

**DESIGN AND SIMULATION OF A PROTOTYPE OF MACHINE FOR  
SIGNALING OF WAYS, AUTOMATED THROUGH A MECHANICAL SYSTEM****DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PARA LA  
SEÑALIZACIÓN DE VÍAS, AUTOMATIZADA MEDIANTE UN SISTEMA  
MECÁNICO**

**MSc. Edwin Edgardo Espinel Blanco, MSc. Juan Carlos Hernández Criado  
Ing. Armando Quintero**

**Universidad Francisco de Paula Santander - Sede Ocaña.**  
Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación GITYD.  
Tel.: (+57-7) 569 0088 Ext. 146 Fax: Ext, 104.  
E-mail: {eespinelb, jchernandezc, aquinteroa}@ufpso.edu.co.

**Abstract:** This paper describes the design and simulation of a prototype machine for tracing continuous and alternate lines for the demarcation of paved roads. For operation of the equipment is considered painting as a non-Newtonian fluid (NNF) dependent of time and AIRLESS equipment is selected for the application of paint, which is performed automatically controlled by a mechanical system consisting of straight teeth gear and a cam follower mechanism, which are sized and determined according to the principles of calculation of mechanical elements. It is designed, analyzed and calculated each component to proceed to simulate its operation using the program Computer Aided Design (CAD) Solidwoks.

**Keywords:** CAD, Road Demarcation, Design, Prototype, Simulation.

**Resumen:** El presente trabajo describe el diseño y simulación de un prototipo de máquina trazadora de líneas continuas y alternadas para la demarcación de vías asfaltadas. Para el funcionamiento del equipo se considera la pintura como un fluido no newtoniano (FNN) dependiente del tiempo y se selecciona un equipo AIRLESS para la aplicación de la pintura, la cual se realiza de forma automática controlada por un sistema mecánico conformado por engranes de dientes rectos y un mecanismo leva seguidor, los cuales se dimensionan y determinan según los principios del cálculo de elementos mecánicos. Se diseña, analiza y calcula cada componente para proceder a simular su funcionamiento en el programa de Diseño Asistido por Computador (CAD) Solidwoks.

**Palabras clave:** CAD, Demarcación vial, Diseño, Prototipo, Simulación.

## 1. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país en crecimiento vial, por diversas razones, tal vez la de mayor incidencia actualmente obedece a las exigencias internas del mercado, el cual transporta casi la totalidad de sus productos por tierra, lo que hace indispensable la constante adecuación y mejoramiento de las

carreteras. Esta situación viene de la mano con los tratados de libre comercio que obligan al país a tener sus corredores viales en perfecto estado y contar con nuevos trayectos para poder transportar las mercancías y sacar los productos hacia el exterior. El crecimiento y mejoramiento de la infraestructura vial exige la tecnificación de los procesos, necesaria para optimizar el uso de los

recursos, reducir los costos y mejorar la calidad de los trabajos. Para alcanzar el objetivo de construir nuevas vías y adecuar las existentes es necesario la aplicación de tecnología y la utilización de maquinaria especializada que posibilite llevar a cabo estas tareas.

La demarcación de las vías es, sin lugar a dudas un reto para los proyectos viales que se desarrollan actualmente en el país, dado el tiempo y costo que representa para la ejecución de la obra la realización de dicho trabajo, el cual es llevado a cabo por personal sin el equipo adecuado y de forma poco tecnificada, por lo que se presentan problemas en la calidad del trabajo, el cual debe realizarse de acuerdo a la norma técnica establecida para tal fin (NTC 1360, 2002) (NTC 4744, 2000).

