



RiUPTC

Repositorio Institucional
UPTC

repositorio.uptc@uptc.edu.co

DESARROLLO TECNOLÓGICO DE UN SISTEMA DE POSICIONAMIENTO Y COLECCIÓN DE NANOFIBRAS POLIMÉRICAS BAJO LA TÉCNICA DE ELECTROHILADO

Brahayan Xavier Suárez-Ramírez. ^{a, c}; Edwin Yesid Gómez-Pachón ^{a, c}; Efrén de Jesús Muñoz-Prieto ^{b, c},

^a Escuela de Diseño Industrial, Facultad sede Duitama, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC.

^b Escuela de Ciencias Químicas, Facultad de Ciencias básicas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC. 150002 efren17@gmail.com ; edwin.gomez02@uptc.edu.co

^c Grupo de Investigación en desarrollo y nuevos materiales-DANUM, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC,
Correspondencia: brahayan@live.com

Resumen

Recientemente se ha venido investigado sobre las aplicaciones de nanomateriales, donde destacan las nanofibras biopoliméricas preparadas por medio de la técnica de electrohilado, donde es muy importante la precisión en el funcionamiento del proceso de electrohilado y específicamente los sistemas de posicionamiento inyector-colector. Este trabajo propone un mejoramiento del proceso de preparación de las nanofibras en la técnica de electrohilado por medio del desarrollo de un dispositivo de posicionamiento y colección de nanofibras, se aplicaron diferentes herramientas de ingeniería de diseño para lo cual fue necesario conocer los fenómenos físicos que intervienen en el procesamiento de las nanofibras biopoliméricas, entonces se aplicaron herramientas como: método delphi, proceso analítico jerárquico, función de despliegue de calidad y diseño axiomático para abordar el proceso de innovación incremental de forma sistemática. Como consecuencia, se desarrolló un dispositivo mecatrónico con los atributos exigidos por un entorno empresarial que demanda reducción de costos, incremento en la eficiencia y control en los procesos. Los resultados de este trabajo son: la valoración de las necesidades de los potenciales usuarios, la ponderación de factores de diseño para la fabricación de éste tipo dispositivos tecnológicos y un dispositivo mecatrónico que controla el posicionamiento en los tres ejes dimensionales inyector-colector. En conclusión, se mejoró el proceso de preparación de nanofibras en electrohilado al garantizar la reproducibilidad en el posicionamiento inyector-colector. **Palabras clave:** electrohilado, desarrollo tecnológico, diseño industrial, ingeniería mecánica.

Abstract

Recently, it has been investigated on applications of nanomaterials, where high-light biopolymer nanofibers prepared by electrospinning, however, due to shortcomings of the positioning system injector manifold, there was a low reproducibility in the quality of nanofibers. This work has improved the process of preparation of nanofibers by electrospinning by a positioning device and collection of nanofibers. We applied different tools of engineering design, for which it was necessary to know the physical phenomena involved in the processing of

bio-polymer nanofibers matrices, then applied tools such as: delphi method, analytical hierarchical process, role of deployment of quality and axiomatic design to address the process of incremental innovation in a systematic way. The results from this work are: an assessment of users' needs who employ electrospinning; the weighting factors of design to the manufacture of this type technological devices. Other achievements of this study were: a mechatronic device that controls in X, Y, and Z positioning injector-collector. In conclusion, this study improved the process of preparation of nanofibers by electrospinning to ensure reproducibility in the positioning injector-manifold, increased the preparation nanofiber process to warrant the reliability in injector-colector positioning. **Key words:** electrospinning, technology development, industrial design, mechanical engineering.

1. INTRODUCCIÓN

La nanotecnología es la encargada de desarrollar productos y procesos relacionados con el mundo nanométrico, donde los materiales son más resistentes a los esfuerzos mecánicos, conducen mejor la electricidad y el calor, poseen mayor relación superficie-volumen, cambian de color con ciertos estímulos, entre otras cualidades [1, 2]; una de las ramas de la nanotecnología es la nanomanufactura que consiste en producir nuevos materiales o materiales mejorados de tamaño nanométrico a través de ciertos procesos que implican fenómenos físicos y/o químicos, algunos de estos procesos son deposición química de vapor, procesamiento de fases de gas, litografía suave, nanoimpresión hasta procesos de mecanizado en el orden de los nanómetros [3, 4]; por lo tanto en este contexto el electrohilado se considera como micro-nanomanufactura dado que segrega un filamento muy delgado a partir de una solución polimérica con carga eléctrica, tal como una araña genera la telaraña a partir de seda que sale de su cuerpo [5], siendo así que se asemeja a la nanoimpresión pero empleando fenómenos físicos como son el campo eléctrico, las fuerzas electroestáticas de atracción-repulsión, y la conductividad tanto eléctrica como térmica [6]. Por otro lado, se tiene también el ámbito mecatrónico con las nuevas plataformas electrónicas que han surgido en los últimos años, tales como las tarjetas de adquisición de datos como arduino® o los micro-computadores como raspberry-pi® los cuales permiten agregar inteligencia a los diseños [7], ya sean estos de tipo mecatrónico o domótico, sumado a lo anterior el diseño mecánico propone un conjunto de saberes que permiten generar diferentes movimientos con ciertas velocidades, fuerzas o materiales, que en combinación logran generar grandes prestaciones a los productos definidos con estas tecnologías, tal es el caso de los sistemas de posicionamiento que proponen las impresoras 3D y los centros de mecanizado por control numérico - CNC, los cuales se han diseñado con el propósito de definir posiciones precisas y de desarrollar piezas complejas en menor tiempo [8, 9].

1.1. Proceso de electrohilado

En este mismo orden de ideas el proceso de electrohilado sucede en la aplicación de una diferencia de potencial, entre el inyector de un polímero en estado líquido y el colector de las fibras, que hace que el polímero se transforme en fibras sólidas, es decir, que del inyector se libera

la solución polimérica y al estar cargada positivamente es atraída por el colector que se encuentra cargado negativamente, logrando así un desplazamiento de la nanofibra a través del cono de Taylor hasta el colector [6, 10, 11]. En resumen se debe preparar anteriormente una solución polimérica que se hace pasar a través del inyector, el campo eléctrico forma una fibra que se dirige al colector tal como se muestra en la Figura 1, el resultado obtenido son fibras con diámetros muy pequeños que forman redes no entrelazadas en el colector.

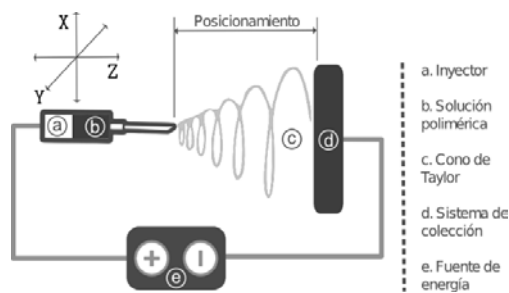


Figura 1: Esquema del proceso de electrohilado
Fuente: Autores

Según lo dicho, en ese aspecto funcional los desarrollos para el proceso de electrohilado se han enfocado en gran medida para lograr características específicas en los colectores, tales como alinear las nanofibras, generar colectores que preparen membranas de nanofibras de grandes espesores (membranas de tres dimensiones) o que permiten incrementar la cantidad de micro-nanofibras manufacturadas [12, 13, 14, 15, 16] e incluso se han orientado esfuerzos a posicionamiento inyector/colector, no obstante estos se han hecho de forma parcial ya que atienden un solo eje o grado de libertad, o también se hacen empleando solamente accionamiento manual, es decir, empleando solo elementos mecánicos [17, 18]; por lo tanto, esos desarrollos no han abordado completamente el posicionamiento inyector/colector que deriva en la homogeneidad del diámetro de las micro-nanofibras, como también en la capacidad de reproducibilidad en los estudios experimentales y además en la capacidad de hacer el posicionamiento en tiempo real durante la fabricación, es decir, sin detener la preparación de la membrana de micro-nanofibras para posicionar nuevamente; en consecuencia los procesos investigativos se ven limitados en capacidad propositiva por parte de los investigadores, en el control del diámetro de las micro-nanofibras y en efecto de las propiedades mecánicas, como también limitaciones y en la estandarización o reproducibilidad de las investigaciones, todo lo anterior se resume en la Figura 2.

Por lo tanto este trabajo se enfoca en mejorar la repetitividad de los experimentos en electrohilado que realizan los investigadores, como

también en brindar un dispositivo que les permita diversificar el posicionamiento inyector/colector para que realicen preparación de membranas de nanofibras con variaciones en tiempo real dentro de los ejes X, Y y Z, ya que aquí se muestra el diseño y el proceso de diseño para el sistema de posicionamiento inyector/colector.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Factores básicos de diseño

Uno de los aportes de este trabajo consiste en la mejora del proceso de diseño, abordándolo de forma rigurosa y procesual, por lo tanto se definió como variables esenciales del diseño - sistema, los factores básicos en los cuales se divide, en dicho sentido la ecuación (1) concreta el modelo de los factores básicos: factor ambiental ($A = X_1$), factor productivo ($P = X_2$), factor humano ($H = X_3$), factor técnico ($T = X_4$), factor estético ($E = X_5$), y finalmente factor funcional ($F = X_6$); tal que son la base del modelado cuantitativo que se muestra más adelante, como también tienen la función de definir la tipología de producto en particular, es decir, diferencia entre un empaque, un producto de consumo masivo, un dispositivo mecatrónico, entre otros, siendo el dispositivo mecatrónico el caso particular en este trabajo; por lo tanto en el diseño orienta los esfuerzos del desarrollador, a los factores con mayores pesos, dichos pesos regulan a su vez los requerimientos de diseño, tal que permite solucionar conflictos a la hora de definir lo que el producto de hacer.

