

Vehículo guiado automático con un brazo articulado de 5 grados de libertad

Noemí **Corro-Valdez**
Ángel **Martínez-Velazquez**
Pablo **Moreno-Garibaldi**

Instituto Politécnico Nacional,
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
Unidad Azcapotzalco.
Av. De las Granjas 682, Santa Catarina,
CP 02250, Ciudad de México.
MÉXICO.

correo electrónico (email):
nocova12@yahoo.com.mx

Recibido 06-08-2014, aceptado 27-11-2015.

Resumen

La tecnología es tan antigua como el hombre mismo. Así los hombres se convirtieron en tecnólogos cuando aprendieron a aprovechar los materiales y fenómenos naturales del mundo físico que los rodeaba [8]. La planificación y la resolución de problemas forman el núcleo de la tecnología. La mecanización de procesos han maximizado la fuerza muscular, las computadoras el poder mental, los sentidos del hombre se han maximizado por medio de los dispositivos de medición como los sensores y aparatos de medición. Este desarrollo de sistemas de tecnología avanzada ha dado lugar al desarrollo de sistemas tan complejos como son los robots, los cuales son máquinas que integran sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos dotados de un sistema informático para su control en tiempo real [9]. La robótica industrial trata fundamentalmente de dotar de flexibilidad a los procesos productivos incrementando al mismo tiempo la productividad. Otro sector de importancia creciente en las aplicaciones de la robótica son los robots de servicio, entre los cuales se incluyen los robots domésticos, de apoyo a los discapacitados y asistentes en general.

Palabras clave: robot, AGV, automatización.

Abstract (Automatic Guided Vehicle with an Articulated Arm 5 Degrees of Freedom)

The technology is as old as man himself. Thus men became technologists when they learned to its material and natural phenomena of the physical world around them. The mechanization of processes have maximized muscle strength, mental power computers, man's senses have been maximized through the measuring devices such as sensors and all measuring apparatus. All this development of It has led to the development of such complex systems such as robots, which are machines in which mechanical, electrical, electronic systems equipped with a computer system for real-time control are integrated. Another area of growing importance in applications of robotics are service robots, including household robots, robots support for disabled and assistants robots in general are included.

Key words: robot, AGV, automation.

1. Introducción

Al principio de los años sesenta se introducen en la industria de manera significativa los robots manipuladores como un elemento más de procesos productivos. Esta proliferación motivada por la amplia gama de posibilidades que ofrecía, inicio el interés de los investigadores para lograr manipuladores más rápidos y fáciles de programar. La consecuencia directa de este avance originó un nuevo paso en la automatización industrial [10].

Los trabajos desarrollados por los manipuladores consistían frecuentemente en tareas repetitivas como la alimentación de las distintas máquinas componentes de las células de manufactura flexible. Ello exigía ubicar los materiales en lugares accesibles para el manipulador, esta demanda de manipuladores fue creciendo de tal forma que exigía mayor rapidez en la colocación de materiales en el lugar e instante preciso. Una solución a esta demanda es el diseño y fabricación de vehículos guiados para proporcionar un transporte eficaz de los materiales entre las distintas zonas de la cadena de producción en una fábrica.

De esta forma, aparecen los primeros vehículos guiados (AGV), las mejoras con respecto a sus primeros desarrollos son el sistema de rieles como sistema de guiado haciéndolos más flexibles y estables en sus trayectorias. La posibilidad de estructurar el entorno industrial permite la navegación de vehículos con una capacidad sensorial y de procesamiento de información mínimas, con lo cual, existe la capacidad de estructurar una secuencia de acciones en la que a su término el vehículo ha alcanzado el objetivo para el que está programado. Ante cualquier cambio inesperado en el área de trabajo que afecte el desarrollo normal de la navegación, el sistema de navegación del vehículo se encontraría imposibilitado para ejecutar acciones alternativas que le permitan reanudar su labor. Sin embargo, por sus aplicaciones potenciales fuera del ámbito industrial, en el cual resulta costoso o muy difícil estructurar el ambiente, se optó por el desarrollo de un vehículo con una mayor adaptabilidad al entorno en donde debería desenvolverse [9].

Una definición correcta de robot móvil plantea la capacidad de movimiento sobre entornos no estructurados de los que se posee un conocimiento incierto mediante la interpretación de la información suministrada a través de sus sensores y del estado actual del vehículo. El uso de robots móviles está justificado en aplicaciones en las que se realizan tareas arriesgadas para el trabajador, entre ellas, el transporte de material peligroso, las excavaciones mineras, la limpieza industrial con materiales tóxicos, etc., es decir, ejemplos donde un robot móvil puede desarrollar su labor y evitar poner en riesgo al ser humano. Otro grupo donde este tipo de robots complementa la actuación del operador, lo componen las labores de vigilancia o asistencia a personas incapacitadas. Así como en operaciones de teleoperación, donde existe un retraso sensible de las comunicaciones, resulta interesante el uso de vehículos con cierto grado de autonomía.