La forma más acertada para señalar una vía es utilizar un equipo tecnológicamente diseñado para tal fin, el uso de estas máquinas se ve limitado por el costo de adquirirlas en el extranjero o alquilarlas a empresas especializadas dentro y fuera del país, en la actualidad muy pocos de estos equipos son usados en los proyectos en ejecución, por lo cual los trabajos se realizan ineficientemente y se presentan inconvenientes en la aceptación final de las obras. En este trabajo se consideraron los parámetros involucrados al momento de señalar o demarcar una vía asfaltada o de concreto en Colombia, para proceder a diseñar un prototipo de máquina que permita hacer este trabajo en forma tecnificada, eficiente en el consumo de recursos y cumpliendo con las exigencias de calidad establecidas para su ejecución. La simulación de un modelo o máquina es importante ya que permite estudiar las posibles fallas de diseño o problemas de operación antes de construir el prototipo (Bermudez y García, 2013), de esta forma la simulación en Solidwork permitió validar el diseño y la operación de la máquina trazadora de líneas continuas y alternadas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el diseño del prototipo se realizó inicialmente una investigación previa respecto a las exigencias de las normas técnicas para la señalización de vías en Colombia y las diferentes generalidades de las tecnologías existentes que se utilizan para la demarcación vial a nivel mundial.

### 2.1 Consideraciones Generales

La señalización horizontal se clasifica en marcas longitudinales, transversales, de bordillos, sardineles, y marcas de objetos. Algunas de las marcas longitudinales están conformadas por líneas continuas y segmentadas o alternadas, con una relación de longitudes entre segmento y espacio que varían normalmente en patrones de 8 y 12, lo que se traduce en líneas de 3m demarcados seguidas de 5 m sin demarcar para patrón de 8 y líneas de 4.5 m demarcados seguidas de 7.5 m sin demarcar para patrón de 12, lo cual se refleja en aplicaciones de líneas centrales y líneas de carril (figura 1) para vías urbanas y rurales.

El ancho normal de las franjas de tráfico es de 10 a 15cm, según el ministerio de transporte, manual de señalización vial colombiana (NTC 1360, 2002) (NTC 4744, 2000).

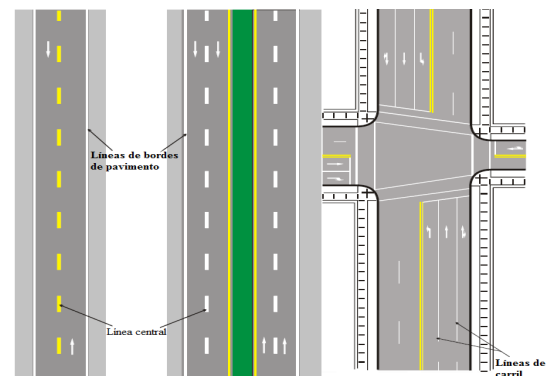


Fig. 1. Ejemplo de líneas centrales y de carril.

Las marcas deben ser aplicadas por métodos aceptables que efectúen el trabajo de manera eficiente, teniendo en cuenta diferentes aspectos para el control de calidad en el proceso de demarcación en obras de señalización horizontal, como son la cantidad de micro esferas de vidrio (0,7 kg/l de pintura), rendimiento de pintura para tráfico (De 9.84 m<sup>2</sup>/galón) y datos prácticos de tiempo respecto a los kilómetros estándar pintados por las máquinas demarcadoras de líneas viales.

El prototipo utilizara el método de pintado por pulverización con el principio básico de trasladar pintura desde un tanque de reserva a las cabezas rociadoras (pistolas) con el fin de atomizarla en una niebla fina y aplicarla sobre la superficie del objeto a recubrir (asfalto o concreto), para esto se selecciona del mercado un equipo AIRLESS (sin aire), el cual pulveriza la pintura a alta presión a través de una pequeña boquilla adecuada para este trabajo, atomizándola únicamente gracias a la presión hidráulica y sin añadir aire.

El fluido de trabajo es pintura con micro esferas de vidrio considerada como un fluido no newtoniano (FNN) dependiente del tiempo (Fluido tixotrópico) (Mataix, 2008) (Streeter, 1998).

El sistema de control de pulverización debe garantizar el trazo de líneas continuas y segmentadas (alternadas), mediante un sistema de control capaz de intercambiar fácilmente las opciones de demarcado.

