

Diseño de una estación de medición y análisis del proceso de engastado de cables

David Reyes López, María Concepción Chavarría Gaytán¹,
Noé Alba Baena¹, Francisco Estrada Orantes¹

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

El proceso de engastado de cables es un proceso de unión permanente en el cual el proceso es la sujeción de una terminal metálica, generalmente de latón o cobre a un cable formado de alambres generalmente de cobre y con un recubrimiento fabricado por algún polímero aislante (Dummer, 1969), la función de este ensamble es poder generar un contacto sólido y firme por el cual pase la corriente eléctrica y que a su vez tenga la flexibilidad y conductividad del cable, en vista de estas características se debe asegurar el no perder la conductividad eléctrica y mantener una fuerza mínima de retención para el desprendimiento del ensamble, por este motivo se debe de asegurar y conocer las mejores condiciones para que esto se pueda llevar a cabo, por tal motivo es que se lleva a la determinación de los valores óptimos para el proceso de engastado de cables. Los parámetros y la medición de las características a medir se concentran en la fuerza de jalón requerida para el desprendimiento y la altura asignada a los instrumentales que realizan el engastado, dando como resultado el diseño de una máquina capaz de realizar el desensamble y las mediciones de fuerza para el desprendimiento y el cálculo de la ecuación que describe el proceso, dicha máquina realizada en consideración del concepto y las funciones asignadas por los requerimientos anteriores y validada mediante un estudio del sistema de medición, con estas características se termina otorgando la capacidad de determinar la distancia de engastado puede tener el valor deseado de desprendimiento.

Palabras clave: conductividad eléctrica, engastado, sistema de medición.

Introducción

En la industria es común encontrar diversos procesos de manufactura los cuales podemos clasificar en diversos tipos tal como remoción de material, tratamiento de superficie, procesos de unión permanente y procesos de formado.

La separación de cada proceso radica en sus características, por ejemplo, están los de remoción de material que se caracterizan por remover una parte del material mediante una

herramienta de corte o un abrasivo (Mickel, 2007). En este tipo de proceso se encuentran el torneado, fresado, rectificado y esmerilado; los procesos de tratamiento de superficie se refieren esencialmente a aquellos procesos que no realizan cambios aparentes en la geometría de la materia prima a la que se le está realizando el tratamiento, se realizan con fines como limpieza, recubrimiento aislantes, recubrimientos hidrofóbicos u otras

aplicaciones. Los procesos de unión permanente son aquellos que tienen el fin de mantener dos piezas diferentes una junto a la otra, estos procesos están comprendidos por soldadura, remachado, uniones por pegamento y uso de tornillos. Por último, tenemos la clasificación de los procesos de formado que son aquellos que cambian la geometría de la pieza a trabajar, sin remoción de material (Kalpakjian, 2008). Generalmente, este proceso involucra cambios en las características físicas del material, tal como la dureza y la resistencia, en esta rama se encuentran los procesos de extruido, prensado, laminado y rolado entre otros.

En el caso particular de esta investigación se estará trabajando sobre el proceso de engastado, perteneciente a la rama de los procesos de formado como se mencionó anteriormente. En este ambiente, el proceso se debe diseñar para dar los mejores resultados con el menor consumo de energía y con la necesidad de hacer las menos pruebas posibles para asegurar la integridad del producto una vez que está en el campo.

Con la descripción anterior es que se debe considerar desde el diseño del producto los factores que pueden contribuir al éxito o fracaso del ensamble con lo que respecta al proceso, ya que como práctica común existe una desconexión entre diseño y proceso, colocando especificaciones que no cumplen con la capacidad que el producto puede dar. Por esta razón es que en la etapa de prototipos y en las validaciones del diseño se debe incorporar al departamento de manufactura para que determine los

parámetros bajo los que va a trabajar. Una vez expuesto estos puntos se consideró necesario analizar el proceso mediante el cual es definido el proceso de engastado el cual se muestra en la figura 1, donde cada una de las etapas se muestra a continuación:

Se hacen muestras del ensamble terminal-cable con incrementos en la posición del dado de engastado hasta conseguir una compresión del 15%.

Se generan 5 grupos con 60 repeticiones cada grupo con incrementos de 0.05mm.