El robot móvil autónomo se caracteriza por una conexión inteligente entre las operaciones de percepción y acción, que definen su comportamiento y le permiten llegar a la conclusión de los objetivos programados sobre entornos con cierta incertidumbre.

El grado de autonomía depende en gran medida de la facultad del robot para entender el entorno y convertir la información obtenida en órdenes, del tal modo que, aplicada sobre los actuadores del sistema de locomoción, garantice la eficaz realización de su tarea (ejemplo de un robot AGV, véase figura 1).

Los vehículos AGV son guiados automáticamente, autopropulsados y capaces de seguir una trayectoria variable según un patrón flexible, es decir, fácilmente modificable.

El primer sistema AGV fue construido e introducido en 1953. Era una modificación de un tractor de remolque que fue usado para tirar de una carga y seguir un alambre localizado por la parte de arriba.

La tecnología ha alcanzado niveles sorprendentes, tanto que tareas determinadas no serían fáciles sin su intervención. Actualmente los gerentes o empresarios basan su sistema de producción bajo el concepto de productividad, calidad y bajos costos. En este último concepto la automatización tiene su campo de acción dentro del sistema productivo. Para muchas empresas invertir en sistemas automáticos de producción es importante para bajar los costos de producción. En México en los últimos años se ha introducido cada vez más la automatización, las empresas emplean en mayor medida los servicios de ingenieros que proyecten sistemas automáticos.

La planta de Daimler Chrysler de México SA de CV ubicada en Toluca, estado de México, dentro del área para carrocerías de ensamble del PT CRUISIER, en la línea de armado de la puerta delantera y trasera del costado derecho, necesita de

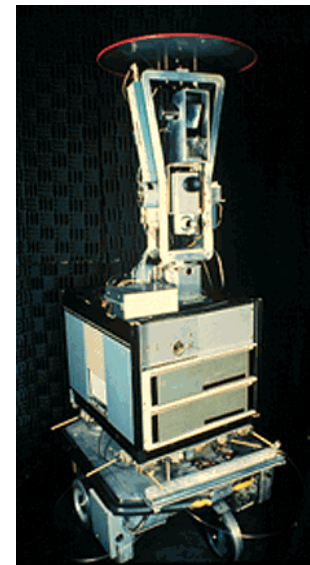


Fig. 1. Shakey primer AGV controlado por inteligencia artificial.

un montacargas y un despachador de materiales solo para estas dos puertas se tiene un total de 12 piezas de preensamble, localizadas en tres estaciones de montaje. Cuatro piezas diferentes por cada estación. Si la planta en su más alto pico de producción ensambla 90 autos por hora, cada 60 segundos fabrica 1.5 autos, por cada estación se tiene por hora un total de 360 autos.

Actualmente la entrega de material dentro del sistema *just in time* de la planta funciona al rededor del 85% de su capacidad efectiva con un costo de \$850.00 por persona y se tiene un promedio de dos paros mensuales de línea de aproximadamente de dos o tres minutos cada uno; esto da como resultado un costo por trabajador de \$1,800.00 teniéndose gastos de mantenimiento de los montacargas con un valor de \$5,000.00 y pérdidas de inventario de \$800.00 por persona, mensualmente.

En el presente trabajo se propone la implementación de un vehículo guiado para el transporte de materiales, con el cual se podría incrementar la efectividad del sistema *just in time*, para bajar los costos por pérdidas de materiales, paros de línea, así como un mejor control de inventario y reducción de costos por mantenimiento de montacargas.

Se pretende implementarlo solo en la línea de armado de puerta delantera y trasera del costado derecho.

2. Desarrollo

Existen características implicadas y otros conceptos no comunes en el diseño del robot que se propone, por lo cual se dará una breve explicación de cada término.

El robot industrial o de servicio representa una evolución de equipos automatizados combinando la flexibilidad en el movimiento y la acción humana. Los robots pueden especializarse con diferentes herramientas, además el número de grados de libertad los distingue. El movimiento característico de los robots depende en mayor parte del diseño mecánico, los cuales pueden ser de cinco diferentes configuraciones.

Velocidad máxima: es el movimiento del brazo cuando se encuentra con la carga máxima generalmente dada en pulgadas o milímetros por segundo. Contando con dos componentes aceleración y desaceleración.