Comentado [D1]: Que mostraría la sumatoria de factores??? En el diseño

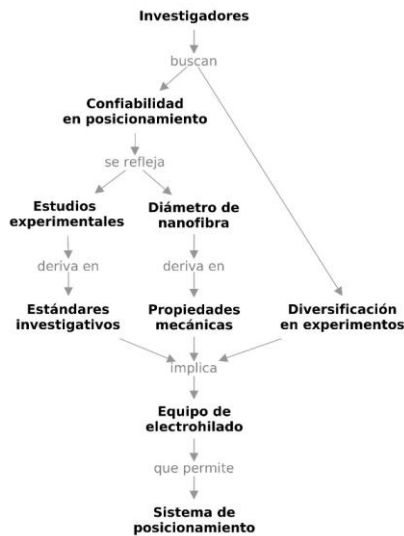


Figura 2: Estructura del problema

$$\sum_{i=1}^6 X_i = A+P+H+T+E+F=1 \quad (1)$$

2.2. Proceso de diseño

Se definió un proceso para el desarrollo del diseño empleando como marco estructural el diseño axiomático - DA, ya que facilita a través de los dominios (cliente, funcional, físico y de proceso), segregar los pasos necesarios para llegar al sistema solución, dicho algoritmo se describe a continuación:

- En primera instancia, se aplicó el método delphi como instrumento de recolección de información para confirmar las necesidades de los usuarios.
- Luego, se empleó la estrategia de diseño factorial que consiste en enfocar el proceso de diseño a ciertos atributos [19], esto con la finalidad alimentar un árbol el cual permitió segregar la problemática y a su vez asignar los factores básicos de diseño, para este fin se empleó el proceso analítico jerárquico - AHP y gran parte del modelado cuantitativo, así se obtuvo los atributos del cliente - AC, que hacen referencia al primer domino del diseño axiomático (dominio del cliente).
- Después se desarrolló la función de despliegue de calidad-QFD, en el QFD se aplicó un análisis de los atributos del cliente - AC, para la generación de requerimientos de diseño y además permitió comparar este material con los diseños de la competencia, por lo tanto se tuvo en cuenta otros diseños (uno de ellos de índole comercial) para comparar y fijar una meta en el sistema a través del QFD.
- Posteriormente se crearon alternativas de diseño, las cuales se cuantificaron mediante una matriz de la forma $A_{p \times q}$, permitiendo definir un número resultante para efectos de evaluar las alternativas y seleccionar la que posea la mayor calificación.
- Finalmente se tomó la alternativa con mayor calificación, la cual se perfeccionó, luego se calcularon sus mecanismos empleando un lenguaje de propósito específico (SageMath) y se modeló el sistema en CAD (Autodesk - Inventor), para finalmente fabricar y ensamblar, esta última etapa genera los parámetros de diseño - PD (resultantes de analizar soluciones existentes a nivel antropógeno), los planos de producción del producto, como el producto mismo.

Además, el proceso descrito anteriormente se aplicó dos veces, con el fin de lograr el efecto de la iteración, el cual consiste en el refinamiento del diseño y en la mejora del producto.

3. RESULTADOS

3.1. Aplicación del procesos de jerarquía analítica – AHP

Durante el proceso de diseño se emplearon criterios de clasificación para aquello que los usuarios enuncian como elementos, funciones y características que deben contener el producto, es decir atributos del cliente - AC, para esto se hizo uso de los factores básicos de diseño: factor ambiental (A), factor humano (H), factor productivo (P), factor técnico (T), factor estético (E) y factor funcional (F), que posteriormente se jerarquizaron por medio del proceso de jerarquía analítica - AHP. En primer lugar para aplicar el AHP se hicieron las dos matrices que se presentan en las Tablas 3 y 4 de los anexos, que permitieron la comparación entre los factores básicos de diseño (E, P, F, H, T, A) con el fin determinar el orden de importancia de cada uno a modo de porcentajes, estas matrices se definieron teniendo en cuenta la opinión de expertos en la temática y el respectivo algoritmo del AHP [20, 21]. En consecuencia se puede resumir esta aplicación del AHP en la ecuación (2) y cumple con (1) (ver X de la Tabla 4).

$$X_i := \{E=0.02; P=0.101; F=0.296; H=0.253; T=0.182; A=0.146\} \quad (2)$$

3.2. Modelado matemático y diseño de alternativas

En primer lugar se consideró el criterio de los actores que son el diseñador y el usuario, tomando en cuenta el peso porcentual que asume cada uno de los actores, donde se aplicó de nuevo el AHP, obteniendo así para el diseñador (d) un valor $d' = 0,284$ y para el usuario (u) un valor $u' = 0,716$; luego se empleó una matriz de asignación de la forma $A_{p \times q}$, donde se relacionó los factores básicos de diseño (X_i) con los atributos del cliente - AC, atendiendo así a las ecuaciones (3) y (4).

$$\begin{Bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_p \end{Bmatrix} = [A] \begin{Bmatrix} AC_1 \\ \vdots \\ AC_q \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$a_{ij} := \begin{cases} a_{ij} = 1 \leftrightarrow \exists f: \begin{Bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_p \end{Bmatrix} \rightarrow \begin{Bmatrix} AC_1 \\ \vdots \\ AC_q \end{Bmatrix} \\ a_{ij} = 0 \leftrightarrow \nexists f: \begin{Bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_p \end{Bmatrix} \rightarrow \begin{Bmatrix} AC_1 \\ \vdots \\ AC_q \end{Bmatrix} \end{cases} \quad (4)$$

Después se creó otra matriz de la forma $B_{p \times r}$ que se encargó de contar la cantidad de veces que apareció cada factor básico de diseño (X_i) por cada actor del proceso: diseñador (d) y usuario (u), esto se puede ver en la ecuación (5), con sus elementos constitutivos definidos a través de la ecuación (6).

$$\begin{Bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_p \end{Bmatrix} = [B] \begin{Bmatrix} d \\ u \end{Bmatrix} \quad (5)$$

$$b_{ik} := \begin{cases} b_{i1} = \sum_{j=1}^q a_{ij} \leftrightarrow \in d; \forall i \\ b_{i2} = \sum_{j=1}^q a_{ij} \leftrightarrow \in u; \forall i \end{cases} \quad (6)$$

Entonces se creó otra matriz de la forma C_{pxr} , para los factores básicos de diseño (X_i) y los actores (d, u), pero teniendo en cuenta esta vez los respectivos valores d' y u' , esto se observa en las ecuaciones (7) y (8).

$$\begin{Bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_p \end{Bmatrix} = [C] \begin{Bmatrix} d \\ u \end{Bmatrix} \quad (7)$$

$$c_{ik} := \begin{cases} c_{i1} = d' \cdot X_i; \forall i \\ c_{i2} = u' \cdot X_i; \forall i \end{cases} \quad (8)$$

Posteriormente, se generó la última matriz de la forma Y_{pxr} que reunió los elementos de las dos anteriores matrices (ver ecuaciones (9) y (10)).

$$\begin{Bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_p \end{Bmatrix} = [Y] \begin{Bmatrix} d \\ u \end{Bmatrix} \quad (9)$$

$$y_{ik} := c_{ik} b_{ik}; \forall i, k \quad (10)$$

Finalmente, se hizo uso de todo los constructos anteriores para modelar el vector lambda (λ_j) con base en la ecuación (11), con lo cual se logró definir los pesos de cada atributo del cliente – AC, que posteriormente se utilizó en la definición de los requerimientos de diseño – RF; el propósito de este modelado fue darle una orientación rigurosa sistémica y explícita al proceso de diseño de producto, en particular de productos técnicos como el sistema de posicionamiento inyector/colector. En la Tabla 5 de los anexos se muestra el resultado de este modelado, específicamente sobre la columna lambda (λ).

$$\lambda_j := \sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^p y_{ik} \leftrightarrow a_{ij} = 1; \forall j \quad (11)$$

3.3. Aplicación de la función de despliegue de calidad

Sin dejar de lado todo el constructo anterior se procedió a crear la función de despliegue de calidad - QFD, el primer insumo del QFD son los atributos del cliente - AC y sus respectivos valores del vector λ_j , en la Figura 5 de los anexos, se observan dichos valores y a su vez se calculan en la parte inferior los valores de los requerimientos - RF con el valor θ_j , el cual se logra al hacer la sumatoria sobre la columna respectiva, si a cada valor de esta se le multiplica su respectivo valor λ_j de la fila; también se clasificaron los tipos de requerimientos: por categoría (N: necesarios, R: reales, I: ideales) y por grupo (O: obligatorios, D: deseados) [22, 23], y además se evaluaron los diseños A [17], B [18] de la competencia, y C que es el actual equipo con el que se cuenta; en la Tabla 5 (ver anexos) se sintetiza los resultados del modelado, que corresponde a los atributos del cliente - AC y los requerimientos - FR.

