrj.br*

JOHN FABER ARCHILA

*Especialista en Ingeniería Mecatrónica
Universidad Industrial de Santander, UIS Colombia
Candidato a Magister en Ingeniería Mecánica
Universidad Federal de Rio de Janeiro Brasil.
Investigador, Laboratorio de Robótica COPPE/UFRJ.
John.faber@ufrj.br*

OMAR LENGGERKE

*M.Sc. Automatización y Control de Sistemas Flexibles de Manufactura.
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Candidato a Doctor en Ingeniería Mecánica
Universidad Federal de Rio de Janeiro Brasil.
Investigador, Laboratorio de Robótica COPPE/UFRJ
olengerke@ufrj.br*

*Fecha de Recibido: 26/02/2008
Fecha de Aprobación: 16/05/2008*

RESUMEN

El desarrollo de robots automáticos es uno de ámbitos de investigación de los Sistemas flexibles de manufactura (SFM), donde el objetivo fundamental es la realización de tareas en el área de logística, disminuyendo la intervención humana, buscando automatizar labores repetitivas o inadecuadas para los trabajadores. Este artículo presenta la concepción de un AGV, Automated Guided Vehicle como parte de un SFM y propone una metodología de diseño Mecatrónico apoyada en herramientas CAD y CAE, en las áreas de mecánica, electrónica y control, dando lugar a la construcción del prototipo.

PALABRAS CLAVE: Robótica, Robótica Móvil, AGV, Metodología de Diseño Mecatrónico, SFM.

ABSTRACT

The development of automatic robots is one of the fields of research of flexible manufacturing systems (FMS), where the main goal is to carry out tasks in the area of logistics, reducing human intervention, searching automate repetitive tasks or inappropriate for the workers. This article presents the design of an AGV, Automated Guided Vehicle, as part of a FMS and proposes a mechatronics design methodology supported in tools CAD and CAE, in the areas of mechanics, electronics and control, giving rise to the construction of the prototype.

KEYWORDS: Robotics, Mobile Robotics, AGV, Mechatronic's Design Methodology, FMS.

1. INTRODUCCIÓN

Los AGV's "Vehículos Guiados Automáticamente" surgen como dispositivos de transporte, desarrollados para apoyar sistemas de manufactura. En el área de Robótica Industrial; son definidos como vehículos de transporte que admiten diferentes configuraciones mecánicas y son conducidos mediante un sistema computarizado [1]. Generalmente, los AGV's son vehículos industriales de diversos tamaños, de tracción eléctrica, sin conductor y con diferentes tipos de dispositivos de manipulación de materiales o cargas, son usados ampliamente en sistemas de almacenamiento, ensamble y manufactura que requieren transportar materiales dentro de un complejo industrial. Son considerados como el sistema más flexible de manipulación de materiales ya que su labor va desde repartir el correo hasta el transporte de grandes volúmenes de carga. Estos vehículos pueden ser considerados como una clase de robots móviles, que surgieron como una forma de solucionar los problemas de flexibilidad en sistemas de transporte, adaptándose rápidamente a cambios en la línea de producción (**Figura 1**). Sus múltiples aplicaciones incluyen la industria aeroespacial, automovilística, hospitales, industrias de papel, industrial de metales y en general, en cualquier sistema de transporte y almacenamiento.



Figura 1. AGV Indumant Handimat aplicado en el transporte de productos en proceso en una línea de montaje Denso Manufacturing en Telford [2]

En el presente artículo, se presenta el diseño de un AGV a partir de una metodología, para la concepción de proyectos mecatrónicos, propuesta por los autores y aplicable en el desarrollo de robots móviles en general; el diseño inicia por el modelamiento cinemático y dinámico, seguido del desarrollo del sistema mecánico, sistema electrónico y sistema de control, auxiliados con herramientas CAD, (*Computer Aided Design*) y CAE (*Computer Aided Engineering*), dando lugar al

ensamble de los diferentes sistemas y a la construcción del prototipo.

ANTECEDENTES

Los sistemas de AGV's son hoy en día una de las áreas de más dinámica en la manipulación de materiales, sin embargo los AGV's no son realmente nuevos. Hace treinta años aproximadamente cuando fueron desarrollados eran llamados sistemas sin operador, no obstante, con los años y los avances en la electrónica condujeron a los progresos en vehículos guiados [3]. Los primeros vehículos guiados automáticamente fueron desarrollados en 1954 por Barrett electronic Corporation, quienes utilizaban un cable elevado para dirigir un vehículo con remolques en un almacén de alimentos [4]. Sin embargo, fue en los años 60's y 70's cuando la evolución de la electrónica permitió un mayor avance en el desarrollo de los AGV's. La MHIA¹ presenta anualmente datos estadísticos de la inversión en la fabricación, actualmente los mayores proveedores son Estados Unidos, Suecia, Alemania y Taiwán, donde la demanda y el crecimiento del mercado de AGV's ha sido lenta, no obstante su potencial de crecimiento ha comenzado a mejorar (**Figura 2**).

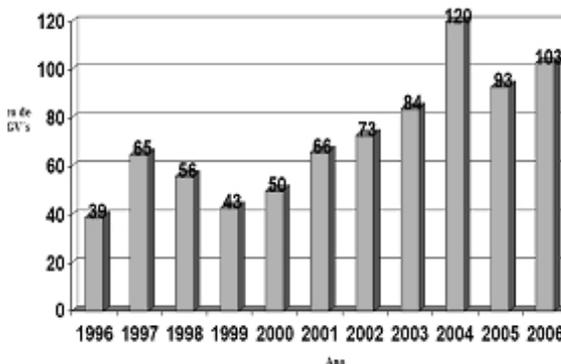


Figura 2. Número de sistemas AGV registrados pela MHIA desde 1996 – 2006

2. METODOLOGÍA

La metodología para la concepción del robot corresponde a una metodología de diseño mecatrónico basada en los principios de la metodología de diseño mecánico [6] según la cual los pasos a seguir son: identificación de una necesidad, formulación del problema, planteamiento de alternativas de solución, evaluación de dichas alternativas y diseño detallado. El AGV es proyectado para trabajar en un SFM, descrito posteriormente y está dividido en tres sistemas fundamentales: sistema mecánico, sistema electrónico y sistema de control, de

¹ MHIA Material Handling Industry of America. <http://www.mhia.org/>. [5]

tal forma que la formulación de alternativas se debe realizar para cada sistema del robot y la evaluación de las mismas es auxiliada mediante herramientas CAD y CAE, el proceso es retroalimentando dependiendo de los resultados de la evaluación (**Figura 3**). El diseño detallado se realiza posteriormente sobre la alternativa seleccionada.