Se le realiza prueba de jalón entre terminal y cable a 20 piezas de cada grupo.

Se buscan 3 grupos consecutivos en los que no falle ninguna prueba.

Se evalúa si cumplió con el paso anterior, de no ser así se regresa a realizar la operación 2 con incrementos de 0.03mm, 0.02mm y 0.01mm según la iteración en que se encuentre.

Se mide compresión y se establecen parámetros.

Se valida el resultado

En dicho proceso se encontró la debilidad de que se necesitan cuando menos 110 piezas para poder definir una especificación poder trabajar en producción y que a su vez los límites de las tolerancias se encuentran dadas por 3 valores consecutivos, lo que significa dan un valor nominal, bajo y alto con el mismo espacio entre sí, pero que a su vez no necesariamente forman todo el rango sobre el que puede trabajar el proceso para

cumplir con las especificaciones de cada cable teniendo así el desconocimiento de toda la parte funcional de los parámetros.

1.1 Definición del problema

Con la información proporcionada anteriormente se desglosan dos problemas específicos los cuales son:

El proceso para determinar los parámetros para un buen engastado requiere una muestra en la que la mayoría de las piezas no tienen relevancia en el análisis, este número equivale a por lo menos 110 piezas.

Los límites que se proporcionan para realizar el proceso no reflejan el máximo o el mínimo valor posible sino más bien valores que avanzan de una manera discreta en intervalos predefinidos de 0.05mm, .03mm o uno menor según la iteración en que se hayan definido.

Objetivo general

Debido a que el método para determinar una especificación para el proceso de engastado para cualquier cable y para cualquier terminal es el mismo, se seleccionó un cable y una terminal específicos los cuales son cables de calibre 16 AWG¹ (calibre de alambre estadounidense) o de sección transversal de 1.3 mm² y una terminal de barril abierto compatible con calibres desde 18 AWG hasta 14 AWG (0.82mm² a 2.1mm²), al cerrarse el objeto de estudio a estos dos componentes es que se puede tomar el valor de 120N como valor mínimo

¹ American wire gauge

al que debe desprenderse el ensamble de cable terminal, este valor tomado de la especificación de Molex para engastado de cables (Jennings, 2014).

Una vez definida la especificación es que se puede describir el objetivo general el cual es determinar los parámetros de engastado que cumplan una fuerza de retención mayor a 120N en el ensamble de cable calibre 16 con terminal compatible entre calibre 18 AWG y 14 AWG, además de determinar el máximo y mínimo valor de los parámetros de proceso por encima de 120N con una cantidad mayor a 3 valores en el ensamble de cable calibre 16 AWG con terminal compatible entre calibre 18AWG y 13 AWG.

Hipótesis

Extrayendo la información del objetivo general se generan las hipótesis las cuales quedan para la fuerza de retención como:

$$H_0: \text{Fuerza de retencion} \geq 120N$$

$$H_1: \text{Fuerza de retencion} < 120N$$

Y para la definición de parámetros como:

$$H_0: \text{Parametros de proceso definidos} \leq 3 \text{ valores distitos}$$

$$H_1: \text{Parametros de proceso definidos} > 3 \text{ valores distitos}$$

Materiales

Los materiales utilizados para la realización del proyecto son:

Estadística inferencial para la determinación de los parámetros de una muestra de la retención del proceso actual de engastado.

CAD (Solid Works) para el modelado de las diferentes partes que componen el diseño de la máquina para realizar la prueba de retención del ensamble cable-terminal y las geometrías que se utilizaran para el análisis de elemento finito.

CAE (Abaqus) para el análisis de esfuerzos en el material de los componentes que están sometidos a esfuerzos tanto en la máquina en si como en los que lo sufren al momento de realizar el proceso de jalón.

Análisis de regresión para definir la relación que existe entre la unidad medible o tangible del elemento de medición de fuerza y el valor de fuerza mostrado, para definir la relación que existe entre el factor tangible del elemento de medición de longitud y el valor real de longitud y para determinar la

ecuación que describa el proceso de engastado con respecto a las variables controlables.

Prueba de normalidad para determinar si las mediciones corresponden a un proceso normal.