El siguiente paso consistió en desarrollar alternativas empleando los requerimientos - RF e integrándolos bajo la técnica de bocetado, se desarrollaron tres alternativas las cuales se pueden observar en la Figura 6 de los anexos.

3.4. Selección de alternativas de diseño

Después de desarrollar las alternativas, se evaluaron con la finalidad de elegir una para efectos de diseñarla al detalle, para tal fin se hizo uso de las ecuaciones (12), (13), (14), (15) y (16); en la Tabla 1 se concreta el resultado de las anteriores ecuaciones, donde los porcentajes corresponden a valor de P_g y Ω al valor para el criterio de selección, por lo tanto se selecciona el mayor Ω , que en este caso fue la segunda alternativa.

Tabla 1: Evaluación de alternativas

ID	Parámetro	Alternativas		
		Primera	Segunda	Tercera
PD_1	Nodos	10%	10%	10%
PD_2	Conectores	5%	4%	5%
PD_3	Paneles	14%	15%	15%
PD_4	Actuadores	5%	5%	5%
PD_5	Controlador	5%	5%	5%
PD_6	Sensores	5%	5%	5%
PD_7	Husillo	16%	16%	15%
PD_8	Correa	13%	14%	14%
PD_9	Cremallera	18%	18%	16%
PD_{10}	Contacto	9%	9%	9%
Ω		616	618	592

$$\begin{Bmatrix} RF_1 \\ \vdots \\ RF_s \end{Bmatrix} = [N] \begin{Bmatrix} PD_1 \\ \vdots \\ PD_v \end{Bmatrix} \quad (12)$$

$$n_{hg} := \{1, 3, 5, 7, 9\} \quad (13)$$

$$\varphi_g = \sum_{h=1}^s n_{hg} \leftrightarrow \exists n_{hg}; \forall g \quad (14)$$

$$\Omega = \sum_{j=1}^q \varphi_j; \forall g \quad (15)$$

$$P_g = \frac{\varphi_g}{\Omega} \quad (16)$$

3.5. Desarrollo del diseño

Después de obtener la alternativa que mejor se ajustó al modelado de evaluación, se procedió a definir a detalle la alternativa seleccionada mediante software CAD para el diseño definitivo, por lo tanto se presenta a continuación de forma holística el sistema de posicionamiento y colección para el equipo de electrohilado (ver Figuras 3(e) y 3(f)) los componentes constitutivos del diseño, tal que se segregó en los siguientes subsistemas: mecánicos, estructural, funcional, eléctrico y electrónico; en lo particular, este trabajo presenta el diseño los subsistemas mecánico, estructural y funcional, tal como se muestra desde la Figura 3(a) hasta la Figura 3(d), dichas figuras ponen de manifiesto, que para la parte mecánica se emplean mecanismos de correas (eje Y y Z) que se observan en las Figuras 7(c), 7(d), 7(e) y 7(f) de los anexos, como también un tornillo de potencia para el eje X (ver Figuras 7(a) y 7(b) de los anexos); por otra parte, a nivel estructural y funcional las Figuras 11 y 12 de los anexos permiten observar los componentes estructurales, no obstante cabe denotar que estos dos subsistemas poseen comportamiento difuso respecto a los demás subsistemas, dado que se amalgaman con los mecanismos (ver Figuras 8, 9 y 10 de los anexos) e incluso con los componentes electrónicos (ver Figuras 9(c), 11 y 12(a) de los anexos). Finalmente cabe destacar que por naturaleza del proceso de diseño (sistémico) se encuentran otro elementos de los subsistemas eléctrico y electrónico, tal es el caso de la jaula de Faraday y de los sensores de choche que se pueden ver en las Figuras 8(b) y 9(c) de los anexos.

3.6. Cálculos de los mecanismos

Finalmente se pone de manifiesto el análisis empleado para el diseño (sistema) desarrollado en el apartado anterior, en primer lugar se define el tipo de motor a emplear para los mecanismos y seguidamente se exhiben los cálculos para cada mecanismo del diseño.

3.6.1. Motor

Para seleccionar el tipo de motor, en primer lugar se definió la Tabla 2, donde se muestra con un signo positivo (+), cuales son los mecanismos que exigen más velocidad (ω) y más torque (τ), después se halló ω y τ , para determinar la potencia (P) mediante la ecuación (17).

Tabla 2: Contraste de mecanismos

	Tornillo	Correa Y	Correa Z
τ	+	-	-
ω	-	-	+

$$P = \tau \cdot \omega \quad (17)$$

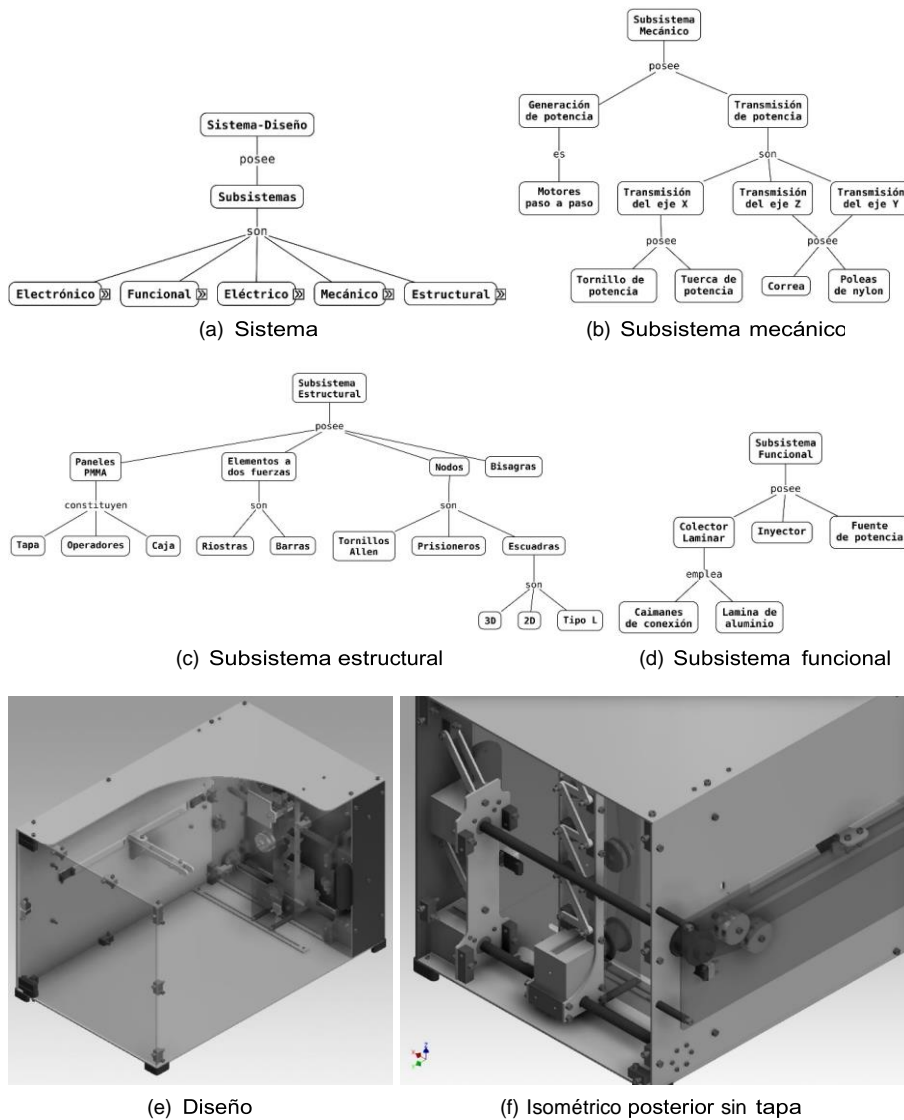


Figura 3: Sistema - Diseño

En concordancia con la información anterior se analizó la velocidad para el motor de la correa del eje Z, dado que es el mecanismo que recorre más distancia, lo que implica que debe ser el más veloz de los tres; por lo tanto se fijó una restricción para el radio de la polea, considerando la longitud que debía desplazarse en la correa, para que se cumpliera la ecuación

(18), por lo tanto con un recorrido máximo de $z_{\max} = 300$ mm, se restringe a $r \leq 47$ mm.

$$r = \frac{z_{\max}}{2\pi} \quad (18)$$

La mínima velocidad lineal (v en mm/s), recomendada para este tipo de sistemas es de 50 mm/s [24], por lo tanto la velocidad angular (ω en rpm) se define conforme a la ecuación (19), con lo que se restringió dicha velocidad angular a $\omega \geq 10,12$ rpm.