Ciclo: es el tiempo que le lleva al robot en realizar un movimiento determinado ya se para levantar cargar o realizar algún movimiento.

Repetibilidad: es la habilidad del robot para reposicionarse en un punto el cual fue previamente comandado y se afecta por la resolución y error de componentes mecánicos u electrónicos.

Complianza: es una cualidad que da al manipulador o el robot la habilidades tolerar desalineación de partes cruzadas.

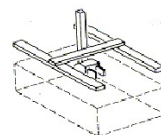
Volumen de trabajo: se refiere al espacio dentro del cual puede desplazarse el extremo de su muñeca (véase figura 2).

Resolución espacial: es el control de resolución combinado con la inexactitud mecánica. El rango de cada articulación del manipulador es dividido por el número de incrementos de control. La resolución espacial de un robot es el menor incremento de movimientos dentro del cual el robot puede dividir su volumen de trabajo.

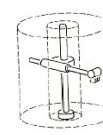
Exactitud: es la diferencia en donde sus puntos de control se dirigen después de haberlos programado, es la habilidad del robot para posicionar su muñeca a un punto deseado dentro del volumen de trabajo (véase figura 3).

Volumen de Trabajo

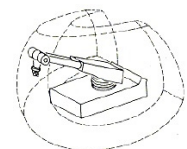
- Es el volumen para el desempeño de su tarea
- Definido en el espacio euclidiano
- Se construye trazando los límites de cada elemento (eslabón) y cada articulación



Cartesiano
PPP



Cilíndrica
RPP



Esférica
RRP

384

Fig. 2. Volumen de trabajo de un robot.

Es importante conocer la localización y orientación del efector final del robot, una vez que las articulaciones han realizado algún giro determinado dentro del espacio tridimensional. Sabiendo de un punto $X_1 Y_1 Z_1$ a qué punto $X_2 Y_2 Z_2$ se moverá el efector final y qué ángulo deben tomar las articulaciones para alcanzar dichos puntos. Esto se conoce como problemas de cinemática ya que trata los aspectos geométricos del movimiento. Una vez conocido esto, también hay que analizar las fuerzas que provocan dicho movimiento.

Cabe mencionar que en este trabajo se muestra la fase para el diseño mecánico y no se muestra el cálculo para el diseño de control de movimiento ni el cálculo cinemático.

2.1. Cálculo mecánico

Los modelos AGV están disponibles en una variedad de tipos de vehículos de acuerdo a las necesidades del cliente para transportar el producto a lo largo de una fábrica, se personalizan para aplicaciones específicas. El transportador convencional se diseña para mover pallets de carga o recipientes con una base de entrada. Estos AGV utilizan elevadores hidráulicos o usillos para bajar o levantar contenedores.

Los principios que hacen que un AGV pueda navegar son simples. Todos los métodos de navegación usan un camino, el vehículo puede seguir un camino fijo o tomar un camino abierto.

La navegación del camino fijo tiene rasgos generales:

1. Los caminos son marcados en el suelo.
2. Los caminos son continuos.
3. Los caminos son fijos pero pueden cambiarse.

La navegación del camino fijo:

1. Cinta magnética estrecha en el suelo.
2. Tira del químico sensible en el suelo.
3. Cinta reflexiva en la superficie del suelo.
4. Alambre debajo de la superficie del suelo.

Los primeros tres métodos requieren de un sensor en la parte inferior del vehículo que siga la superficie guía en el camino. Para el cuarto método consiste en alambre magnético.

Con el flujo de corriente se genera un campo magnético que rodea el alambre que se encuentra dentro del suelo (véase figura 4).

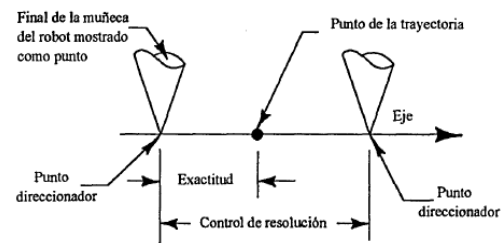


Fig. 3. Exactitud y resolución de control.

El vehículo estará provisto de una batería electrolítica. Bajo las condiciones de trabajo en la fábrica deberá contar con los siguientes puntos de cuidado:

1. Equipar al vehículo con una tapa bien ajustada para minimizar las pérdidas de calor.
2. Pintar la tapa de la batería con un material aislante adecuado tal como poliestireno
3. Utilizar un cargador de carga rápida para asegurar una carga completa.
4. Cuando el vehículo se encuentre en zonas frías de trabajo tenga poco tiempo en paro dentro de esta.