## 2.2 Diseño y cálculo de los elementos mecánicos

La máquina se diseña utilizando el programa de CAD Solidwork (figura2), según los parámetros considerados para que funcione trazando líneas alternadas en un patrón de 8 según el manual de demarcación vial en Colombia (NTC 1360, 2002) (NTC 4744, 2000), es decir 3 metros marcados seguidos de 5 metros sin marcar.

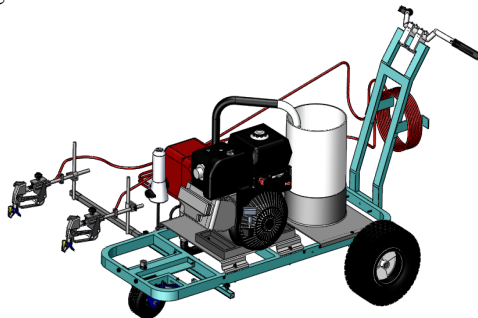


Fig. 2. Diseño del prototipo en CAD (Solidwork).

El prototipo está conformado por la estructura de soporte, el sistema motor (motor - acople- eje trasero) y el sistema de control y dosificación de la pintura (tanque de almacenamiento - bomba de pulverización - pistolas-sistema de control).

Se diseñó un sistema de control automático (mecánico) para que la maquina funcione pintando rayas de 3 metros segmentadas a 5 metros, mediante el mecanismo mostrado en la figura 3, el cual acciona automáticamente las pistolas para permitir o cerrar el paso del fluido.

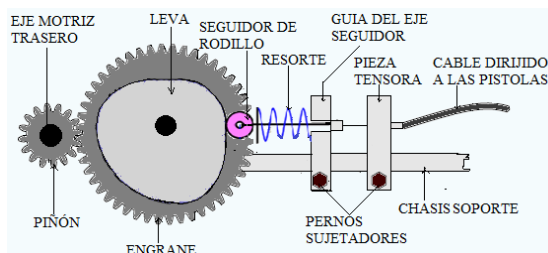


Fig. 3. Sistema de control automático (mecánico) para dosificar la pintura.

Este sistema mecánico está conformado por dos engranes de dientes rectos acoplados a una leva y seguidor que acciona la pinza tensora de las pistolas atomizadoras de la pintura. El análisis cinemático de los mecanismos tanto en el diseño del prototipo como durante la simulación de los elementos permite detectar posibles fallas y predecir el comportamiento del equipo (Torres, Archila y Tronco, 2013).

### 2.2.1 Cálculo de los engranes de dientes rectos

Según la norma de la *American Gear Manufacturers Association* (AGMA), para el diseño de engranes rectos se consideraron los parámetros para calcularlos (Shigley, 2002):

- $\phi = 20^\circ, 22.5^\circ$  y  $25^\circ$ . Ángulos de presión para profundidad total  $K = 1$ .
- Addendum:  $a = 1 / P_d = 1 * \text{modulo}$ .
- Dedendum:  $b = 1.25/P_d = 1.25 * m$  ó  $b = 1.35/P_d = 1.35 * m$
- El menor número de dientes en un piñón de dientes rectos, con relación de engranes uno a uno, que pueden existir sin interferencia, esta dado por:

$$N_p = \left( \frac{4k}{6 \sin^2 f} \right) \times \left( 1 + \sqrt{1 + 3 \sin^2 f} \right) \quad (1)$$

- Si el engrane acoplado tiene más dientes que el piñón, es decir,  $m_G = N_G/N_p$ , relación de engranes es mayor que 1, entonces el mínimo numero de dientes en el piñón sin interferencia está dada por:

$$N_p = \left( \frac{2k}{(1+2m) \sin^2 f} \right) \times \left( m + \sqrt{m^2 + (1+2m) \sin^2 2f} \right) \quad (2)$$