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (19)$$

Posteriormente se idealizó el conjunto de elementos que mueve el mecanismo de tornillo de potencia (mecanismo que controla el eje X, este se puede ver en la Figura 8) como una sola masa, dicha masa se convierte en el peso (\mathbf{W} , que en el gráfico se denota con el énfasis de flecha y así para todos los vectores) bajo el efecto de la gravedad que se observa en el diagrama de cuerpo libre (DCL) en la Figura 4, en dicho diagrama se puede ver también la fuerza determinante (\mathbf{F}) para el modelado, ya que esta se encarga de vencer la fuerza de fricción (\mathbf{F}_f) que se produce indirectamente por la reacción del peso, por lo tanto es la fuerza que aplica el mecanismo, tal que se define como función directa del par motor, es decir, entre más fuerza (\mathbf{F}) se requiera para desplazar la masa, más par motor o torque se requiere, en las ecuaciones (20), (21) y (22) se sintetiza el análisis anterior.

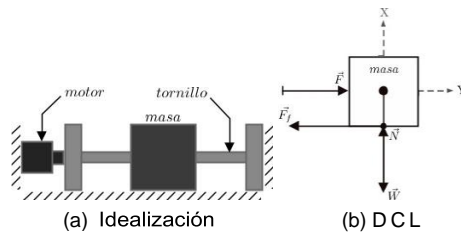


Figura 4: Modelado de fuerza

$$\sum F_x = F - F_f = 0 \quad (20)$$

$$\sum F_y = N - W = 0 \quad (21)$$

$$F_f = \mu N \quad (22)$$

En el mismo sentido de ideas se estimó que la masa a mover por el tornillo era de 5 Kg, y el coeficiente de fricción estático (μ) es de 0,8 [25], entonces se puede concluir con base en el anterior sistema que $F - F_f = 39,2$ N. Finalmente, se determina el par motor empleando la ecuación (23) [26], donde: $d_m = 0,45$ in (diámetro nominal del tornillo tipo ACME), $\alpha = 14,5^\circ$ (la mitad del ángulo del tornillo tipo ACME) y $l = 0,1$ in (dos veces la altura del filete del tornillo tipo ACME); con lo cual se obtuvo un torque

requerido de $\tau = 1,14 \text{ Kgf}\cdot\text{cm}$, por lo tanto a modo de conclusión se define un motor marca pololu® con los siguientes datos: $\tau = 3,2 \text{ Kgf}\cdot\text{cm}$ y velocidad programable que puede llegar a 5000 rpm, sin sufrir una disminución considerable de su par motor [27]. En el anexo “Tornillo del eje X” se puede observar el *script* del lenguaje SageMath que respalda este análisis, y allí se puede encontrar la siguiente ecuación, bajo el título de “# torque requerido”.

$$\tau = F \cdot \frac{d_m}{2} \cdot \frac{1 + \frac{\mu \pi d_m}{\cos \alpha}}{\pi d_m - \frac{\mu l}{\cos \alpha}} \quad (23)$$

3.6.2. Tornillo de potencia

Después de calcular el motor para todos los mecanismos, se definió el tornillo empleando la ecuación (24) [26] que aproxima a un valor de la tabla ACME el diámetro nominal del tornillo, los valores seleccionados de la tabla correspondieron a 0,5 in de diámetro exterior, con un paso de 0,1 in, aunque se podía y factores de seguridad superiores a 60 unidades para el núcleo del tornillo, para esfuerzo a flexión y cortante de los filetes en el tornillo y la tuerca, además con una eficiencia de $e = 14,79 \%$. En el anexo “Tornillo del eje X” se puede observar el *script* del lenguaje SageMath que respalda este análisis y muestra los modelos en detalle.

$$d_{m_{\text{nom}}} = \sqrt{\frac{2F}{\pi \phi S_d}} \quad (24)$$

3.6.3. Correas y poleas dentadas

Por otra parte las correas que se emplean en los ejes Y y Z, se definieron con base en el catálogo de Intermec® [28], para el cual se suplieron los datos del par de motor o torque (τ), la velocidad angular (ω), la potencia del motor (P) y el diámetro del eje del motor (0,197 in), por lo tanto se seleccionaron correas dentadas 225L (25,5 in de longitud, con 68 dientes) y 390L (39,0 in de longitud, con 104 dientes), para poleas dentadas 12L (diámetro de 35,6 mm); donde L hace referencia a un paso de los dientes de 0,375 in. %. En los anexos “Correa y poleas del eje Y” y “Correa y poleas del eje Z” se pueden observar los *scripts* del lenguaje SageMath que respalda este análisis y muestran los modelos en detalle.

4. CONCLUSIONES

- Se presentó en este trabajo el desarrollo de un proceso riguroso, sistemático y procesual, ya que se empleó una postura de diseño altamente algorítmica y cuantitativa, lo cual abre un horizonte de posibilidades en el desarrollo de producto, ya que se puede hacer énfasis en la posibilidad de generar normativas o estándares para el desarrollo de producto, e incluso abre la posibilidad de generar un software o aplicación que permita modelar todos los datos que se deben contemplar en el proceso de desarrollo de producto tecnológico, para efectos de reducir tiempos y atender de manera más idónea las exigencias de un mercado dinámico y cambiante.
- Se avista en el proceso de nanomanufactura la inclusión de herramientas para desarrollo de productos tecnológicos (QFD, diseño axiomático, análisis cuantitativo, diseño pro factores y método delphi) con la finalidad de propiciar aplicaciones que hacen acercamientos más contundentes a lo que sería una realidad industria y un mercado; tal que aborda un conjunto de constructos para enfrentar la innovación tecnológica, temática que hoy en día aborda gran cantidad de importancia en una sociedad global y económica.
- Se desarrolló un diseño con base en procesos de manufactura que existen en la región, por lo tanto se articula las posibilidades de desarrollo industrial con una necesidad sentida por un mercado, en este caso hacia los investigadores, pero también altamente generalizable para el contexto comercial de equipos de electrohilado e incluso el diseño logrado es tal, que posee atributos empresariales de gran interés, tales como un costo en materia prima menor a los USD 1.000,00; bastante competitivo para un mercado donde los equipos se encuentran en el intervalo de USD 5.000,00 a USD 40.000,00.
- Por otra parte, también se puede definir que el diseño es altamente escalable y modular para efectos de mantenimiento y fabricación, ya que emplea algunos elementos estándar y normaliza componentes, por ejemplo el mismo tipo de motor para los mecanismos, lo cual en un entorno empresarial se vería reflejado en el proceso de manufactura, con bajos inventarios y control de proceso adaptativo de pocas etapas.
- Finalmente y no menos importante, se realizó un diseño bajo una necesidad de mercado ya que se consensó con otros investigadores del mundo acerca de su importancia, por lo tanto se desarrolló un producto de nanotecnología, que permite mitigar el error humano que se inducía al experimento al realizarse un posicionamiento manual por parte del usuario del equipo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores extienden su más sincera gratitud al grupo de investigación DANUM-UPTC y a los proyectos internos de la UPTC con SGI: 1397 y SGI: 1769 por aportar recursos para la ejecución del proyecto, así mismo a la ORICI-UPTC, por financiar los viajes al Instituto de Investigación de Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México, por otra parte también le agradece a los docentes Mg. Heriberto A. Pinto L. y Mg. Arturo Torres por facilitar la manufactura del equipo.

REFERENCIAS

- [1] National Nanotechnology Initiative: N. N. C. Office, Nanotechnology. big things from a tiny world, NNI. https://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/nanotechnology_bigthingsfromatinyworld-print.pdf
- [2] National Nanotechnology Initiative: N. N. C. Office, What is nanotechnology?, NNI. <http://www.nano.gov/nanotech-101/what/definition>
- [3] National Nanotechnology Initiative: N. N. C. Office, Manufacturing at the nanoscales, NNI. <http://www.nano.gov/nanotech-101/what/manufacturing>
- [4] D. O. HEALTH, H. S. C. for Disease Control, P. N. I. for Occupational Safety, and Health, CURRENT STRATEGIES FOR ENGINEERING CONTROLS IN Nanomaterial Production and Downstream Handling Processes. NIOSH, 2013.
- [5] M. E. Farley, "La rebelión del mundo miniatura, un "zoom" a los avances en ingeniería y salud," Revista Universitas Científica, 2013.
- [6] A. Baji, Y.-W. Mai, S.-C. Wong, M. Abtahi, and P. Chen, "Electrospinning of polymer nanofibers: effects on oriented morphology, structures and tensile properties," Composites science and technology, vol. 70, no. 5, pp. 703–718, 2010.
- [7] A. K. Dennis, Raspberry Pi home automation with Arduino Packt Publishing Ltd, 2013.
- [8] E. A. T. Barahona, J. X. L. Medina, and E. T. Diaz, "Diseño de un prototipo de impresora 3d que aplica la técnica de prototipado rápido modelado por deposición fundida," 2013.
- [9] F. CRUZ TERUEL, Control numérico y programación II. 2010.
- [10] D. Zhang and J. Chang, "Electrospinning of three-dimensional nanofibrous tubes with controllable architectures," Nano letters, vol. 8, no. 10, pp. 3283–3287, 2008.