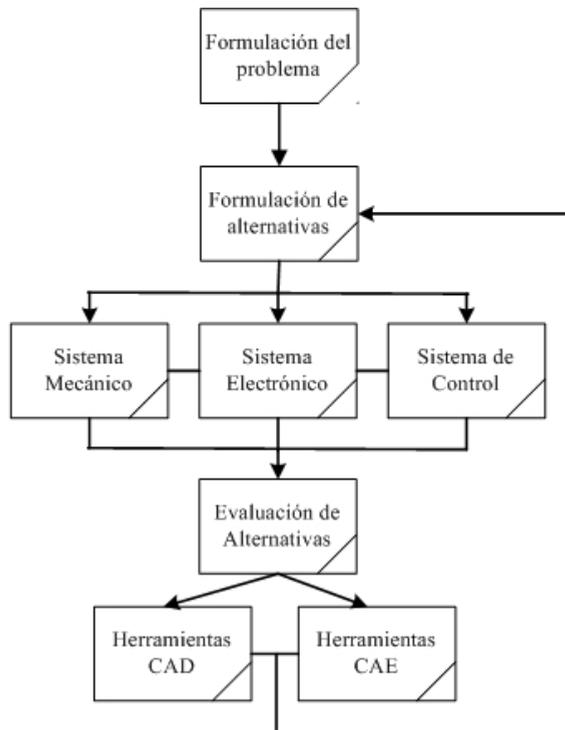


Figura 3. *Sistemas del AGV*

Los sistemas del AGV a su vez están divididos en subsistemas, cada uno de ellos posee sus correspondientes parámetros geométricos y dinámicos, que en algunos casos son compartidos; cada subsistema genera una tarea específica de diseño bien sea mecánico, electrónico o de control. Dentro del sistema mecánico hacen parte los subsistemas: chasis, el conjunto suspensión/tracción y la plataforma de carga (**Figura 4**).

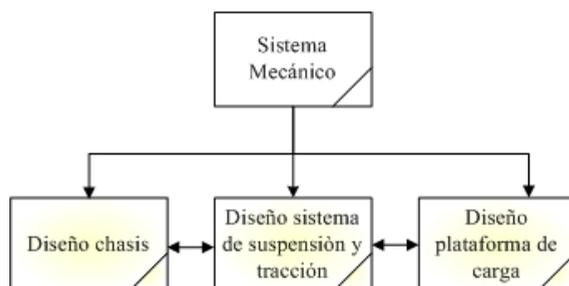


Figura 4. *Sistema mecánico*

En cuanto a los sistemas electrónicos y de control, están contenidos los siguientes subsistemas: el subsistema de alimentación, un subsistema de circuitos electrónicos y un subsistema de control encargado de brindar autonomía al robot. (**Figura 5**).

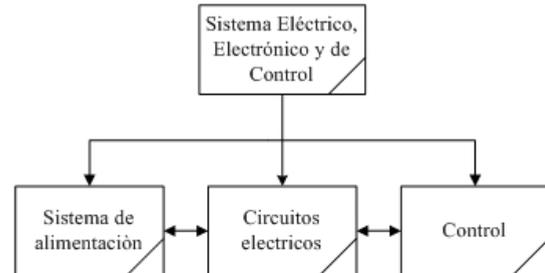


Figura 5. *Sistema eléctrico, electrónico y de control*

Concluidas las etapas de los diseños mecánico, electrónico y de control, es preciso acoplar los mismos, por medio de una etapa denominada: ensamble de los sistemas, en esa etapa se verifica el cumplimiento de requerimientos, para posteriormente pasar a la fabricación del prototipo. (**Figura 6**).



Figura 6. *Ensamble de los sistemas*

Para la integración de los sistemas del AGV y de las etapas de diseño, es necesario acoplar un modelo matemático que incluye el desarrollo de la cinemática y dinámica del robot, indispensables para la identificación de los parámetros físicos; estos últimos se precisan para el diseño de los diferentes sistemas, y para el desarrollo de los modelos computacionales. El diagrama de bloques de la **Figura 7**, condensa la metodología propuesta, donde el proceso de diseño se inicia con la elaboración de los modelos cinemáticos y dinámicos, seguido de diseños preliminares como base para las simulaciones computacionales y para el cálculo de consumo de potencia, dichos cálculos son realizados con el fin de dimensionar los actuadores, seleccionar la fuente de alimentación y seleccionar los sensores para el robot, logrando así proyectar cada uno de los sistemas (mecánico, electrónico y de control). La etapa

siguiente corresponde al diseño detallado de cada uno de los subsistemas del AGV, al concluir dicha etapa, los subsistemas son ensamblados y probados, dando lugar a la fabricación del prototipo.