Gráfico de medias y rangos para determinar la estabilidad de las mediciones hechas a lo largo del tiempo de la estación diseñada.

Estudio de repetibilidad y reproducibilidad del sistema de medición para determinar si la variación del sistema hombre-máquina-proceso es aceptable.

Estudios de linealidad y bias para conocer si las mediciones permanecen constantes a lo largo del rango de medición del instrumento.

Prueba t de Student para realizar la comparación de medias de que el valor medido es mayor a 120N.

Estudio de capacidad para validar que los parámetros seleccionados cumplen con el objetivo de una fuerza mayor a 120N.

Metodología

El método a seguir para el diseño de la estación de medición y el análisis del proceso de engastado se muestra en la figura 2, en donde básicamente se pasa por el análisis del diseño conceptual para definir de forma clara los conceptos y requerimientos necesarios para que la estación de medición pueda realizar cada acción requerida,

después pasa por el diseño funcional en el que basándonos en los conceptos descritos se definen las funciones a ser cumplidas y realizadas por la estación para poder ser funcional para el propósito que es creada, en este caso el sistema de medición de la máxima fuerza de retención del ensamble cable terminal y la caracterización del

proceso de engastado. Una vez que se tiene esto el método pasa a la creación de modelos en los que se evaluarán las funciones y requerimientos en los cuales al ser satisfactorios pasarán a la realización del prototipo el cual deberá ser evaluado el sistema de medición para corroborar que el

equipo es capaz de realizar mediciones de las características a ser evaluadas, una vez que se han cumplido todos estos pasos de manera ordenada y satisfactoria es que se pasa a la etapa de validación y por último de liberación del equipo.

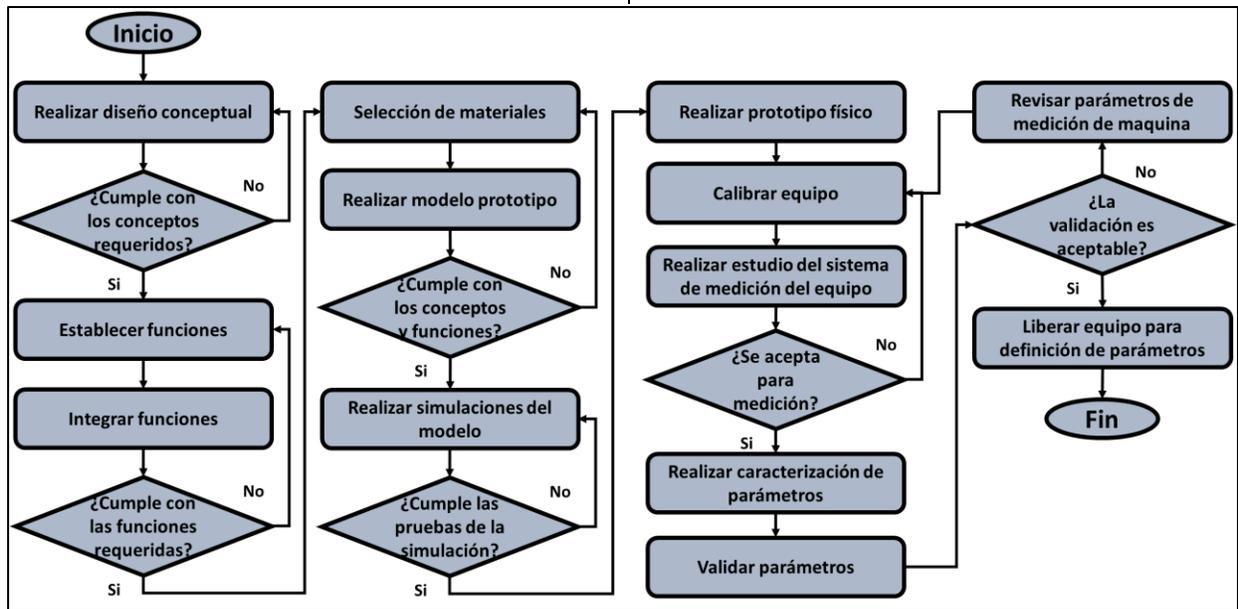


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología para el diseño de una estación de medición y análisis del proceso de engastado.