- [11] J. A. Cicero and J. R. Dorgan, "Physical properties and fiber morphology of poly (lactic acid) obtained from continuous two-step melt spinning," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2001.
- [12] Y. Wu, Z. Dong, S. Wilson, and R. L. Clark, "Template-assisted assembly of electrospun fibers," *Polymer*, vol. 51, no. 14, pp. 3244–3248, 2010.
- [13] Y.-L. Chou, *Análisis estadístico*. Interamericana, 2a. edición. ed., 1977. Traducción al español por Vincent Agut Ammer.
- [14] M. Pokorny and V. Velebny, "Collection method for extra aligned nanofibers deposited by electrospinning," *Review of Scientific Instruments*, vol. 82, no. 5, p. 055112, 2011.
- [15] P.-C. Hsu, D. Kong, S. Wang, H. Wang, A. J. Welch, H. Wu, and Y. Cui, "Electrolessly deposited electrospun metal nanowire transparent electrodes," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 136, no. 30, pp. 10593–10596, 2014.
- [16] M. Kancheva, A. Toncheva, N. Manolova, and I. Rashkov, "Advanced centrifugal electrospinning setup," *Materials Letters*, vol. 136, pp. 150 – 152, 2014.
- [17] SPRAYBASE®: Technologies: Solution electrospinnig. <http://www.spraybase.com/electrospinning/>
- [18] B. SAUTTER, "Continuous polymer nanofibers using electrospinning," Master's thesis, Mechanical Engineer University of Illinois at Chicago, 2005.
- [19] A. D. de Reciclado y Medio Ambiente Eva Verdejo Andrés and G. B. Sevilla, *Guía de ecodiseño para el sector del plástico*. AIMPLAS.
- [20] H. A. Taha, *Operations research: an introduction*. Pearson/Prentice Hall, 2007.
- [21] T. L. Saaty, "How to make a decision: The analytic hierarchy process," *European Journal of Operation Research*, vol. 48, pp. 9–26, 1990.
- [22] N. Cross, *Métodos de diseño. Estrategias para el diseño de producto*, ch. Determinación de características, pp. 101 – 114. John Wiley & Sons, 2012.
- [23] G. Rodríguez, *Manual de diseño industrial: curso básico UAM-AGG*. G. Gili, 1985.
- [24] RapRep: Prusa i3 hephestos. http://reprap.org/wiki/Prusa_i3_Hephestos/es.
- [25] ARTEPLASTICA®: Ficha técnica. http://www.arteplastica.es/wp-content/uploads/2015/03/METACRILATO_COLADA.pdf

[26] L. V. Useche, Diseño I, ch. CAPÍTULO 8 DISEÑO DE TORNILLOS, pp. 1 – 63. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica, 2011.

[27] POLOLU®: Stepper Motor: Unipolar/Bipolar, 200 Steps/Rev, 42x48mm, 4V, 1.2 A/Phase. <https://www.pololu.com/product/1200>

[28] INTERMEC®: Transmisión de potencia: poleas dentadas. http://www.intermec.com.co/pdf/manual_poleas_dentadas_intermec.pdf

[29] J. L. Melo, ERGONOMÍA PRÁCTICA. GUÍA PARA LA EVALUACIÓN ERGONÓMICA DE UN PUESTO DE TRABAJO. 1 ed., 2009. ISBN: 978-987-97960-6-1.

ANEXOS

Tabla 3: Matriz de comparación - AHP

	E	P	F	H	T	A
E	1	1/7	1/9	1/7	1/9	1/3
P	7	1	1/5	1/7	1/3	3
F	9	5	1	3	3	1/3
H	7	7	1/3	1	3	3
T	9	3	1/3	1/3	1	5
A	3	1/3	3	1/3	1/5	1
Σ	36.00	16.48	4.98	4.95	7.64	12.67

Tabla 4: Matriz de ponderación - AHP

	E	P	F	H	T	A	\bar{X}
E	0.027	0.008	0.022	0.028	0.014	0.026	0.02
P	0.194	0.060	0.040	0.028	0.043	0.236	0.101
F	0.25	0.303	0.2	0.605	0.392	0.026	0.296
H	0.194	0.424	0.066	0.201	0.392	0.236	0.253
T	0.25	0.182	0.066	0.067	0.130	0.394	0.182
A	0.083	0.020	0.602	0.067	0.026	0.078	0.146

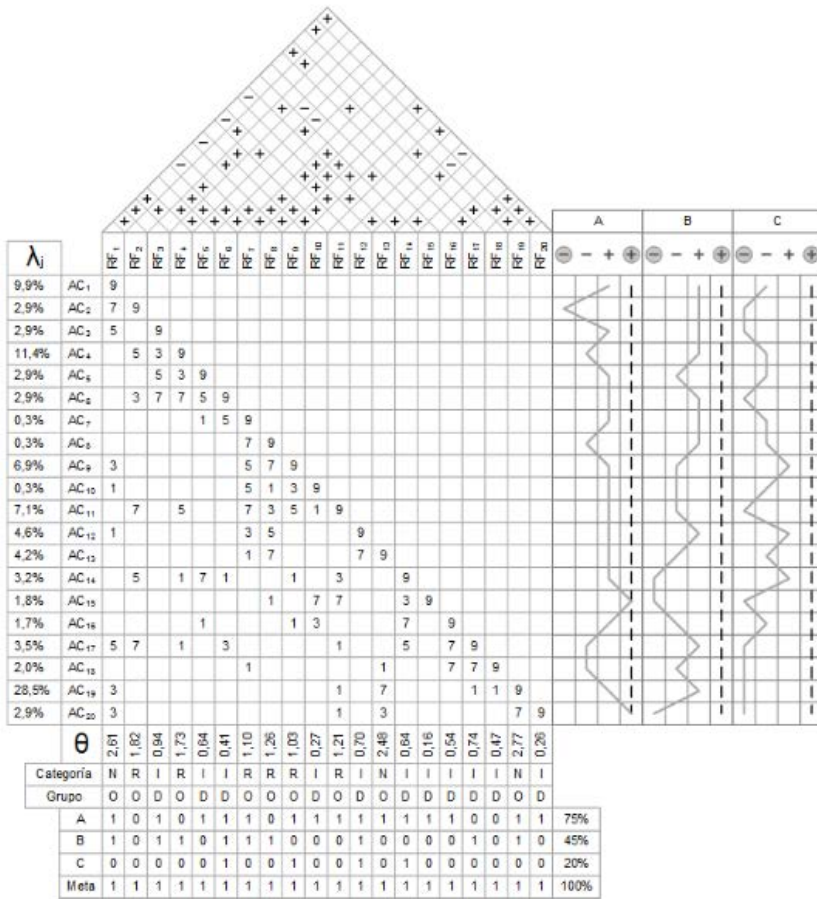


Figura 5: Función de despliegue de calidad - QFD

Tabla 5: Definición de requerimientos

ID_{AC}	Atribuiros del cliente	λ	ID_{RF}	Requerimientos	θ
AC_1	Empleando componentes estándar	9,9%	RF_1	Debe considerar en lo posible actuadores, sensores, sistemas de unión, de anclaje y de transmisión de movimiento, comerciales	2,61
AC_2	Empleando un microcontrolador	2,9%	RF_2	Tomar en cuenta la tarjeta arduino	1,82
AC_3	Haciendo uso de mecanismos de transferencia de movimiento	2,9%	RF_3	Debe emplear en lo posible yugo escoces, polea dentada, correa, husillo de bolas y/o cremallera con engranaje	0,94
AC_4	Midiendo la posición del colector respecto al inyector en el espacio: X, Y, Z	11,4%	RF_4	Debe considerar sensores de medición de posicionamiento o una función que devuelva la posición del sistema	1,73
AC_5	Permitiendo diferentes posiciones del colector en el espacio (ejes: X, Y,Z), es decir, un rango de movimiento	2,9%	RF_5	Debe contemplar los siguientes intervalos para cada uno de los ejes de movimiento (cm): $20 \leq Z \leq 30$; $10 \leq X, Y \leq 20$	0,64
AC_6	Considerando un nivel de precisión en el posicionamiento	2,9%	RF_6	Debe considerar un nivel mínimo de precisión en el orden de los centímetros	0,41
AC_7	Considerando procesos de manufactura factibles en la región	0,3%	RF_7	Debe considerar, la manufactura de los componentes en: corte láser, mecanizado convencional y/o CNC, e impresión 3D	1,10
AC_8	Permitiendo el uso eficiente de los materiales en los procesos de manufactura	0,3%	RF_8	Debe emplear tochos de sección circular, cuadrada o láminas como materia prima	1,26
AC_9	Empleando la menor cantidad de funciones posibles	6,9%	RF_9	Debe considerar geometrías racionales	1,03
AC_{10}	Haciendo que los componentes se ensamblen con la menor cantidad de operaciones posibles	0,3%	RF_{10}	Debe emplear sistemas de unión: roscados, fijos y por ajuste	0,27
AC_{11}	Permitiendo la integración de funciones	7,1%	RF_{11}	Debe considerar la integración de dos a más funciones en un solo componente	1,21
AC_{12}	Disminuyendo los tratamientos superficiales	4,6%	RF_{12}	Debe emplear los materiales con los acabados que vienen de fabrica	0,70
AC_{13}	Usando materiales reciclables	4,2%	RF_{13}	Debe emplear polímeros como material predominante	2,48
AC_{14}	Evitando sobredimensionamiento de los componentes del sistema	3,2%	FR_{14}	Tomar en cuenta una dimensión máxima del sistema de $70 \times 50 \times 50$ (cm)	0,64
AC_{15}	Permitiendo el uso de los diferentes tipos de sistemas de colección básicos	1,8%	RF_{15}	Debe permitir el uso de diferentes colectores.	0,16
AC_{16}	Considerando las dimensiones de los usuarios	1,7%	RF_{16}	Debe considerar ángulos de confort entre $0^\circ - 40^\circ$ por debajo del horizonte visual [29]	0,54
AC_{17}	Considerando la interfaz del Sistema Ergonómico, específicamente H-M	3,5%	RF_{17}	Tomar en cuenta un control y un display	0,74
AC_{18}	Empleando señalización que evidencie el riesgo	2,0%	RF_{18}	Debe considerar señales de riesgo eléctrico	0,47
AC_{19}	Protegiendo a las personas y a los componentes del equipo	28,5%	RF_{19}	Debe considerar el uso de polos a tierra	2,77
AC_{20}	Empleando elementos de aislamiento para los componentes expuestos al campo eléctrico	2,9%	RF_{20}	Debe considerar jaulas de Faraday o materiales aislantes	0,26