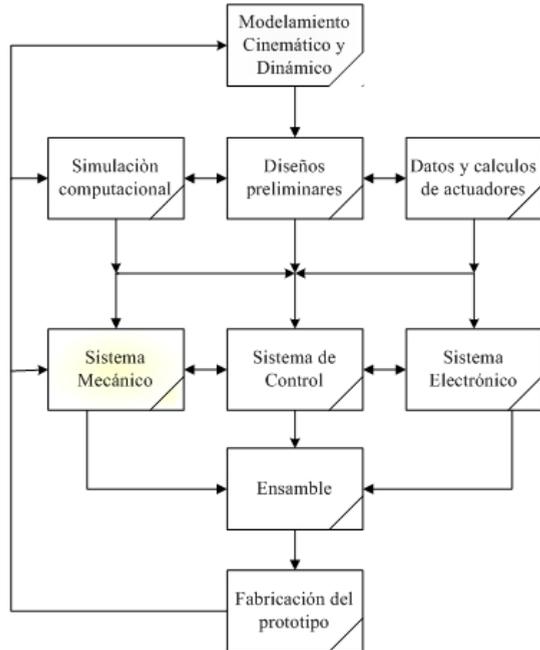


Figura 7. Metodología de Diseño Mecatrónico

3. RESULTADOS

3.1 MODELO CINEMÁTICO Y DINÁMICO.

La configuración seleccionada para el AGV corresponde a una configuración diferencial de seis ruedas (Figura 8), que presenta el modelo cinemático descrito por la Ecuación 1.

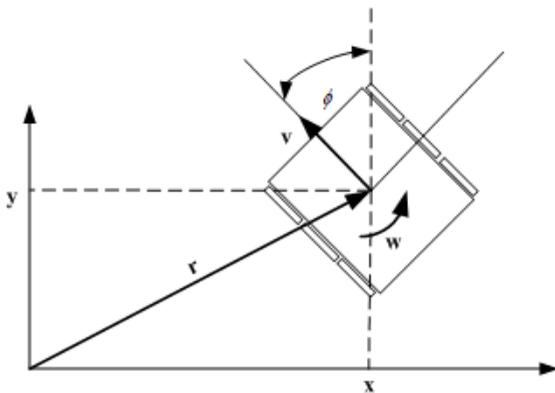


Figura 8. Modelo cinemático básico

$$r' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \phi' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\phi & 0 \\ \cos\phi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (1)$$

El modelo de la Ecuación 1, corresponde a un sistema no holonómico, donde la posición y orientación del robot no son independientes, al mismo tiempo, el modelo obedece a las siguientes restricciones [7]:

- El robot se mueve sobre una superficie plana.
- Los ejes de guiado son perpendiculares al suelo.
- Las ruedas se mueven con rodadura pura, es decir el deslizamiento es despreciable en el periodo de control.
- El robot se comporta como un sólido rígido y sus partes móviles se sitúan adecuadamente mediante el sistema de control.

Ampliando el modelo presentado en la Ecuación 1 y considerando las velocidades de las ruedas conductoras del AGV (Figura 9) se obtiene el modelo cinemático dado por la Ecuación 2.

$$r' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \phi' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(c \sin\phi)/2 & -(c \sin\phi)/2 \\ (c \cos\phi)/2 & (c \cos\phi)/2 \\ -c/b & c/b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_i \\ \omega_d \end{bmatrix} \quad (2)$$

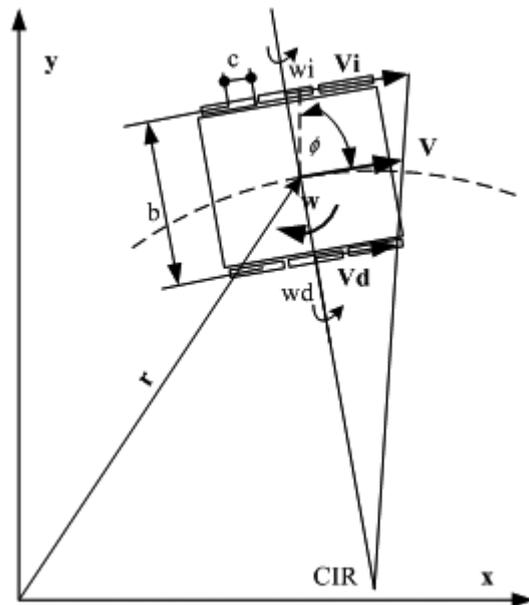


Figura 9. Modelo cinemático detallado

Este modelo relaciona las velocidades absolutas del AGV para unas velocidades angulares de las ruedas dadas, con los parámetros geométricos básicos del robot.

Para estimar la posición y orientación, se integra la Ecuación 2, obteniendo el modelo dado por la Ecuación 3.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ \phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \int_0^t \frac{-c \sin \phi}{2} (\omega_d + \omega_i) dt \\ \int_0^t \frac{c \cos \phi}{2} (\omega_d + \omega_i) dt \\ \int_0^t \frac{c}{b} (\omega_d - \omega_i) dt \end{bmatrix} \quad (3)$$

Con el modelo cinemático, se desarrolla un modelo CAD 2D, donde se determinan las dimensiones básicas del AGV, de acuerdo con las especificaciones de la carga y el área de trabajo (Layout) (Figura 10) [8]. Este layout corresponde al SFM para el cual es proyectado el robot, dicho SFM consta de un AS/RS (Automatic Storage/Retrival System) o sistema de Almacenamiento y entrega de piezas, dos centros de mecanizado de control numérico, y dos procesos de ensamble, cada uno con su respectivo robot manipulador.

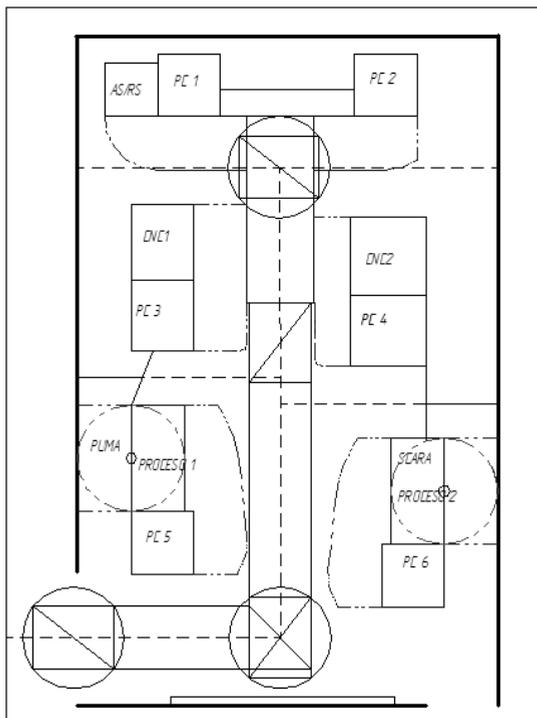


Figura 10. Layout para el AGV.