Este factor nos demuestra que los engranes giraran de manera adecuada sin que exista interferencia, cumpliendo la condición que el  $r_a$  (real) =  $r_a$  (calculado). Para el perfil del diente del par de engranes rectos se consideran los siguientes parámetros:

$$w_w \geq w_d ; w_b \geq w_d \quad (3)$$

$W_w$  = Carga de desgaste

$W_d$  = Carga dinámica

$W_b$  = Carga de flexión

$W_d$  = Carga dinámica  $w_w \geq w_d$

Se analiza la resistencia por desgaste,  $W_w = W_d$

$$k \times F \times D_{\text{piñon}} \times Q \geq K_v \times W_T \quad (4)$$

La Resistencia por flexión,  $W_b = W_d$

$$\left[ (S_y)_{P.G} \times \frac{F}{FS} \times K_f \right] \times m \geq K_v \times W_T \quad (5)$$

### 2.2.2 Cálculo de la leva con seguidor de rodillo

El mecanismo leva seguidor es el encargado de accionar las pistolas dosificadoras de la pintura, se utiliza un seguidor de rodillo como se muestra en la figura 4. Como parámetro se considera el tamaño del círculo primario dado que su influye durante el diseño y sobre el tamaño final de la leva (Mabie y Reinholts, 2006).

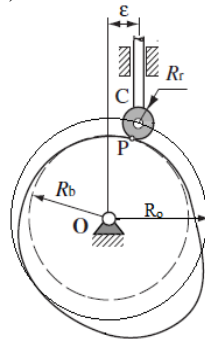


Fig. 4. Nomenclatura de la leva con seguidor de rodillo.

El perfil de la leva se diseñó y calculó con el método grafico descrito en el cálculo de elementos mecánicos y su funcionamiento se simuló con el programa de CAD Solidwork.

### 2.2.3 Cálculo estructural del chasis y eje de la máquina.

Se analizaron todas las cargas a las que está sometido el chasis, el cual soporta todos los elementos como la tolva, bomba AIRLESS con motor de combustible, pistolas pulverizadoras, recipiente de microesferas, sistema de dosificación y el propio peso de la máquina. Se realizó análisis estático de cargas y de resistencia mecánica para seleccionar el material de la estructura y definir las dimensiones adecuadas para el funcionamiento de la máquina.

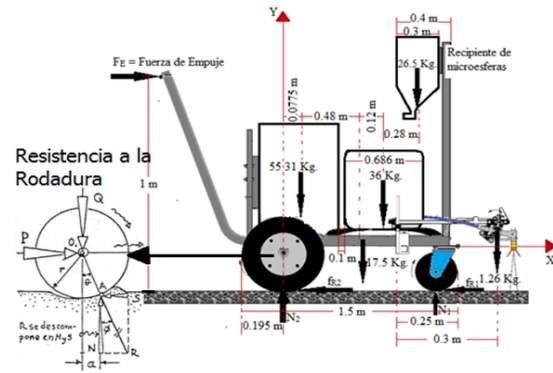


Fig. 5. Cargas sobre la máquina y resistencia a la rodadura.

De la misma forma se analizó la resistencia a la rodadura (figura5), considerando la deformación que presenta las ruedas, que ocasiona una dificultad mecánica para la rotación de las mismas sobre las superficies. Aunque está acompañada por tendencia de la fricción, su origen real es por deformación, está deformación tiene un parámetro dimensional "a" de cuyo valor depende la resistencia a la rodadura.

El eje motriz trasero se analizó estáticamente con el fin de determinar el diámetro adecuado para un material específico.

Aplicando la teoría de energía de distorsión.

$$D_{\min} = \left[ \left( \frac{32FS}{pSy} \right) \times \left( M_{\text{Max}}^2 + \frac{3}{4T^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

Teoría del esfuerzo cortante máximo.

$$D_{\min} = \left[ \left( \frac{32FS}{pSy} \right) \times \left( M_{\text{Max}}^2 + T^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

Y teoría de la energía de esfuerzos máximos.

$$D_{\min} = \left[ \left( \frac{16FS}{pSy} \right) \times \left( 4M_{\text{Max}}^2 + 3T^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

De la misma forma se determinó el límite de resistencia a la fluencia y número de ciclos del eje trasero analizando fatiga de la siguiente forma.