Para el análisis cinemático se tomó la velocidad media a la cual se desplaza una persona dentro de la planta y se determinó de la manera siguiente.

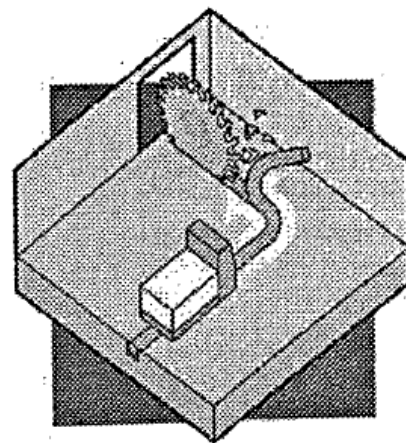


Fig. 4. Volumen de trabajo de un robot.

Analizando el caminar de una persona joven de 30 años de edad con una altura promedio en nuestro país de 1.78 para un varón, dicha persona se trasladó una distancia 6 metros en 5 segundos.

Para calcular la velocidad adecuada dentro de un área de trabajo se realizó la comparación de la velocidad de la persona con la velocidad requerida del vehículo.

De acuerdo a esto, sabemos que recorrió 6 metros en 5 segundos por lo cual su velocidad media es $6/5 = 1.2$ m/s, esta es la velocidad propuesta que el vehículo deberá mantener constante dentro de una recta de un punto a otro.

Tomando en cuenta que esta velocidad media es la velocidad tangencial que deben tener las llantas se tiene:

1. $1.2 \text{ m/s} = r \omega$ donde r es el radio propuesta de las llantas del vehículo, de 0.076 m , entonces la velocidad angular de la llanta será:

$$\omega = 15.789 \text{ rad/s} = 150.77 \text{ RPM}$$

La aceleración lineal del vehículo al arranque y paro, será dada de acuerdo a la velocidad final $V_f = 1.2 \text{ m/s}$; la velocidad inicial $V_0 = 0 \text{ m/s}$, si en 3 segundos deberá arrancar, mantener una velocidad constante y al último frenar, este tiempo estará dividido en 4 partes, $3/4 = 0.75$ donde $2/3$ corresponden al desplazamiento a velocidad constante.

La llanta que se propone es de un compuesto de hule de alta resistencia a la abrasión y amortiguamiento moderado para ayudar a la disminución de vibraciones con un rin de alumi-

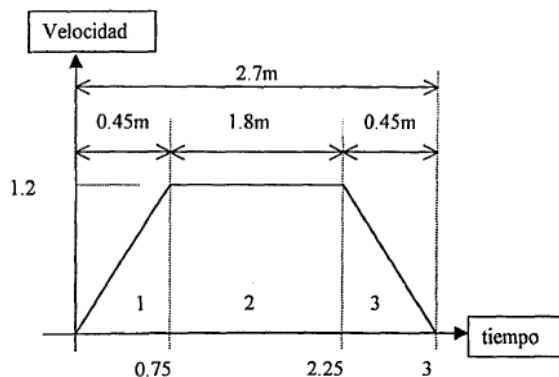


Fig. 5. Rangos de tiempo y velocidad lineal.

nio que proporciona la suficiente capacidad de carga y protección en ambientes de trabajo donde no debe haber emanaciones de óxido como en algunos metales además de poder trabajar en ambientes corrosivos y pisos húmedos. Se seleccionó una llanta comercial Joyma, mod. 1102 tipo 6 TP diámetro exterior de 152mm, diámetro interior de 51 mm ancho de cara 17 mm, peso 1.2 kg, capacidad de carga de 210 kg. Como se muestra en la figura 5:

$$P = (W a) / r, \text{ donde } W \text{ peso en lb}$$

$$A = 0.1016, \text{ constante de resistencia a la rodadura,}$$

$$R = \text{radio de la llanta}$$

Donde se propuso un peso total de 800 kgf. A cada llanta le toca un peso de $200 \text{ kgf} = 441.91 \text{ lbf}$,

$$P = (440.91)(0.1016 / 7.6) = 5.89 \text{ lb}$$

El momento requerido para mover la llanta donde el radio es 3.543 in.

$$M = 5.89 \text{ lb} (3.543 \text{ in}) = 21.25 \text{ lbin} = (63025 \text{ Hpt})/\text{RPM}$$

Se requiere que el vehículo tenga una velocidad constante de 1.2 m/s similar a la velocidad media de una persona caminando moderadamente lo cual equivale a $13.33 \text{ rad/s} = 127.3 \text{ RPM}$. Despejando los Hpt $= (21.25 \text{ lbin})(127.3 \text{ RPM}) / 63025 = 0.04293$ para cada llanta y $0.17175 \text{ Hpt} = 128.12 \text{ W}$ para las cuatro de la potencia requerida.