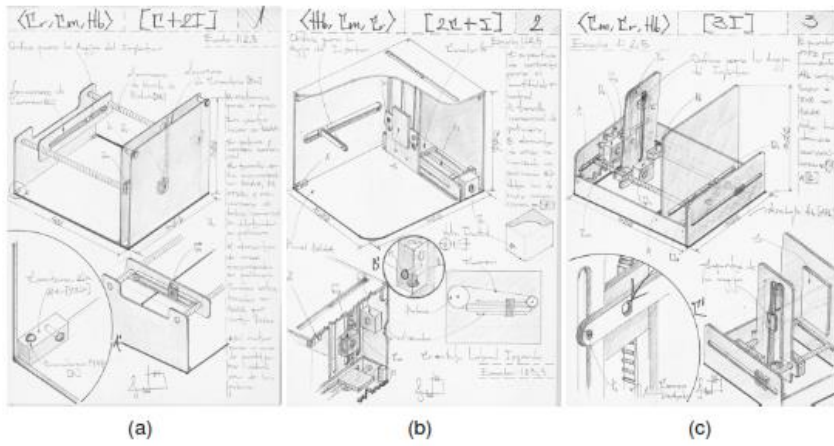


Figura 6: Alternativas

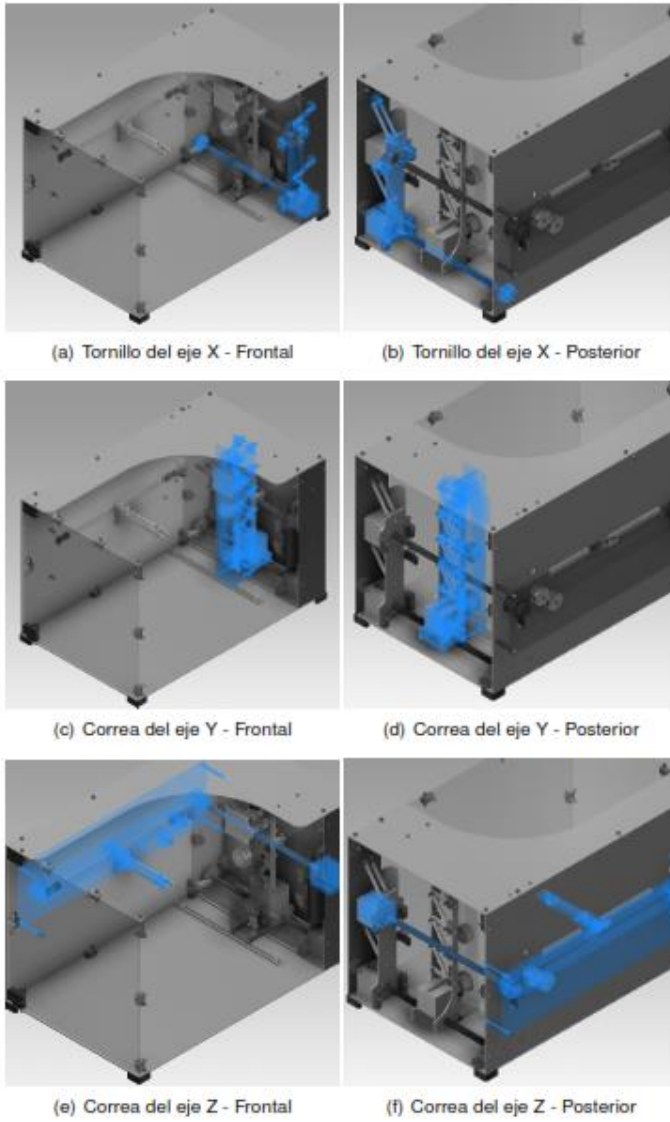
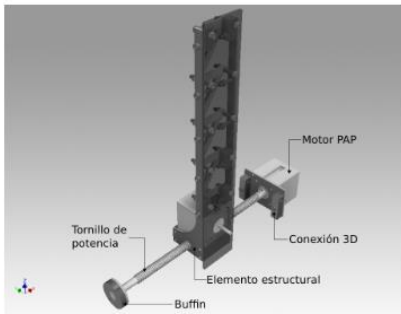
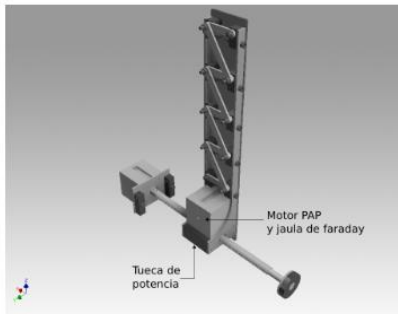


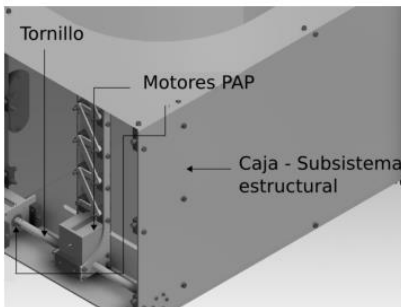
Figura 7: Componentes del subsistema mecánico



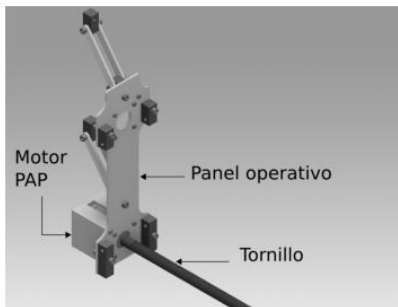
(a) Simplificación - Tornillo



(b) Simplificación - Tuerca

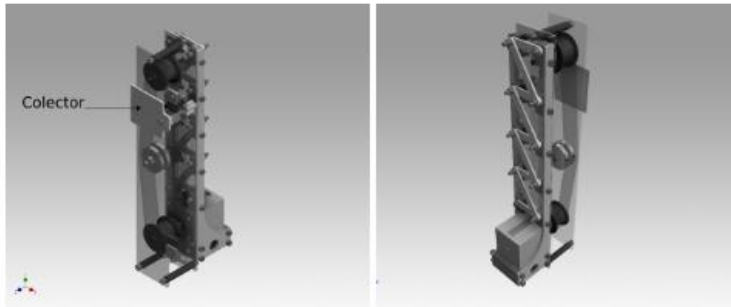


(c) Unión a caja



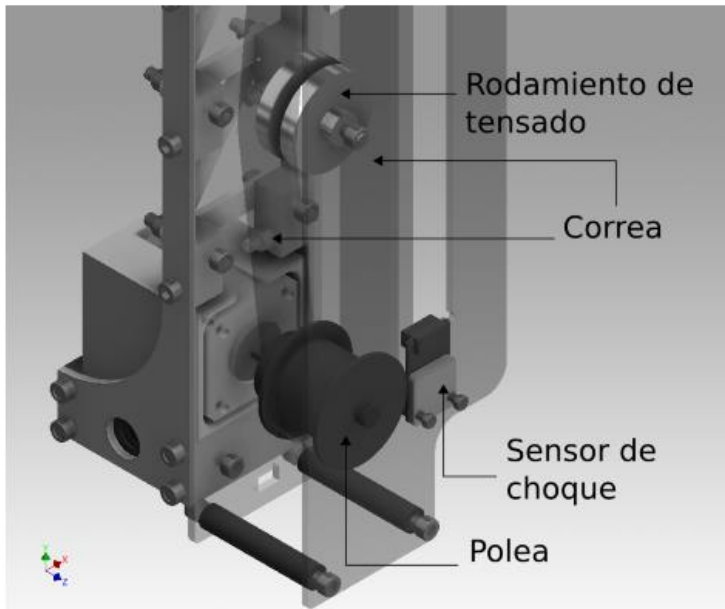
(d) Unión a panel operativo

Figura 8: Mecanismo del eje X



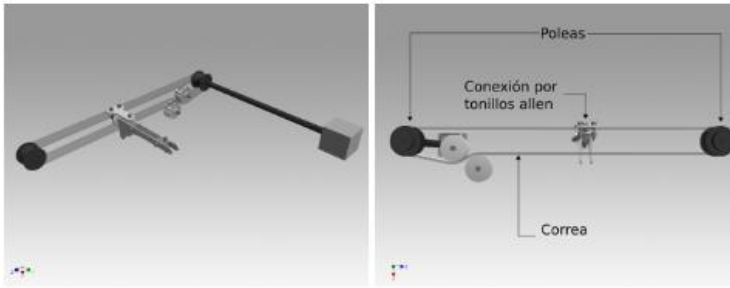
(a)