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f K_q S'_e$$

Donde:

- $S_e$  Limite de resistencia a la fatiga modificada, en la ubicación crítica de una parte de máquina de geometría y condición de uso.
- $S'_e$  Limite de resistencia a la fluencia o fatiga en flexión rotativa.
- $K_a$  Factor de superficie.
- $K_b$  Factor de tamaño.
- $K_c$  factor de confiabilidad.
- $K_d$  Factor de temperatura.
- $K_e$  Factor de concentración de tensiones.
- $K_f$  Factor de efectos varios.
- $K_q$  Factor de carga.

Cálculo del número de ciclos (N).

$$N = (S_{Max}/a)^{1/b} \tag{9}$$

Donde,

$$S_{M\acute{a}x.} = M_{M\acute{a}x.} Y / I$$

$$a = (0.9S_{ut})^2 / S_e$$

$$b = -1/3 \log (0.9S_{ut} / S_e)$$

Para el eje, engrane y leva se tendrá en cuenta su comportamiento en los diferentes planos, para determinar el diámetro mínimo requerido por teoría de la energía y de esfuerzos máximos (Shigley, 2002) (Norton, 2005).

### 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El diseño y la simulación en Solidwork permitieron validar los cálculos de los elementos mecánicos, en la figura 6, se observa la imagen del prototipo con su respectivo sistema de control automático para dosificar la aplicación de la pintura sobre la vía.

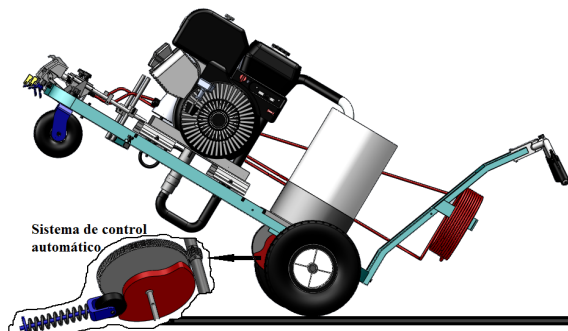


Fig. 6. Prototipo de máquina trazadora de líneas viales.

Para el sistema hidráulico del equipo AIRLESS, se obtuvieron los datos mostrados en las tablas 1 y 2.

Tabla 1: Datos para el Sistema de Presión

PARÁMETROS	FORMULAS	DATOS
Según la norma, el rendimiento para franjas de 15 cm, es:	1 gal. 65.6 m $Q_d$ 1 m	0.0577 lt/m = 57.7 lt/km
Trab. 8 horas se pinta una distancia aproximada de 15 Kilómetros.	$V = X / t$	0.521 m/s = 31.26 m/min
Caudal mínimo que debe manejar el equipo	$Q = Q_d * V * \#$ de pistolas	3.61 lt/min = $6.02 \times 10^{-5}$ m <sup>3</sup> / seg. ≈ 1 GPM
Velocidad de Descarga: - Con $Q = 3.61$ lt/min y $D = 1/2$ pulg. - Con $Q = 3.61$ lt/min y $D = 3/8$ pulg.	$V_d = Q / A$ $A_d = \pi/4 * (D)^2$	$V_{d1} = 0.47514$ m/s $V_{d2} = 0.845$ m/s
Diámetro de tubería: - Con $Q_1 = Q_2 = Q / 2 = 1.805$ lt/min = $3.01 \times 10^{-5}$ m <sup>3</sup> /seg	$A = \pi/4 * (D)^2 = Q_1 / V_{d1,2}$	$D_1 = 8.98 \text{Exp}-3$ m ≈ 3/8 pulg. $D_2 = 6.7346 \text{Exp}-3$ m ≈ 1/4 pulg.
Velocidad del flujo en la aspiración, con $D_{tubo\ aso.} = 3/8$ pulg	$M_1 = M_2$ $\rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2$	$V_{asp} = 0.2112$ m/s