Como se observó en la figura 2 cada etapa de importancia tiene su sección de evaluación en la que si no se satisface el requerimiento se pasa a realizar nuevamente la sección o secciones que requieren ser reevaluadas.

Realizar diseño conceptual

Para dar inicio con lo que es el desarrollo de la metodología se realiza lo que es el análisis funcional del sistema, en el que se toma en cuenta que es lo que se busca de una manera

muy genérica a fin de restringir el modelo solo a todo aquello capaz de cumplir los conceptos, para cumplir con este punto y el del análisis del cumplimiento de los conceptos requeridos se llegó a la integración de conceptos, en las que se requiere tanto un medio de medición de fuerza como de medición de longitud, el elemento de medición de fuerza debe ser estático, se requiere un elemento de sujeción de la terminal el cual solo debe sujetar la terminal y nada más, el elemento de medición de distancia debe estar integrado a

una parte móvil en la cual se debe efectuar la sujeción del cable y permitir movimiento en una sola dirección, la cual debe ser normal a la sujeción del cable y teniendo a su vez restricción en la rotación de cualquier eje.

Diseño funcional

Esta etapa se encuentra comprendida por los pasos de establecer las funciones, integrar funciones y la evaluación del cumplimiento de las funciones requeridas, para dar una mejor representación de estas funciones se incluyó a esta etapa la selección de materiales obteniendo como resultado la integración de funciones y materiales. Las funciones que se cumplieron van de la mano con los conceptos establecidos, el análisis funcional y material seleccionado se encuentra resumido en la tabla 1, donde se encontraron 7 funciones a cumplir que cumplen con los 9 conceptos descritos en el

análisis funcional, en la tabla se puede apreciar que de los diferentes materiales que podían cumplir con la función y que por ende eran una opción elegible se seleccionó el del prototipo de manera que fuera el que cumpliera de una manera óptima el requisito del concepto, dando como resultado las bases para la creación de modelo que describirá la integración funcional, optimizando recursos y otorgando un porque a cada componente antes de llegar al prototipo físico.

En la figura 4 se puede observar la integración funcional de cada uno de los materiales seleccionados a modo de describir como debe de ser modelado el prototipo y a su vez da pie a que debe ser analizado.

Tabla 1. Análisis funcional del diseño de la estación de prueba de la fuerza de retención del ensamble cable-terminal.

Concepto	Función	Objeto	Opción de material	Selección
Aparato de medición	Medir fuerza de ensamble	Ensamble de cable terminal	Celda de carga	Celda de carga
			Piezoeléctrico	
			Resorte	
Aparato de medición	Medir recorrido del cable	Ensamble de cable terminal	Transductor de voltaje lineal	Potenciómetro-engranes
			Potenciómetro-engranes	
			regla digital	
			regla manual	
Sujeción	Restringir el movimiento en la dirección del jalón	Terminal	Prensa	Orificio
			Tornillo	
			Pinzas	
			Orificio	
Sujeción	Restringir el movimiento en la dirección del jalón	Cable	Prensa	Orificio
			Tornillo	Prensa
			Pinzas	
			Orificio	
Jalón	Movimiento lineal	Cable	Balero lineal	Balero lineal
			Riel y carretilla	
			Cuerda-alambre	
			Unión cola de milano	
Generador de movimiento	Fuerza para separar los cables moviendo el elemento de jalón	Sujeción del cable	Mano	Motor
			Pistón	
			Motor	
			Torno	
Datos	Almacenar datos mediante una interfaz	PC	PIC	Arduino
			Arduino	
			Manual-persona	

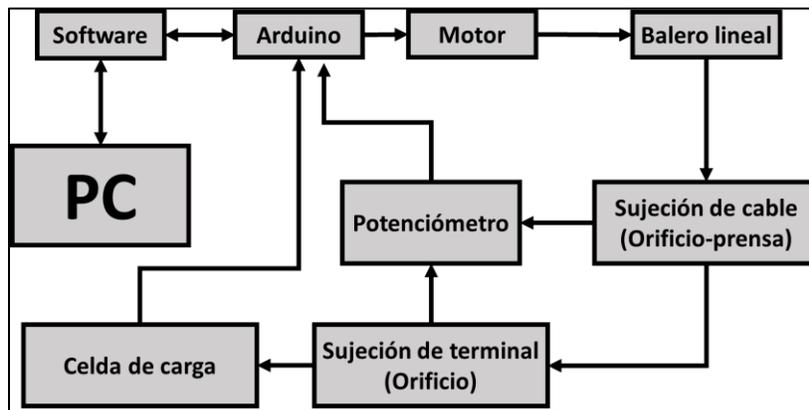


Figura 4. Integración del diseño funcional representado por los materiales escogidos para el cumplimiento de cada función en el diseño de la estación de prueba de la fuerza de retención del ensamble cable-terminal.