(b)



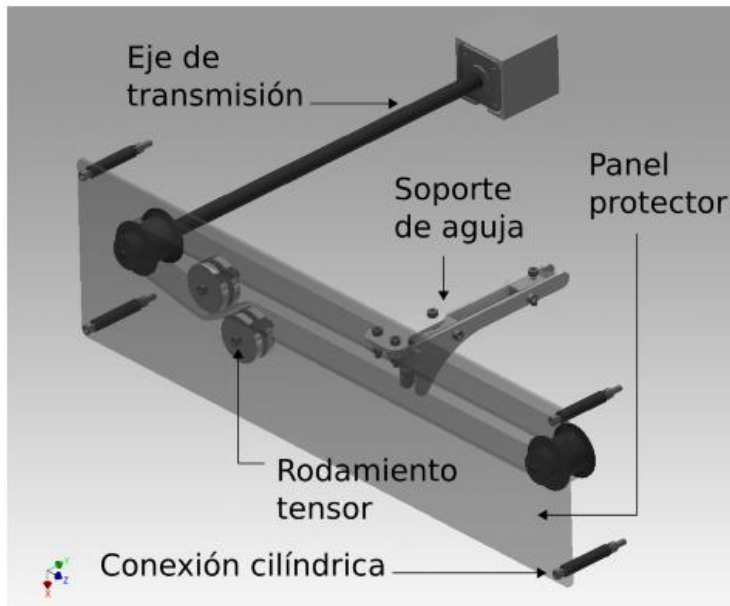
(c)

Figura 9: Mecanismo del eje Y



(a)

(b)



(c)

Figura 10: Mecanismo del eje Z

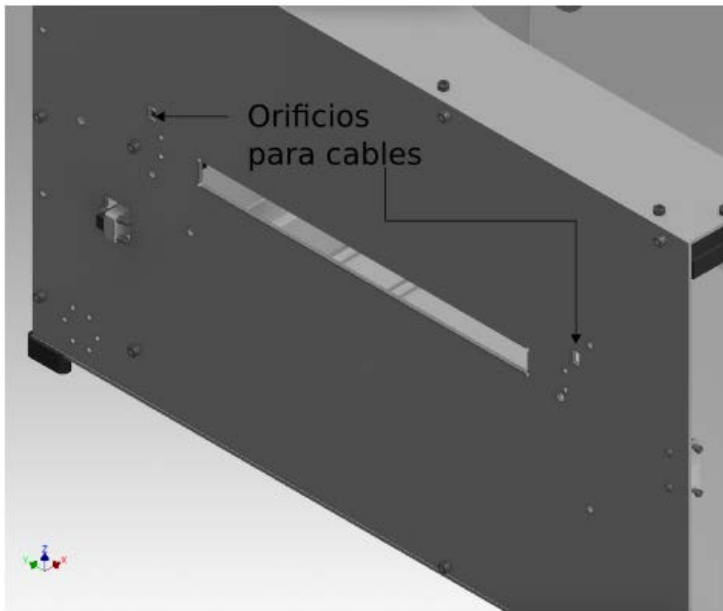
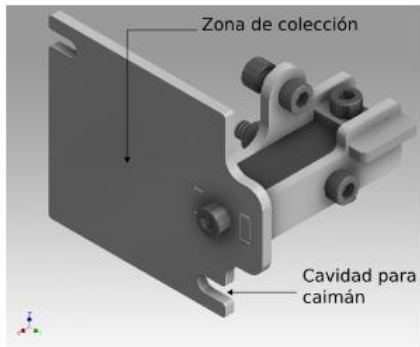
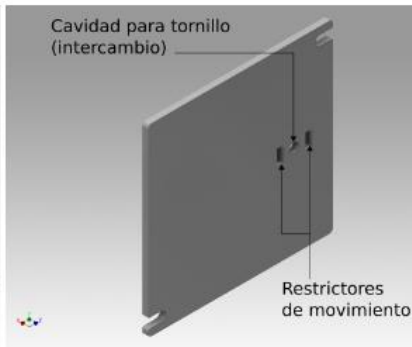


Figura 11: Implicación a otros subsistemas



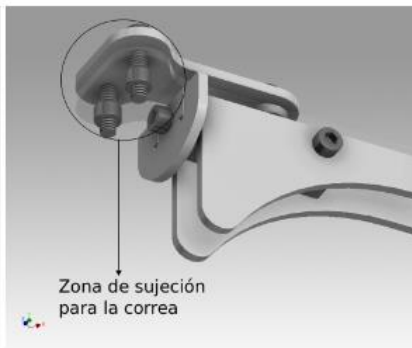
(a) colector 60x60



(b) colector 100x100



(c) Soporte del inyector - Frontal



(d) Soporte del inyector - Posterior

Figura 12: Componentes del subsistema funcional

Tornillo del eje X

El presente documento exhibe los cálculos efectuados para analizar el tornillo de potencia.

En primera medida se presentan a continuación los datos para el modelado del sistema, empleando como material del mecanismo NYLON 6.

Indicaciones para la lectura del *script*:

- Las unidades físicas empleadas a lo largo del texto se encuentran entre paréntesis cuadrados <[]>.
- Los comentarios se observan después del símbolo de almohadilla <#>.
- Los factores de conversión se emplean para ajustar ciertas cifras a las unidades correspondientes, que se indican entre paréntesis cuadrados.
- Los resultados específicos de algunas variables se presentan en azul antecedido de la función **show ()**.
- Los valores de los esfuerzos mecánicos para cada uno de los factores de seguridad no se exhiben explícitamente, esto con el motivo de facilitar la lectura del usuario y centrar la atención en los valores determinantes del modelado.
- Dado que los factores de seguridad son adimensionales y se hacen implícitos los esfuerzos, entonces, algunas celdas se presentan sin unidades, sin embargo esto se suple analizando con atención los datos introducidos en cada modelo y dichos datos si que están definidos en las primeras celdas del *script*.

```
## Datos básicos

# Declaración de una variable simbólica para el modelado:
var ('i')

# Fuerza [N]:
F=39.2

# Factor de conversión [deca] a [mega]:
j=10^6

# Limite elástico [N]:
S_y=80*j

# Desgaste [N/m²](implica la resistencia del PE, material con menores
propiedades que el nylon):
S_d=40*j

# Constante phi(rosca y tornillo iguales en material):
phi=1.8
```

```

# Coeficiente de fricción (Nylon/acero):
mu=0.4

# Angulo Acme:
alpha=14.5*(pi/180)

# Esfuerzo cortante octaedrico/von Mises:
S_ys=0.577*S_y

# Coeficientes Acme:
W_i=0.77
W_o=0.63

# Longitud tornillo [m]:
L=0.35

# Factor de conversión [in] a [m]:
i=(2.54/100)

```

El siguiente modelo permite estimar que valor de diametro nominal minimo en la tabla para tornillos ACME que se puede emplear.

```

# Diámetro medio o nominal [in]:
d_m=sqrt((2*F)/(pi*phi*S_d))
show(d_m.n(digits=4))

```

0.0005887

A continuación se dispone de los datos seleccionados de la tabla para tornillos ACME, (vease el documento del trabajo de grado para mayor información respecto a la referencia de dicha tabla).

```

## Datos de tabla [m]:

# Diametro mayor:
d=0.5*i

# Diametro medio:
d_m=0.45*i

# Diametro menor:
d_r=0.4*i

# Avance del tornillo := paso:
l=0.1*i
p=0.1*i

```

```
# Área de esfuerzo a tracción [m²]:  
A_t=0.142*(i^2);
```

Por lo tanto, después de obtener los datos anteriores se modelan los factores de seguridad, el torque requerido y las dimensiones, tal como se expone en las siguientes celdas.

```
# Longitud mínima de la tuerca o cuerpo roscado [m]:  
L_T=0.5*d  
show(L_T.n(digits=3))
```

0.00635

```
# Altura de trabajo del filete [m]:  
h=p/2  
show(h.n(digits=3))
```

0.00127

```
# Torque requerido [N*m]:  
a=d_m/2  
b=(mu*pi*d_m)/(cos(alpha))  
c=pi*d_m  
z=(mu*I)/(cos(alpha))  
T_s=F*a*((1+b)/(c-z))  
show(T_s.n(digits=3))
```