Para el desarrollo del modelo dinámico es necesario analizar la dinámica de las ruedas y la dinámica del robot como un todo. El modelo dinámico de las ruedas es descrito por la Ecuación 4, la cual relaciona la inercia de la rueda J_w , la aceleración angular \ddot{W}_i , el torque de tracción T_{ei} , el torque de frenado T_{bi} , la fuerza de tracción entre la rueda y la pista F_i , la fuerza de fricción viscosa F_v y el radio de la rueda R_w [9].

$$M_v \dot{V} = \sum_{i=1}^n F_i - F_v \quad (4)$$

$i = (1, \dots, n)$

Es importante tener en consideración que la fuerza de tracción entre la rueda y la pista depende del coeficiente de fricción μ y este a su vez depende de: las condiciones de la pista, las condiciones de deslizamiento de la rueda "Wheel Slip" [10] y condiciones de deformación "Deformation Slip" [11]. La dinámica del movimiento del robot es dada por la Ecuación 5, donde son relacionadas la masa del robot M_v , la aceleración \dot{V} , la fuerza de tracción entre la rueda y la pista F_i y la fuerza del viento F_v desde $i = 1$ hasta $n =$ número de ruedas del AGV.

En resumen, el modelo dinámico dado un torque de

$$M_v \dot{V} = \sum_{i=1}^n F_i - F_v \quad (5)$$

$i = (1, \dots, n)$

tracción, es representado por medio del diagrama de bloques de la Figura 11.

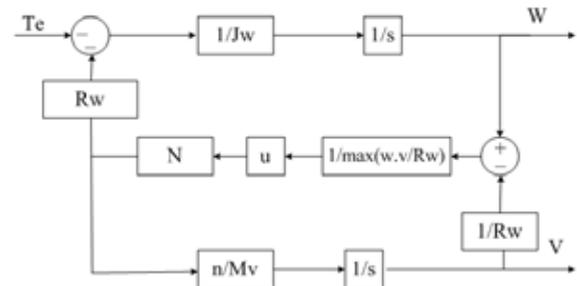


Figura 11. Modelo dinámico Rueda, pista, Robot

Posteriormente, se inicia el desarrollo del modelo CAD 3D del AGV y concurrentemente son realizadas pruebas experimentales, con el fin de determinar los valores de fricción entre las llantas y la pista. A su vez, con los parámetros dinámicos determinados son realizados los cálculos para dimensionar el sistema eléctrico, electrónico y de control.

3.2 SISTEMA MECÁNICO

El sistema mecánico es modelado con la ayuda de herramientas CAD *Computer Aided Design* realizando análisis de interferencia entre piezas y cumplimiento de las restricciones geométricas dadas en los modelos cinemáticos y dinámicos. Posteriormente, es realizada la selección de materiales auxiliada con la herramienta CAE *Computer Aided Engineering* ANSYS WorkBench.

Suspensión del AGV

Son realizados dos modelos mecánicos para la suspensión del AGV el primero de ellos se presenta en la **Figura 12** y propone una suspensión independiente para cada rueda del AGV.

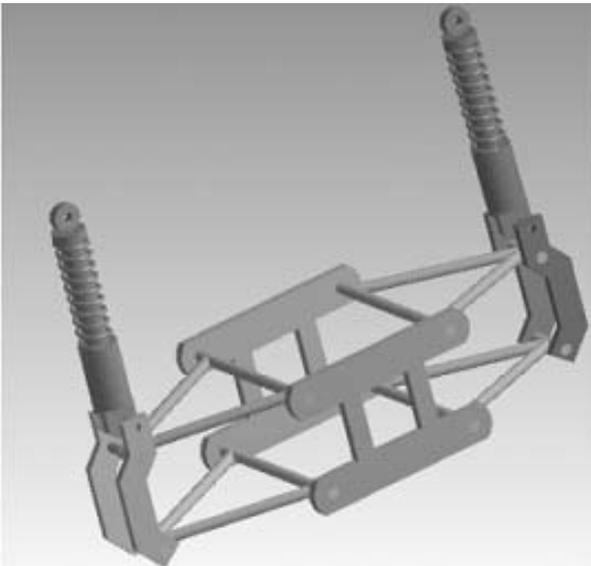


Figura 12. *Suspensión independiente*

Este modelo es reprobado debido a que no cumple con las restricciones geométricas, aumentando las dimensiones y la inercia del AGV, por otra parte incrementa la complejidad el sistema de tracción y control. En el modelo de suspensión presentado en la **Figura 13**, se plantea un sistema independiente para cada uno de los lados de las ruedas, a diferencia del anterior que plantea suspensión independiente en cada rueda. Este modelo satisface las restricciones geométricas y permite que el sistema de tracción sea accionado por dos actuadores independiente del número de ruedas.

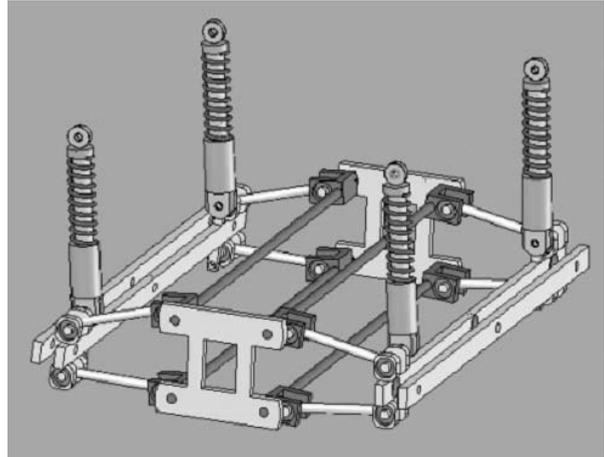


Figura 13. *Suspensión por tijera*

Tracción del AGV

El sistema de tracción está compuesto por ruedas y transmisión acoplado de forma como se presenta en la **Figura 14**, donde se plantea llevar el torque de los motores a las ruedas por medio de una transmisión por cadena y una junta universal. Este primer diseño del sistema de tracción es reprobado debido a la diferencia de velocidades que puede genera el desalineamiento angular de la junta universal, causando problemas en el control del AGV.