Simulaciones y modelo prototipo

Una vez que se han definido las funciones se pasó a la realización y análisis del modelo en el que se analizó que el torque del motor fuera suficiente para realizar el desensamble de la terminal del cable y que la celda de carga fuera lo suficientemente resistente para soportar la carga de la especificación de 120 N, los cálculos muestran que el motor es capaz de ejercer una fuerza de 1529.8N en la dirección del desensamble de la terminal por lo que le da un factor superior a 11 para ejercer fuerza sobre el ensamble.

Con lo que respecta a la celda de carga se realizó el análisis de elemento finito en el cual se determinó que a 120N la celda aun no llegaba a su esfuerzo de cedencia, el cual si era alcanzado a los 240 N por lo que al realizar una interpolación se encontró que el esfuerzo de cedencia era alcanzado a los 180N por lo que el ensamble no debe superar esta cantidad,

Con todo esto terminado se procedido a la presentación del modelo ya como prototipo y a la realización del prototipo físico dando como resultado lo mostrado en la figura 5.

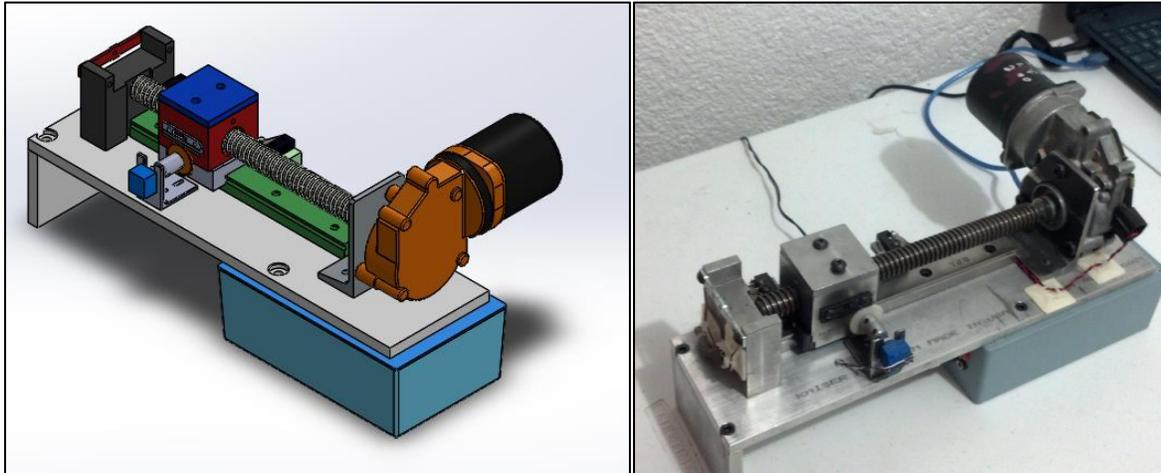


Figura 5. Modelo y prototipo físico de la estación de prueba de la fuerza de retención del ensamble cable-terminal.

Análisis del sistema de medición.

Una vez que se analizó el modelo se procedió con la realización del prototipo físico mostrado en la figura 8, el cual cumple de manera detallada lo presentado en el modelo de la figura 7.

Para revisar que el aparato funcionaba de manera correcta se procedió al análisis del sistema de medición con lo que se programaron los valores de las unidades que habría de medir, y se realizó el estudio

dando como resultado los valores de la tabla 2, en el cual se puede apreciar que a pesar de haber tenido un porcentaje de la variación aceptable en la medición de longitud se vio una oportunidad de mejora por lo que se procedió a realizar un estudio de regresión para ajustarse más al modelo y después realizar la segunda iteración.