0.112

```
# Torque requerido [kgf*cm]:  
show((T_s/0.09806).n(digits=3))
```

1.14

```
## Factor de seguridad del núcleo del tornillo:
```

```
# Resistencia del núcleo:  
S_t=(-(F/A_t))  
S_sT=((16*T_s)/(pi*d_r^3))
```

```
# Factor de seguridad:  
N=sqrt(1/(((S_t/S_y)^2)+((S_sT/S_ys)^2)))  
show(N.n(digits=4))
```

77.47

El esfuerzo a cortante del tornillo no se analiza porque la longitud de este es mayor que el 50% de diámetro mayor (vease el documento del trabajo de grado para mayor información respecto a la referencia de dicho criterio), por lo cual se descarta ya que esto garantiza un factor de seguridad mucho mayor al de la tuerca, sin embargo se desea conocer el factor de seguridad para los filetes de la tuerca mínima (en longitud), en la proxima celda se analiza esto.

```
## Factor de seguridad a cortante en los filetes de la tuerca de longitud
mínima:

# Numero de filetes en contacto:
n_f=ceil((L_T/p)*0.5)

# Área total de la raíz del filete [m²]:
A_L_T=pi*d_r*(w_0*p)*n_f
S_sab=((3/2)*(F/A_L_T))

# Factor de seguridad:
N_ba=S_ys/S_sab
show(N_ba.n(digits=4))
```

80.19

El posterior constructo matemático permite ver el análisis realizado para la flexión en los filetes, tanto en el tornillo como en la tuerca o cuerpo roscado, exhibiendo explícitamente los respectivos factores de seguridad.

```
## Factor de seguridad en los filetes del tornillo:

# Flexión:
S_fl=(3*F*h)/(3.1416*d*n_f*(w_i*p)^2)

# Factor de seguridad:
N_flex_L=S_ys/S_fl
show(N_flex_L.n(digits=4))
```

94.34

```
## Factor de seguridad en los filetes de la tuerca:

# Flexión:
S_fT=(3*F*h)/(3.1416*d*n_f*(w_0*p)^2)

# Factor de seguridad:
N_flex_T=S_ys/S_fT
show(N_flex_T.n(digits=4))
```

63.15

Finalmete, se presenta la eficiencia mecánica que posee la solución analizada en este *script*, que se interpreta como un porcentaje.

```
# Eficiencia :  
e=(F*1)/(2*pi*T_s)  
show(e.n(digits=4))
```

0.1419

Correa y poleas del eje Y

El presente documento exhibe los cálculos efectuados para definir la correa del eje Y.

En primera medida se presentan a continuación los datos para el modelado del sistema, empleando como referencia el manual de intermec®.

Indicaciones para la lectura del *script*:

- Las unidades físicas empleadas a lo largo del texto se encuentran entre paréntesis cuadrados <[]>.
- Los comentarios se observan después del símbolo de almohadilla <#>.
- Los factores de conversión se emplean para ajustar ciertas cifras a las unidades correspondientes, que se indican entre paréntesis cuadrados, para este caso se usan solamente en la potencia.
- Los resultados específicos de algunas variables se presentan en azul antecedido de la función **show()**.
- Los valores aquí exhibidos son producto de la guía ofrecida por el manual de intermec, específicamente se sigue el protocolo de la página 10 (vease el documento del trabajo de grado para mayor información respecto a la referencia de dicho manual y del protocolo usado).

```
## Datos básicos:

# Par de torsión del motor [Nm]:
tau=0.31

# Velocidad angular del sistema [rad/s]:
omega=2.94

# Potencia del motor [HP]:
P=(tau*omega)/745.7

# Velocidad angular del sistema [RPM]:
w=28.07

# Diametro del eje del motor[in]:
d=0.197

# Distancia entre centros [in]:
var ('l')
l=10.5

# Relacion de velocidad
i=1
```


Después de determinar los datos anteriores se define la potencia de diseño, la cual se usa para hallar el paso mínimo de la correa, es decir, que a mayor potencia de diseño mayor será el paso de correa (*vease el documento del trabajo de grado para mayor información respecto a la referencia de la tabla que se usa a continuación*). El factor de servicio del diseño se puede observar en la página 11 del manual de intermec.

```
## Potencia del diseño [HP]:  
  
# Factor de servicio del diseño:  
fd=1.5  
  
# Potencia [HP]:  
Pd=fd*P  
show(Pd.n(digits=3))
```

0.00183

Acorde con el dato anterior, se determina el paso de la correa según la figura de la página 12 del manual de intermec (*vease el documento del trabajo de grado para mayor información respecto a la referencia de dicha figura*), no obstante el diseño exige un espacio entre diente y diente de la correa que facilite la conexión de ciertos elementos a esta, por lo tanto en lugar de seleccionar una correa de paso XL se usará una L.

```
# Paso estandar (L) de la correa de tiempo [in]:  
ps=3/8
```

Finalmente, el ancho de la correa se define a continuación, esto se hace según la tabla de la página 34 del manual de intermec (*vease el documento del trabajo de grado para mayor información respecto a la referencia de dicha tabla*).

```
## Ancho de la correa [in]:  
  
# Factor de capacidad para un ancho tentativo de correa (3/8 in):  
k=2.8  
  
# Capacidad de transmisión de potencia con un ps=3/8 in [HP]:  
C=k*P  
  
# Ancho definitivo [in]:  
Ac=P/C  
show(max(3/8, Ac.n(digits=3)))
```

$\frac{3}{8}$

A modo de resumen se describe el sistema que se definió con el anterior análisis:

- Dos poleas 12L.
- Una correa 255L.
- Distancia entre centros de 10,5 in.
- Ambos componentes con un ancho de 3/8 in.

Correa y poleas del eje Z

El presente documento exhibe los cálculos efectuados para definir la correa del eje Z.

En primera medida se presentan a continuación los datos para el modelado del sistema, empleando como referencia el manual de intermec®.

Indicaciones para la lectura del *script*:

- Las unidades físicas empleadas a lo largo del texto se encuentran entre paréntesis cuadrados <[]>.
- Los comentarios se observan después del símbolo de almohadilla <#>.
- Los factores de conversión se emplean para ajustar ciertas cifras a las unidades correspondientes, que se indican entre paréntesis cuadrados, para este caso se usan solamente en la potencia.
- Los resultados específicos de algunas variables se presentan en azul antecedido de la función **show ()**.
- Los valores aquí exhibidos son producto de la guía ofrecida por el manual de intermec, específicamente se sigue el protocolo de la página 10 (*vease el documento del trabajo de grado para mayor información respecto a la referencia de dicho manual y del protocolo usado*).

```
## Datos básicos:

# Par de torsión del motor [Nm]:
tau=0.31

# Velocidad angular del sistema [rad/s]:
omega=2.94

# Potencia del motor [HP]:
P=(tau*omega)/745.7

# Velocidad angular del sistema [RPM]:
w=28.07

# Diametro del eje del motor[in]:
d=0.197

# Distancia entre centros [in]:
var ('l')
l=17.25

# Relacion de velocidad
i=1
```

File failed to load: file:///C:/Users/HOGAR/Dropbox/TmbajoGrado/T/calculos/Correa%20y%20poleas%20del%20eje%20Z%20-%;

Después de determinar los datos anteriores se define la potencia de diseño, la cual se usa para hallar el paso mínimo de la correa, es decir, que a mayor potencia de diseño mayor será el paso de correa (vease el documento del trabajo de grado para mayor información respecto a la referencia de la tabla que se usa a continuación). El factor de servicio del diseño se puede observar en la página 11 del manual de intermec.

```
## Potencia del diseño [HP]:  
  
# Factor de servicio del diseño:  
fd=1.5  
  
# Potencia [HP]:  
Pd=fd*P  
show(Pd.n(digits=3))
```

0.00183

Acorde con el dato anterior, se determina el paso de la correa según la figura de la página 12 del manual de intermec (vease el documento del trabajo de grado para mayor información respecto a la referencia de dicha figura), no obstante el diseño exige un espacio entre diente y diente de la correa que facilite la conexión de ciertos elementos a esta, por lo tanto en lugar de seleccionar una correa de paso XL se usará una L.

```
# Paso estandar (L) de la correa de tiempo [in]:  
ps=3/8
```

Finalmente, el ancho de la correa se define a continuación, esto se hace según la tabla de la página 34 del manual de intermec (vease el documento del trabajo de grado para mayor información respecto a la referencia de dicha tabla).

```
## Ancho de la correa [in]:  
  
# Factor de capacidad para un ancho tentativo de correa (3/8 in):  
k=2.8  
  
# Capacidad de transmisión de potencia con un ps=3/8 in [HP]:  
C=k*P  
  
# Ancho definitivo [in]:  
Ac=P/C  
show(max(3/8, Ac.n(digits=3)))
```

$\frac{3}{8}$

A modo de resumen se describe el sistema que se definió con el anterior análisis:

- Dos poleas 12L.
- Una correa 390L.
- Distancia 17.25 in.
- Ambos componentes con un ancho de 3/8 in.