Se propone un motor comercial S.B.C. mod MB-70 a 180 V y una velocidad de salida de 1500 RPM a 155 W (0.20777 HP). La velocidad se regula modificando la tensión del inducido. El par máximo de acuerdo con la marca IEC 34.1 los motores pueden sobrecargarse con el 160% del par nominal durante 15 segundos cada 5 minutos.

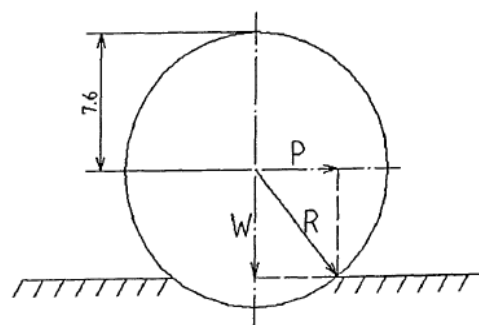


Fig. 6. Fuerzas implicadas en la rueda.

Tabla 1. Diseño de primer par de engranes.

DISEÑO DEL PRIMER PAR DE ENGRANES PARA TRACCIÓN A-B.			
DESCRIPCION	FORMULA	CANTIDAD	
Caballos de Potencia (HP) ...HP		0.20777	
Revoluciones Por Minuto (R.P.M.) ...R.P.M.		1500	Revolución Real de Salida ...R.P.M.
			375
Relación de Velocidad (R.V.)	$R.V. = (R.P.M.-Ent.) / (R.P.M.-SAL.)$	4	Valor Real de R.V. = Nde/Ndp
			4
Distancia Entre Centros (c) ...in		3	Valor Real de c = $(\phi_{pp}/2) + (\phi_{pe}/2)$
			3
Paso Diametral (Pd) ...in		20	
No. Total de Dientes (Nt)	$Nt = 2 \cdot c \cdot Pd$	120	
No. Dientes del Piñón (Ndp)	$Ndp = Nt / (R.V. + 1)$	24	Se Propone un Ndp de:
			24
No. Dientes del Engrane (Nde)	$Nde = Nt - Ndp$	96	
Diámetro de Paso del Piñón (ϕ_{pp}) ...in	$\phi_{pp} = Ndp / Pd$	1.2	
Diámetro de Paso del Engrane (ϕ_{pe}) ...in	$\phi_{pe} = Nde / Pd$	4.8	
Factor de Forma del Piñón (Yp)	Yp	0.337	
Factor de Forma del Engrane (Ye)	Ye	0.444	

Tabla 2. Análisis sobre la base del elemento más débil.

MATERIAL:	Aleación de Aluminio Forjado	DENSIDAD DEL MATERIAL_Kg/m³	
Resistencia a la Cadencia (Sut)...lb/(in²)		8000	2700
Esfuerzo de Trabajo (So)...lb/(in²)	So=Sut/(0.50)	4000	
Velocidad Tangencial (Vt)...Ft/min	Vt= (p * φpp * R.P.M)/12	471.23890	
Fuerza Tangencial (Ft)...lb	Ft = (33000/1.7) * Vt	14.54975	
Fuerza Dinámica (Fd)...lb	Fd = ((1200 * Vt)/1200) Ft	20.26343	
Paso Circular (Pc)...in	Pc = p / Pd	0.15708	
Radio en la Raíz del Diente (r)...in	r = Pc/20	0.00785	
Dedendum (d)...in	d = 1.157 / Pd	0.05785	
Diámetro de Fondo (φf)...in	φf = φpp-2d	1.08430	
Longitud Recta en Diente (l)...in	l = (φpp/2) - (φf/2)+r	0.05000	
Ancho de Diente (t)...in	t = φpp(sin(90/Ndp))	0.07848	
Diámetro Exterior del Piñón (φep)...in	φep = φpp+(2* Pcd / p)	1.3000	PESO DEL PIÑÓN...lb
Diámetro Exterior del Engrane (φee)...in	φee = φpe+(2* Pcd / p)	4.9000	0.056261179
Factor de Concentración de Esfuerzos (Kf)	Kf=(0.18+(l/t)³)/(l/t) * 0.45	1.9101	PESO DEL ENGRANE...lb
Ancho de Cara (b)...in	b= (F*d*Kf*Pd)/(So*Yp)	0.57428	0.827722436
Intervalo Permitido Para el Ancho de cara	Valor Mínimo (8.5/Pd)...in<	Valor de b	<Valor Máximo (12.5/Pd)...in
	0.4250	0.57428	0.6250
Análisis de Seguridad al Desgaste (Fb)...in	Fd<(Fb*(So*b*Yp)/Pd)	38.71	>Fd
Se Propone una Ancho de Cara de ...in	b=	0.45	
Por lo tanto Fb será ... lb	Fb=	30.33	
	30.33	>	20.26343

Tabla 3. Cálculo para el segundo par de engranes.