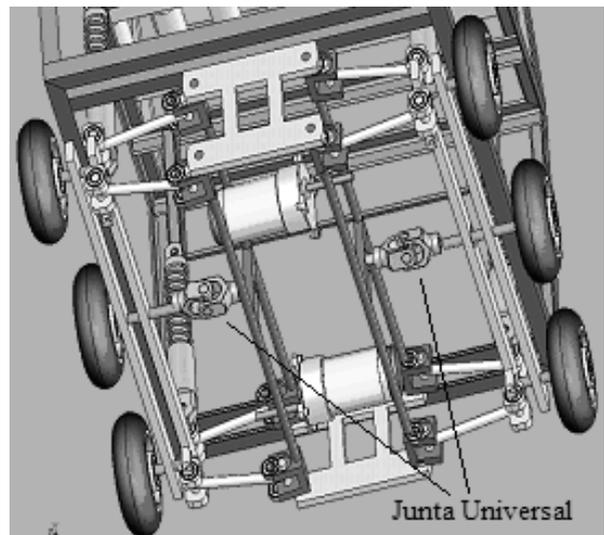


Figura 14. *Primer sistema de tracción*

La segunda propuesta para el sistema de tracción incluye el uso de dos juntas homocinéticas que eliminan el problema de la junta universal (**Figura 15**).

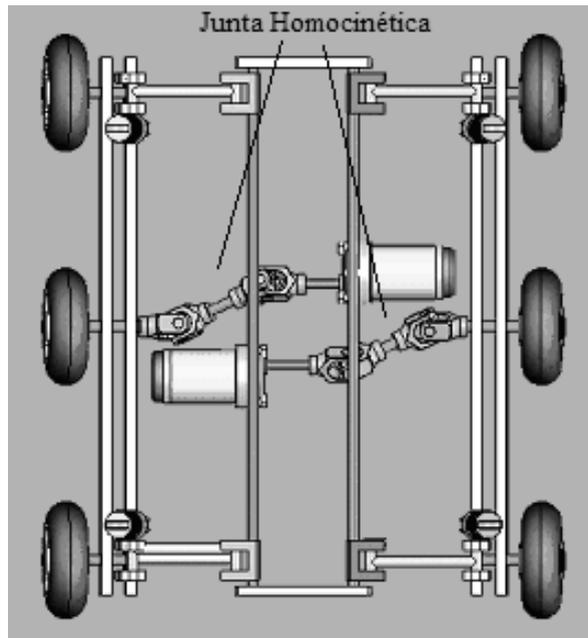


Figura 15. Sistema de tracción del AGV

Con esta configuración se tiene además una holgura en el montaje de los motores debido a la posibilidad de cambiar la posición en sentido angular. Es importante resaltar que se debe mantener el centro de gravedad del vehículo en el centro del eje de las ruedas centrales para ajustarse a los modelos cinemáticos y dinámicos, mejorando la controlabilidad del AGV [12].

Estructura del AGV

La estructura del AGV proporciona el soporte para las

piezas a transportar, la electrónica y el sistema de control embarcados. Las premisas de diseño corresponden a una estructura liviana y rígida, para tales fines son seleccionados perfiles en 'L' y es propuesta la estructura de la **Figura 16** sobre la cual son realizados análisis de esfuerzos y deformaciones, obteniendo un factor de seguridad mínimo de 4,2 ante una carga distribuida de 1200 N, aplicada a las barras superiores de la estructura.

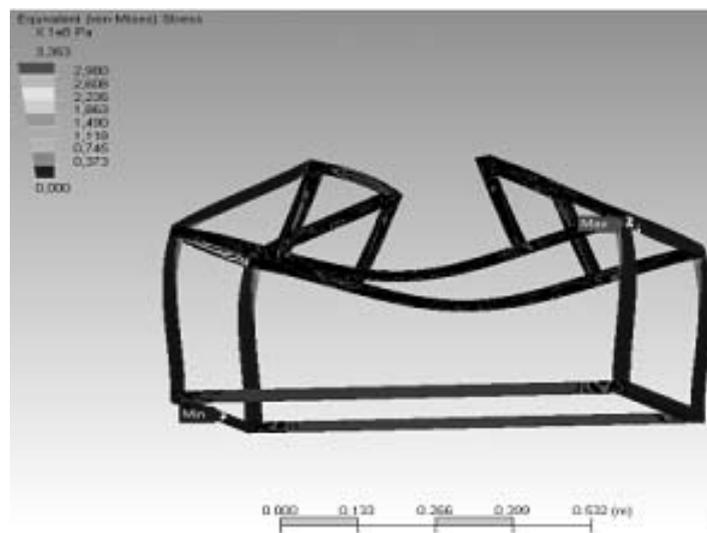


Figura 16. Análisis de la Estructura del AGV

Plataforma de carga

La plataforma de carga del robot tiene la función de tomar las piezas del puesto de trabajo y llevarla hasta el AGV para ser transportada por él mismo. La plataforma está compuesta por un sistema de rodillos sobre los cuales se deslizan las piezas y un sistema de recolección que lleva las piezas hasta su ubicación dentro del sistema de rodillos (**Figura 17**). El sistema de recolección consta de un tornillo de potencia encargado del movimiento longitudinal del colector de piezas accionado por un motor eléctrico y transmisión por cadena.