Tabla 2: Datos para el Sistema de Presión

PARÁMETROS	FORMULAS	DATOS
Coefficientes de fricción y pérdidas mayores o por fricción	$f_{1,2} = 16/R_{eG 1,2}$ Flujo Laminar $h_{1,2} = 4f L V^2 / 2g D$	$f_1 = 0.04893$ -- $h_1 = 4.4909$ m $f_2 = 0.0762$ -- $h_2 = 0.0546$ m
Pérdidas menores o por accesorios, en sist. Asp. y desc.	$h_{3,4} = f L_{eq} V^2 / 2g D$ $L_{eq} = L + L^* D^* \#$ accesorios	$L_{eq3} = 1.6429$ m -- $h_3 = 0.0149$ m $L_{eq4} = 8.8040$ m -- $h_4 = 1.25$ m
Pérdidas generadas por la entrada, filtros y las pistolas pulverizadoras	$h_5 = K V^2 / 2g$ $h_6 = 3 \text{ft} * \#$ De filtros $h_{7p} = 40\% h_{sat.}$	$h_5 = 1.7733 \times 10^{-3}$ m $h_6 = 3.656$ m $h_{7p} = 7.5175$ m
Pérdidas totales en el sistema	$h_T = \sum h_{pérd.}$	$h_T = 16.986$ m
Altura dinámica de la bomba	$H_b = h_T + P_d/\rho g + V_d/\rho g + \Delta Z$	1624.696 N m / N
potencia de la bomba	$HP_{teórica} = H_b * \rho * g * Q$ (Watt) $HP_{Real} = HP_{teórica} / \text{EFF}$ $HP = HP_{Real} * \text{FS}$	$HP_{teórica} = 1.972$ hp ≈ 2 hp $HP_{Real} \approx 2.5$ hp $HP \approx 3.5$ hp
Torque requerido, n= 1725 rpm	$T = HP * 5250 / n$	10.652 ft-Lbs
Presión de trabajo o presión de descarga (recomendada)	-----	$23 \times 10^6$ Pa = 230 Bar = 3336 PSI

Del cálculo de los engranajes de dientes rectos se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 3: Resultados del Cálculo de los Engranes

PARÁMETROS	FORMULAS	DATOS
Relación de transmisión	$P_R = n D_R$ - $T_T = T_p + T_{dp}$ $r_T = r_{conducida} / r_{motriz} = T_T / P_R$	$P_R = 1.2252$ m $T_T = 8$ m $r_T = 6.53$
Numero de dientes del piñón-engranaje	$N_p = [2k / (1+2r_T) \text{sen}^2 \alpha] \cdot [r_T + (r_T^2 + (1+2r_T) \text{sen}^2 \alpha)^{1/2}]$ $m_c = N_p / N_g$	$N_p = 22$ Dientes $N_g = 143$ Dientes
Dimensiones del conjunto de engranes (piñón-engranaje)	$t_p = P_d/2$ - $3P_c \leq F \leq 5P_c$ $D_p = m^* N_p$ - $r_c = m(N_p+2)/2$ $r_b = r_p \cos \phi$ - $r_c = r_p - 1.25m$ (Unidades mm)	$t_p = 2.3562$ $F = 19$ $D_p = 33$ $r_{cp} = 18$ $r_{bp} = 14.95$ $r_{cp} = 14.625$ $D_g = 214.5$ $r_{cg} = 108.75$ $r_{bg} = 105.70$ $r_{cg} = 105.375$
Verificación de interferencia	$r_r(\text{real}) \leq r_r(\text{calculado})$ $r_r(\text{calculado}) = (r_b)^{1/2} + C' \text{Sen}^2$ $r_r(\text{real}) = r + a$	Piñón: 18 mm ≤ 54.395 mm Engranaje: 108.75mm ≤ 110.38mm
Diseño del perfil del diente del per de engranes	$-W_w \geq W_d$ - $-W_b \geq W_d$ $-W_w = K^2 F^2 D_{volón}^3 Q$ $-W_b = K^2 W_c$ $-W_c = [(S_y)_{\text{máx}} F / (E S^* K)]^2 m$ $-K = (S_e^2 \text{Sen} \alpha / 1.4) [1/E_p + 1/E_g]$	La resistencia por desgaste: <b>165.44 N = 165.44 N</b>  La Resistencia por flexión: <b>1572.25 N ≥ 165.44 N</b>

La leva se diseñó y calculó para un patrón de 8, 3 metros pintados y 5 sin pintar.