Engranes C y D.

DISEÑO DEL SEGUNDO PAR DE ENGRANES PARA TRACCIÓN C-D			
DESCRIPCION	FORMULA	CANTIDAD	
Caballos de Potencia (HP) ...HP		0.20777	
Revoluciones Por Minuto (R.P.M.) ...R.P.M.		375	Revolución Real de Salida ...R.P.M.
			134.4340
Relación de Velocidad (R.V.)	$R.V. = (R.P.M.-Ent.) / (R.P.M.-SAL.)$	2.94	Valor Real de R.V. = Nde/Ndp
			2.7895
Distancia Entre Centros (c) ...in		3	Valor Real de c = $(\phi_{pp}/2) + (\phi_{pe}/2)$
			3
Paso Diametral (Pd) ...in		12	
No. Total de Dientes (Nt)	$Nt = 2 \cdot c \cdot Pd$	72	
No. Dientes del Piñón (Ndp)	$Ndp = Nt / (R.V. + 1)$	18.2741	Se Propone un Ndp de:
		1188	19
No. Dientes del Engrane (Nde)	$Nde = Nt - Ndp$	53	
Diámetro de Paso del Piñón (ϕ_{pp}) ...in	$\phi_{pp} = Ndp / Pd$	1.58333	
Diámetro de Paso del Engrane (ϕ_{pe}) ...in	$\phi_{pe} = Nde / Pd$	4.41667	
Factor de Forma del piñón (Yp)	Yp	0.314	
Factor de Forma del Engrane (Ye)	Ye	0.412	

Tabla 4. Análisis sobre la base del elemento más débil.

MATERIAL:	Aleación de Aluminio Forjado	DENSIDAD DEL MATERIAL...Kg/m ³	
Resistencia a la Cadencia (Sut)...lb/(in ²)		8000	2700
Esfuerzo de Trabajo (So)...lb/in ²	So=Sut(0.50)		4000
Velocidad Tangencial (Vt)...Ft/min	Vt= (p * φpp * R.P.M)/12	155.44339	
Fuerza Tangencial (Ft)...lb	Ft = (33000*HP)/Vt	44.10873	
Fuerza Dinámica (Fd)...lb	Fd= ((1200* Vt)/1200)Ft	49.82240	
Paso Circular (Pc)...in	Pc = p /Pd	0.26180	
Radio en la Raíz del Diente (r)...in	r = Pc/20	0.01309	
Dedendum (d)...in	d = 1.157 / Pd	0.09642	
Diámetro de Fondo (φf)...in	φf = φpp-2d	1.39050	
Longitud Recta en Diente (l)...in	l = (φpp/2) - (φf/2) + r	0.08333	
Ancho de Diente (t)...in	t = φppsen(90/Ndp)	0.13593	
Diámetro Exterior del Piñón (φep)...in	φep = φpp+(2' (Pd / p))	1.7500	PESO DEL PIÑON...lb
Diámetro Exterior del Engrane (φee)...in	φee = φpp+(2' (Pd / p))	4.5833	0.175961402
Factor de Concentración de Esfuerzos (Kf)	Kf= (0.18+((l/t)^3)/(l/t))*0.45	1.9505	PESO DEL ENGRANE...lb
Ancho de Cara (b)...in	b= (F*d*Kf*Pd)/(So*Yx)	0.92846	1.206991478
Intervalo Permitido Para el Ancho de cara	Valor Mínimo (8.5Pd) ...in<	Valor de b	<Valor Máximo (12.5Pd)...in
	0.7083	0.92846	1.0417
Análisis de Seguridad al Desgaste (Fb) ...in	Fd<(Fb*(So*b*Yy)/Pd)	97.18	>Fd
Se propone una Ancho de cara de ...in	b=	0.75	
Por lo tanto Fb será...lb	Fb=	78.5000	
	78.50000	>	49.82240

En la figura 8 se muestra esquemáticamente la flecha del sistema de tracción.

La fuerza tangencial en los engranes A-B es 14.549 Lb. En C-D es de 0.873 Lb.

En la figura 9 se muestra el análisis de fuerzas de forma horizontal.