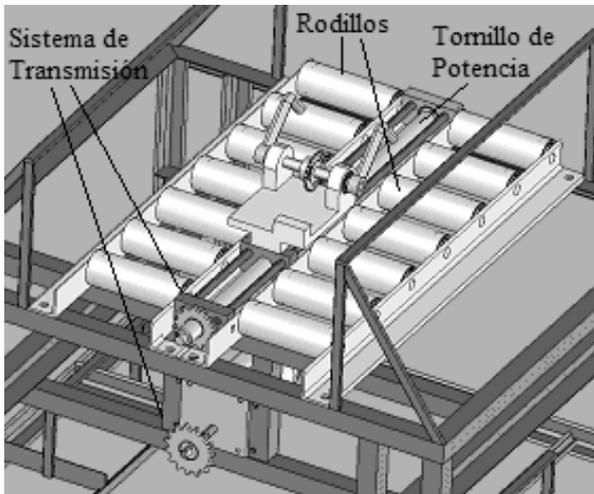


Figura 17. Plataforma de carga del AGV

Prototipo CAD del AGV

El prototipo CAD completo del AGV se presenta en la **Figura 18**. Donde se aprecia la configuración general del robot.

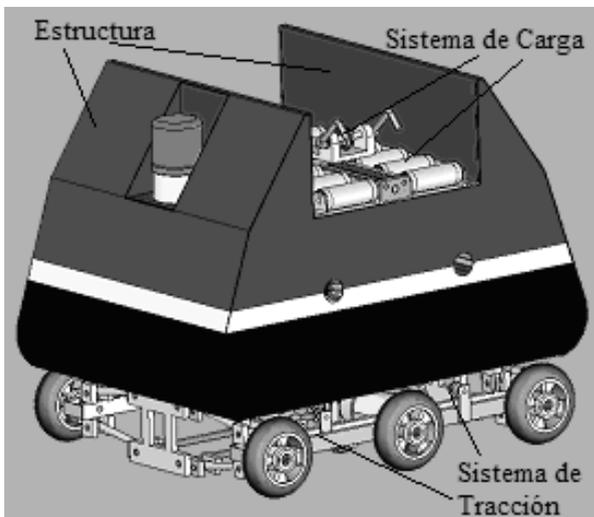


Figura 18. Prototipo CAD del AGV

3.3 SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

Para el diseño del sistema eléctrico y electrónico, se toma como referencia el modelo cinemático y dinámico del robot, donde son estimadas las velocidades, aceleraciones, cargas y torques; con dichos valores son dimensionados motores, baterías, y circuitos eléctricos. Los motores seleccionados (motores Hitachi) proporcionan una potencia de 240 W, 3100 RPM y un torque de 0,63N.m a la salida del motor (**Ecuación 6**).

$$\eta_{eficiencia} = 0.85$$

$$\eta_{eficiencia} = \frac{P_{mec}}{P_{elec}}$$

$$P_{mec} = 240w(0.85) = 204w \quad (6)$$

$$Torque = \frac{P_{mec}}{\omega} = \frac{204}{324.63rad/s} = 0.63N.m$$

Incluyendo una reducción y controlando la velocidad del motor a 1200 RPM se obtiene un torque de 5,4 N.m a la entrada de las ruedas (**Ecuación 7**).

$$Torque = \frac{P_{mec}}{\omega} = \frac{102}{18.86} = 5.40N.m \quad (7)$$

El valor del torque es apropiado para el transporte de una carga de 60 kg.

Para el movimiento de los motores se implementa un puente H [13] (**Figura 19**) que es aislado por medio de un opto-acoplador de la etapa de control, con el fin de proteger la misma [14].

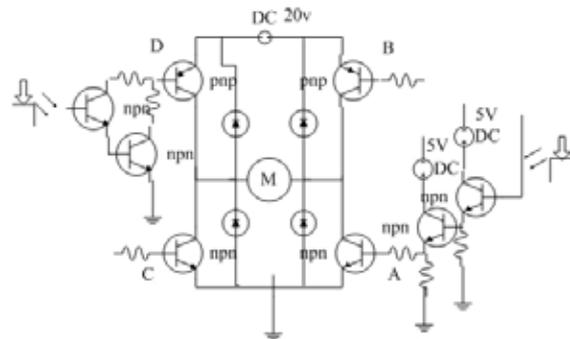


Figura 19. Circuito de control de los actuadores del AGV.

Para el control de la plataforma de carga del AGV se implementó otro circuito tipo puente H.

Cada uno de los motores seleccionados cuenta con un encoder incremental por medio del cual se tendrá una aproximación de la posición del AGV, dichos encoders necesitan de un circuito contador de pulsos

independiente que lleve el dato de posición al sistema de control, para tal fin se desarrolló un circuito contador de pulsos independiente de los microcontroladores encargados del control del AGV.

3.4 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control del AGV está compuesto por tres etapas, la primera corresponde al control de los motores, que puede ser cinemático y/o dinámico. La segunda es la planeación de trayectorias usando un algoritmo de búsqueda [15] y la tercera etapa corresponde a un control supervisorio que permita modificar los parámetros de trayectoria brindando flexibilidad al AGV [16]. En el trabajo propuesto son presentados los comandos básicos para el movimiento del robot, movimiento en línea recta hacia delante o hacia atrás una distancia dada, giro de 90 grados a la derecha, giro de 90 grados a la izquierda.

Control Cinemático

El modelo de control cinemático es obtenido por medio de la ley de control \bar{u} , expresado por la **Ecuación 8** [17].

$$\bar{u} = \dot{X}_d + K(X_d - X) \quad (8)$$

Donde X_d corresponde a la posición deseada y X a la posición real del robot. En términos de diagrama de bloques se obtiene la **Figura 20**.