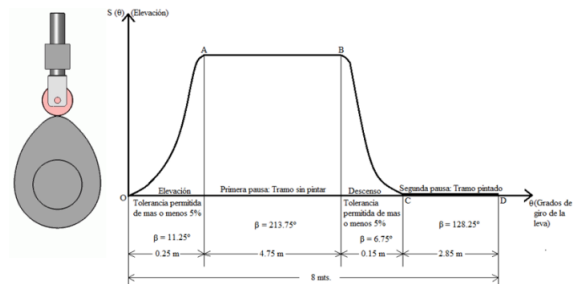


Fig. 7. Diseño del Perfil de la Leva. Fuente:

Del anterior análisis se obtuvieron para la leva los resultados mostrados en la tabla 4.

**Tabla 4: Resultados del Cálculo del mecanismo leva seguidor**

PARÁMETROS	FORMULAS	DATOS CONSID.
Radio de circulo primario (R <sub>c</sub> )	$R_c/L = 1.3$ $\beta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 / 2 = 115.87^\circ$	95 mm (9.5 cm) Para $\phi_{Máx.} \approx 25^\circ$
Radio del rodillo del seguidor; con movimiento Armónico modificado de subida y bajada completas	$R_r < \rho_{Prmín.}$ $\rho_{Prmín.} = [(H(\theta))^2 + (y')^2]^{3/2} / [(H(\theta))^2 + 2(y')^2 - y''(H(\theta))]$ $H(\theta) = R_c + y$	$\rho_{Prmín.} \approx 80$ mm $y' = 1.23$ mm/rad $y'' = -120.652$ mm/rad <sup>2</sup> $H(\theta) = 145$ mm $R_r = 35$ mm
Radio base de la leva	$R_b = R_c - R_r$	60 mm
Desplazamiento máximo del seguidor	$L_{Máx.}$ = prueba realizada en práctica	0.050 m = 5 Cm = 50 mm
Ángulo de presión indicado para dicha aplicación	Nomograma	$\phi_{Máx.} \approx 25^\circ$

Para la estructura se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 8.

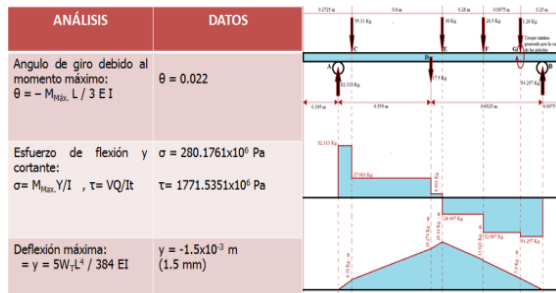


Fig. 8. Resultados de Cálculo para la Estructura.

Para el eje motriz trasero se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 9.

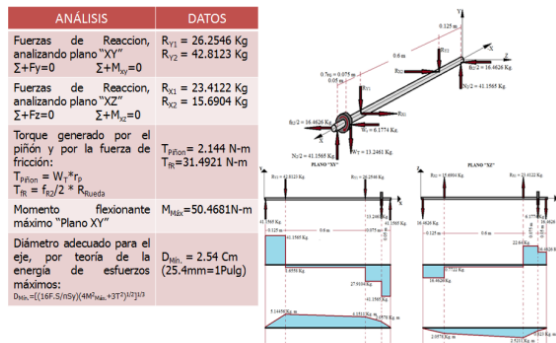


Fig. 9. Resultados de Cálculo para el eje trasero.

Finalmente se presentan en la tabla 5, los resultados del análisis del límite de resistencia a la fluencia.