Tabla 2. Resultados del estudio del sistema de medición para la celda de carga y el potenciómetro (medidor de longitud).

elemento	Estudio	Parámetro	Valor		
			1	2	3
Celda de carga	Normalidad	Valor P	0.15		
	Estabilidad	Grafico X-R	Bien		
	GRR	% del estudio de variación	28.77	20.35	8.87
	Linealidad	% linealidad	1.9		
	Bias	Valor P	0.087		
Potenciómetro	Normalidad	Valor P	>.1		
	Estabilidad	Grafico X-R	Bien		
	GRR	% del estudio de variación	0.35		
	Linealidad	% linealidad	1.8	0.1	
	Bias	Valor P	0	0.002	

Validación del equipo

Como último paso de la metodología se procedió a la validación del equipo en el que se realizó una corrida con 5 piezas con 6 diferentes parámetros de engastado, para tener un total de 30 mediciones las cuales dieron como salida del software la siguiente función.

$$\text{Fuerza de jalon (N)} = - 222.8 + 356.1 \text{ Altura (mm)}$$

Con esta función se hizo una corrida de 30 piezas a 120N dando una media de 123.9N y una desviación estándar de 9.95N

Figura 6. Estadísticos de la validación de la prueba.

Se calcularon los parámetros a los cuales el engastado es aceptable y tomando el valor de la desviación estándar del valor más próximo es que se calculó el tamaño de muestra para una validación de la media con una tolerancia de más menos 5N, se revisó que estos datos fueran normales y se realizó el estudio de capacidad del proceso obteniendo los siguientes resultados.

$$n = \left(\frac{\sigma(1.96)}{e} \right)^2 = \left(\frac{(9.95)(1.96)}{5} \right)^2 = 15.2 \approx 16 \quad (2)$$

Con esto se realiza una corrida más a 4 desviaciones estándar por encima de 120N lo que hace que busquemos el valor objetivo

de 160N, se hace una corrida de 24 piezas que da como resultado un Cpk de 1.32

3.6 Alcances

El alcance del proyecto es el haber obtenido los parámetros de procesos capaces de cumplir con una fuerza de retención mayor a 120N y valores en los que son funcionales estos parámetros dados de una manera continua ofreciendo más de 3 valores distintos de operación para el ensamble de cable calibre 16 AWG y terminal compatible con calibre de 18 AWG a 12 AWG.

El desarrollo de una estación capaz de dar los parámetros de proceso para el engastado de cables.

3.7 Delimitaciones

Solamente se realizó la caracterización de los parámetros de proceso para el ensamble de cable calibre 16 AWG y terminal compatible con calibre 18AWG a 12 AWG esto debido a que la validación se realizó con esta terminal únicamente, no restringiendo el equipo a solamente el uso en estas condiciones.

El estudio se centró en el factor de la distancia de los herramientales al momento de realizar el engastado por lo que los demás factores que podían tener relevancia no fueron considerados, esto no significa que no puedan ser calculados y caracterizados en futuras adecuaciones a la estación de medición.

Resultados

Se pudo obtener una ecuación dentro de los cuales el número de valores posibles para los parámetros es mayor a 3 por lo que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que se tienen menos de 3 valores para los parámetros de proceso.

Los parámetros propuestos para el proceso de engastado dan como resultado una retención mayor a 120N por lo que no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, dando con esto la comprobación y éxito de los objetivos planteados al inicio del proyecto.

Conclusiones

De este proyecto se puede concluir que el trabajar y afrontar de una manera ordenada mediante la formulación de una metodología cualquier tipo de problema llevará a su solución mediante el seguimiento del

método, esto da una pauta para la forma en que deben atacarse los problemas así como el enfoque y tipo de análisis necesario antes de iniciar a dar posibles soluciones al problema.

Referencias

Dummer, G. (1969). *Electronic connection techniques and equipment*. Londres: Pergamon press.

Jennings, B. (2014, 07 08). *Molex application specification*. AS-33012-002. Molex.

Kalpakjian, S. (2008). *Manufactura ingeniería y tecnología*. Mexico: Pearson education.

Mickel, G. (2007). *Fundamentos de la manufactura moderna*. Mexico: McGraw Hill.