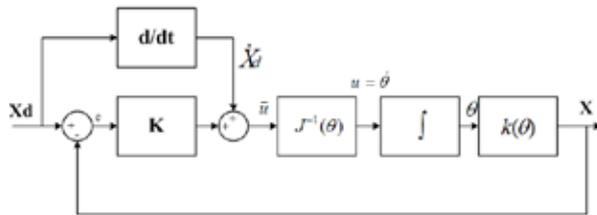


Figura 20. Control cinemático del AGV

Donde $J^{-1}(\theta)$ corresponde al Jacobiano inverso determinado a partir del modelo cinemático. El Jacobiano no es cuadrado de tal forma que es necesario emplear la pseudoinversa (**Ecuación 9**).

$$q' = \{ [J(p)]^T J(p) \}^{-1} [J(p)]^T p' \quad (9)$$

Las velocidades angulares de las ruedas izquierda y derecha, corresponden a: $q' = [w_l \ w_d]^T$ y el Jacobiano se muestra en la (**Ecuación 10**).

$$J(p) = \begin{bmatrix} -(c \sin \phi)/2 & -(c \sin \phi)/2 \\ (c \cos \phi)/2 & (c \cos \phi)/2 \\ -c/b & c/b \end{bmatrix} \quad (10)$$

Para el cálculo de la posición y orientación del robot se emplea el algoritmo de la **figura 21** [18].

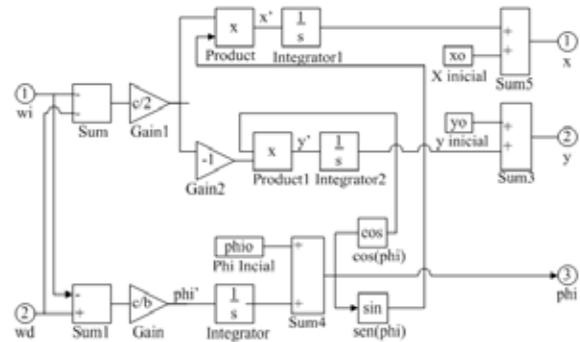


Figura 21. Diagrama simulink para el cálculo de la posición y orientación del AGV

La retroalimentación en el lazo de control es realizada mediante los encoders de los motores que envían una señal de pulsos a un circuito contador y este a su vez, envía el dato de numero de pulsos, el cual es proporcional a la posición, a un microcontrolador quien realiza la comparación encontrando el error de posición y ejecuta la ley de control. Los movimientos básicos del robot se realizan enviando señales de activación al circuito del puente H generando los movimientos de avance, giro a la derecha y giro a la izquierda, los giros son temporizados y la constante de tiempo de giro es obtenida experimentalmente. La secuencia de comandos para los motores de acuerdo con el movimiento a realizar es mostrada en la **Figura 22** y las letras A, B, C, D, corresponden a los transistores del puente H de la **Figura 19**.

0. INICIO	0	0
1. ADELANTE	A1B1	A2B2
2. GIRODERECHA	A1B1	C2D2
3. ADELANTE	A1B1	A2B2
4. GIROIZQUIERDA	C1D1	A2B2
5. ADELANTE	A1B1	A2B2
6. ATRAS-ADELANTE	C1D1	C2D2
7. GIRODER-IZQ	C1D1	A2B2
8. ATRAS-ADELANTE	C1D1	C2D2
9. GIRO IZQ-DER	A2B2	C2D2
10. ATRAZ-ADELANTE	C1D1	C2D2

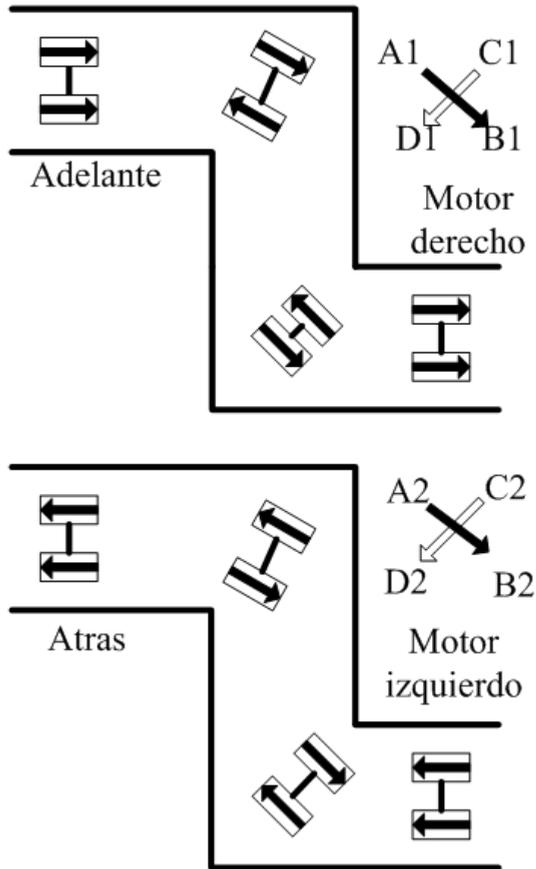


Figura 22. Secuencia para los movimientos del AGV

Pruebas

Una vez desarrollado el prototipo, se realizaron pruebas de campo con el fin de encontrar sus características de consumo, uno de los resultados de las pruebas es presentado en la Figura 23.

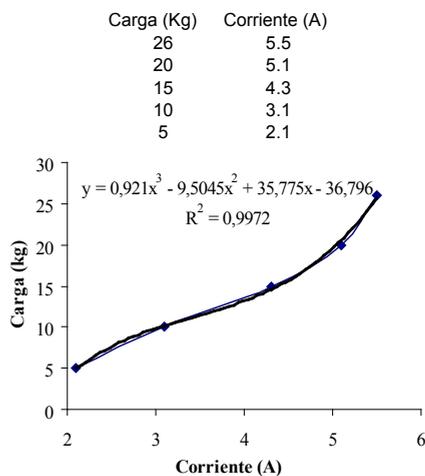


Figura 23. Consumo del AGV

La Figura 23 presenta el consumo de corriente de cada actuador del robot ante variaciones en la carga de trabajo dentro del SFM, encontrando un consumo para carga máxima (30 Kg por actuador) de 5,5 Amperios, los motores están alimentados a 20 voltios DC implicando un consumo de potencia de 110 vatios. La Tabla 1 presenta el resumen de las características técnicas del AGV.