**Tabla 5: Resultados análisis de fluencia y fatiga**

ANÁLISIS	FORMULA	DATOS
Límite de resistencia	$S'_c = 0.504 S_{ut}$	221.76MPa
Factor de superficie	$K_s \approx a S_u^b$ $a=4.5, b=-0.265$	$K_s = 0.8988$
Factor de tamaño para cargas variables	$K_t = 1.24d^{-0.107}$ $2.79 \leq d \leq 51$ mm	$K_t = 0.8772$
Factor de confiabilidad	$K_c = 1 - 0.08 Z_a$ $Z_a = 2.326$	$K_c = 0.814$
Factor de temperatura	$T \leq 450$ °C	$K_t = 1$
Factor de efectos varios	$K_f = 1 + q(K_t - 1)$ $q = 0.84, K_t = 2.97$	$K_f = 2.6548$
Factor de concentración de tensiones	$K_f = 1 / K_r$	$K_f = 0.3767$
Factor de carga	torsión y combi.	$K_c = 1$
Límite de resistencia a la fatiga	$S_e = K_t K_b K_c K_d K_f S'_c$	142.33MPa
Número de ciclos (N)	$N = (\sigma_{Máx.} / a)^{1/b}$	$9.3145 \times 10^7$ Ciclos

**4. CONCLUSIONES**

La máquina está diseñada para cumplir con la regulación para la señalización horizontal de vías en Colombia, con anchos de líneas de 10 a 15 cm y un patrón de 8 (Tramo pintado 3m y tramo sin pintar 5m) para líneas segmentadas o alternadas, con un margen de error de  $\pm 5\%$ . Cuenta con un control manual y automático de tipo mecánico mediante un sistema de engranes de dientes rector y una leva con su seguidor para realizar actividades de demarcado con aplicación e implementación de la misma en cualquier zona del país.

El prototipo tiene una capacidad de bombeo con el equipo AIRLESS de 1 galón por minuto GPM, con una potencia aproximada de 4 hp, para abastecer dos tomas de pintura de 3/8 de pulgada (2 pistolas), lo cual permite realizar trabajos de demarcado de una o de dos líneas, para pequeñas y grandes proporciones o zonas de trabajo según sea necesario, a una velocidad aproximada de 2 kilómetros por hora (31.3 m/s), adaptable a un carro autopropulsante (Line Driver), lo cual disminuye el tiempo de ejecución de los trabajos.

Para el diseño del sistema de pulverización automático se realizó el análisis de comparación de datos teóricos con los suministrados en la simulación en SolidWorks, donde se determinó que el tiempo teórico de activación de las pistolas por la leva es equivalente a 5.6 segundos. (Tramo pintado de 3 m), y en la simulación de 5.2 segundos, lo cual permitió determinar un margen de error despreciable, avalando así el pleno funcionamiento del sistema de control de pulverización automático de tipo mecánico.

El prototipo disminuye en un 46% los costos de construcción en el país, en comparación con el precio adquirir un equipo similar en el mercado colombiano, y en un 20% con respecto al precio de un equipo importado.

**REFERENCIAS**

- Bermúdez, R y García, A. (2013). Modelado y simulación de una bomba centrífuga con motor monofásico en simulink, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol. 2, No. 22.
- Chiang, L. (1995). *Análisis dinámico de sistema mecánicos*, Alfaomega, Segunda Edición, México.
- Mabie, H y Reinholts, C. (2006). *Mecanismos y Dinámica de Maquinaria*, Limusa, Sexta Edición, México.
- Mataix, C. (2008). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulica*, Alfaomega, Segunda Edición, México.
- Norton, R. (2005). *Diseño de Maquinaria*, McGraw-Hill, Tercera Edición, México.
- NTC 1360. (2002). *Pinturas en frio para la demarcación de vias de pavimento*, Icontec Bogotá.
- NTC 4744. (2000). *Diseño y aplicación de materiales para la demarcación horizontal de pavimentos*, Icontec, Bogotá.
- Sánchez, P y Valle, L. (2005). *Una máquina trazadora de líneas continuas y alternadas con capacidad de 0.6 gpm para la señalización de vías asfaltadas para el HCPP*, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolqui.
- Shigley, J. (2002). *Diseño en Ingeniería Mecánica*, McGraw-Hill, México.
- Streeter, V. (1998). *Mecánica de los fluidos*. México: MacGraw-Hill.
- Torres, C., Archila, J., & Tronco, M. (2013). *Estudio cinemático de una plataforma robótica para agricultura*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol. 2, No 22.