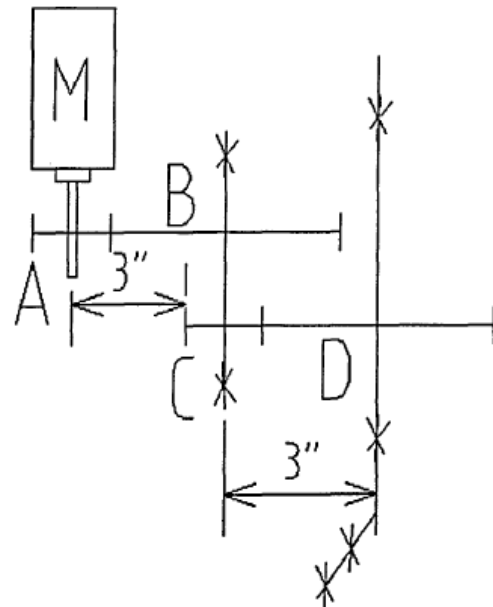


Fig. 7. Tren de engranes para tracción.

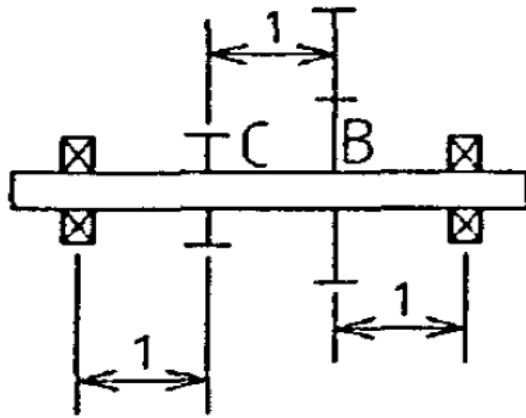


Fig. 8. Fuerzas implicadas en la rueda.

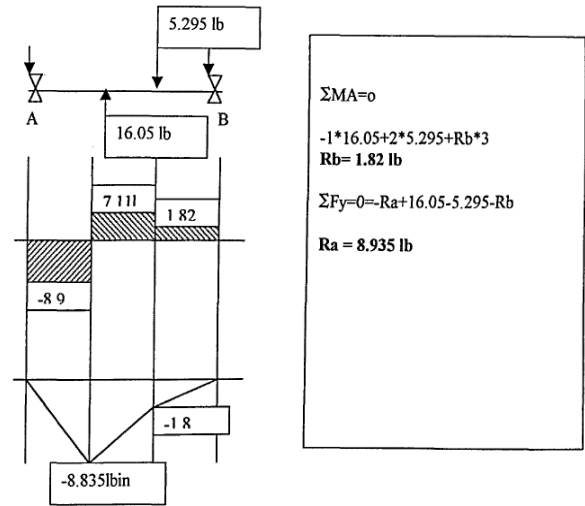


Fig. 10. Análisis de fuerzas en el eje y.

En la figura 10 se muestra el análisis de fuerzas en el eje y.

En los diagramas de las figura 9 y 10 se observa el valor del esfuerzo flexionante máximo y su localización en ambos planos, para obtener el valor resultante de dicho esfuerzo, debido a su proyección vertical y horizontal, se encuentra:

Momento flexionante máximo: $[(Mf_y)^2 + (Mf_x)^2]^{1/2}$

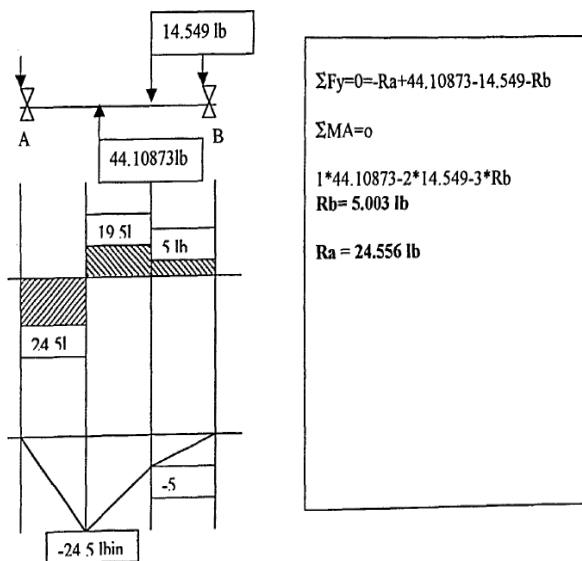


Fig. 9. Análisis de fuerzas en el eje x.

$$[(24.556 \text{ lbin})^2 + (8.935 \text{ lbin})^2]^{1/2} = 26.13 \text{ lbin}$$