Tabla 1. Características Técnicas del AGV

CARACTERÍSTICAS AGV		
Velocidad de trabajo máxima	1	m/s
Capacidad de carga	60	kg
Carga de Diseño de la estructura	120	kg
Alimentación	20	Volts
Corriente máxima	6	Amp
Potencia de trabajo	220	Watts
Torque a 1 m/s	5,48	N-m
Autonomía (60kg, 1m/s)	2	hr
Grados de libertad	3	
Alimentación para el control	5	Volts
área ocupada	0,7x0,9	m ²
altura	0,8	m
Volumen	0,504	m ³
Peso del AGV sin carga	42	Kg

4. CONCLUSIONES

El artículo presenta el desarrollo de un robot tipo AGV para ser aplicado en un Sistema de Manufactura (SM), teniendo en cuenta las restricciones del layout del mismo, consiguiendo aportar un elemento tecnológico indispensable para convertir el SM en un sistema flexible SFM.

Este artículo propone una metodología de diseño mecatrónico, partiendo del desarrollo de los modelos cinemáticos y dinámicos permitiendo observar las interacciones entre cada uno de los sistemas y el desarrollo satisfactorio de los mismos.

El AGV corresponde a la plataforma hardware base para investigaciones posteriores en el área de control, inteligencia artificial, y evaluaciones de desempeño de sistemas de locomoción mediante ruedas diferenciales, entre otros.

El robot presenta una capacidad de carga de 60 Kg., lo cual lo hace aplicable en el área de logística, para diferentes actividades de los sectores: productivo y servicios.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dictionary of Engineering, Second Edition, McGraw Hill, 2003.
- [2] B. Rooks, AGVs find their way to greater flexibility, Assembly Automation, Vol. 21, No. 1, 2001.
- [3] G.A. Koff, R. DEMAG, Automatic Guided Vehicle Systems "Basics of Agv's", National Material Handling Forum. Material Handling Classics of Material Handling Institute, 1985.
- [4] H. Moravec, Robots, after all, Communications of the ACM, ACM Press, New York, Vol. 46, Ed. 10, 2003.
- [5] MHIA, Material Handling Industry of América, disponible: <http://www.mhia.org> [citado marzo de 2008].
- [6] R. Norton, Projeto de Máquinas. Prentice hall, segunda edição, São Paulo, 2000.
- [7] A. Ollero, Robótica, Manipuladores y robots móviles, Primera edición, Alfaomega, Barcelona, 2001.
- [8] R. Askin, Modeling and Analysis of Manufacturing Systems. John Wiley & Sons. 1993.
- [9] J. Lima, Sistema antibloqueo (ABS) para freios eletromecânicos utilizando controle por modos deslizantes, (maestria) Universidade Federal de Rio de Janeiro UFRJ, 2005.
- [10] K. R. Buckholtz. "Reference Input Wheel Slip Tracking Using Sliding Mode Control". SAE2002 World Congress Detroit, Vol. 111, No. Part 6, p. 477, 2002.
- [11] J. Wong. Theory of Ground Vehicles. 2nd ed. Wiley and Sons, New York, 1978.
- [12] P. Kachroo and Tomizuka. "Vehicle Traction Control and its Applications". Tech. Rep., UIPRR-94-08 Inst. Transportation, Univ. California, Berkeley, 1994.
- [13] M. Rashid, Electrónica de potencia. Circuitos, dispositivos, Pearson Educación, 1998
- [14] J. P. Balcells, Autómatas Programables. Primera edición, Alfaomega. 1999

[15] F. Escolano, Inteligencia Artificial: Modelos, técnicas y áreas de aplicación, Ed. Thomson-Paraninfo, 2003.

[16] R. Piedrahita, Ingeniería de la automatización industrial, Primera edición, Alfaomega. Páginas 1-4. 1998.

[17] J. J. E. Slotine. "The Control Robust of the Manipulators". Int. J. Robotics Research, Vol.4, No.2, 1985.

[18] J. Ludemann. Heterogeneous and Hybrid Control with Application in Automotive Systems. PhD thesis, Glasgow University, 2002.

6. CURRÍCULUM



Max Suell Dutra. Ingeniero Mecánico de la Universidad Federal Fluminense, Magister en Ingeniería Mecánica de la Universidad Federal de Rio de Janeiro, Doctor en Ingeniería Mecánica, Gerhard Mercator Universitaet Duisburg Alemania, Posdoctorado en Technische Universität Hamburg - Harburg.

Actualmente es profesor asociado de la Universidad Federal de Rio de Janeiro. Director del Laboratorio de Robótica COPPE/UFRJ. Áreas de Trabajo: Robótica, Dinámica no lineal, Biomecánica y Automatización Industrial. E-mail: max@mecanica.coppe.ufrj.br



John Faber Archila. Ingeniero Mecánico de la Universidad Industrial de Santander, Colombia, Especialista en Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Industrial de Santander, Candidato a Magister en Ingeniería Mecánica Área Diseño de Máquinas y Robótica, de la Universidad Federal de Rio de Janeiro Brasil, e Investigador

del Laboratorio de Robótica COPPE/UFRJ. Áreas de Trabajo: Robótica Industrial, Diseño de Máquinas, Diseño Mecatrónico, Automatización, Hidráulica y control. E-mail: john.faber@ufrj.br



Omar Lengerke. Ingeniero de Sistemas Computacionales Universidad Autónoma de Bucaramanga y Maestría en Ciencias en Control y Automatización de Sistemas de Manufactura del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Estado de México

ITESM-CEM. Actualmente es estudiante de Doctorado en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la línea de Proyectos Mecatrónicos, Robótica y Automatización Industrial COPPE UFRJ. Áreas de Trabajo: Automatización Industrial, Sistemas SCADA, Redes de Comunicación Industrial, Robótica y Sistemas Flexibles de Manufactura. E-mail: olengerke@ufrj.br