Momento torcionante máximo que soporta la flecha:

$$M_t = (63025 \cdot 0.20777) / 375 \text{ lbin} = 34.9192 \text{ lb}$$

El material que se propone para la flecha es un SAE 1018. Con la fórmula se calcula el diámetro mínimo de la flecha:

$$d = \sqrt[3]{\left[\frac{16}{\pi(8000)} \right] \sqrt{(34.9192(1))^2 + (26.13(1.5))^2}}$$

$$d = 0.3221 \text{ in}$$

La deformación angular debido al momento otcinante, se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\theta = \frac{584ML}{Gd^4} = (584)(34.9192) \text{ lb-in}(2) \text{ in} / [12 \times 10^6 \text{ lb/in}^2 (0.3221 \text{ in})^4]$$

$$\theta = 0.3157^\circ$$

Con respecto al diseño del tornillo de potencia, se muestra en la figura 11 el esquema de dicho tornillo.

Área de esfuerzos de tornillo de bolas:

$$\frac{\pi}{4} \left[\frac{dp + dr}{2} \right]^2$$

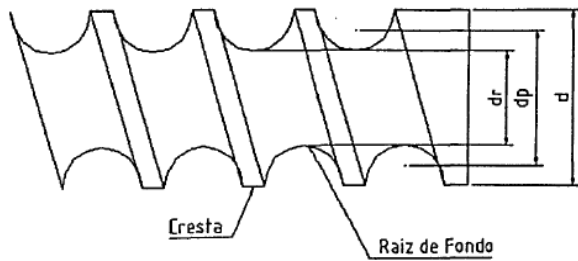


Fig. 11. Esquema del tornillo de sistema de tracción.

Donde d_p es el diámetro de paso, d_r es el diámetro menor. Para que el diseño del tornillo quedara en movimiento es necesario tener un parámetro como el esfuerzo de trabajo a la compresión, el cual se calcula:

$$\sigma = \frac{\text{fuerza axial}}{At}$$

Tu es el par de torsión para elevar la carga p

$$Tu = Tsu + Tc = \frac{pd_p(\mu\pi d_p + L)}{2(\pi d_p - \mu L)} + \pi_c p \frac{d_c}{2}$$

Donde d_c es el diámetro medio del collarín. Se logra una reducción significativa en la fricción de las roscas mediante tornillos de bolas, que utilizan en la tuerca un tren de cojinetes de esferas. La baja fricción de los tornillos de bolas hacen que puedan ser impulsados en ambos sentidos. Por lo cual no existe autobloqueo.

Se propone un tornillo comercial de rosca basta UNC con las siguientes características.

$D = 2.5$ in

$N = 4$ hilos por pulgada

$d_r = 2.1752$ in

Paso = 0.25 in

$dp = d - 0.649519/N$

Carga, $p = 168$ lb

Cabe de nuevo aclarar que el preente trabajo muestra solo el sistema de tracción del vehículo propuesto los sistemas de control y procesamiento de datos se podran mostrar en trabajos futuros.

3. Conclusiones

Se puede concluir que la implementación del vehículo guiado que se propone es una inversión que se pretende recuperar en un lapso de un año si, y solo si, los operarios actuales se reubicar en otra actividad dentro de la planta de producción. Con este vehículo se incrementa la efectividad del sistema *just in time*, ya que el vehículo tendría tareas programadas sin descensos ni paros de línea por falta de material y mejoramiento del control del inventario.

Es posible capacitar al personal en la logística de entrega de materiales con el vehículo guiado, conservando su actividad original.

Referencias

- [1] NOF, Simon Y. *Handbook of Industrial Robotics*. United States of America, John Wiley, Inc. 1999., 2a ed., pp.964-967.
- [2] Schneider, W. *Manual práctico de dibujo técnico*. Barcelona Reverte, 2a ed.
- [3] French., T. E. *Diseño e ingeniería*. México: Mc Graw Hill. 1990, 3a ed.
- [4] CEAC, Formulario de elementos de máquinas. España CEAC S.A. 1977. 2a. ed.
- [5] Deutschman, Aarón D. *Diseño de máquinas teoría y práctica*. México: CECSA. 1998. 8a ed.
- [6] Norton. Robert L. *Diseño de máquinas*. México Prentice may Hispanoamericana, 1999.
- [7] Singer, Ferdinand, L. *Resistencia de materiales*. México, Oxford. 4a ed.
- [8] McCloy, D. *Robótica, una introducción*, México Limusa.1993.
- [9] Keramas, James G. *Robot Technology Fundamentals*, United States of America, Delmar Publishers, 1999.
- [10] Ollero, Baturone A., *Robótica, manipuladores y robots móviles*. Alfa Omega: Marcombo, 2001. pp. 64-114.