

Mejora continua del proceso de Electrospinning por medio del Análisis de Procesos: Caso de Estudio CU UAEM Valle de México

MARZANO-PÉREZ, Ingrid†, LÓPEZ-JUÁREZ, Ximena, GONZÁLEZ-MORÁN, Carlos Omar y GAVIÑO-ORTÍZ, Gabriela

Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario # 100. C.P. 50000 Col. Centro

Recibido 6 de Julio, 2017; Aceptado 9 de Septiembre, 2017

Resumen

Se tiene como misión el innovar e implementar nuevas tecnologías con conocimientos adquiridos de nuestra formación, aplicándolo en el desarrollo de la máquina de electrospinning. Iniciamos por la producción de biotecnología con la preparación y proceso de la solución de Difluoruro de Polivinilideno (PVDF) con el diluyente Dimetilformamida (DMF). Este proceso se emplea a alto voltaje realizando un campo electrostático, este atraerá partículas de la solución o fluido polimérico formando un cono inyector hacia una superficie recolectora la cual formara y solidificara partículas micro y nanofibras, las cuales formaran membranas.

Electrospinning, membranas, PVDF, DMF, Análisis de proceso

Abstract

Its mission is to improve, create, innovate and implement new technologies with the knowledge acquired from our training, applying it in the development of the electrospinning machine. In this case we started with the production of biotechnology with respect to the preparation and processing of the solution of Polyvinylidene Difluoride (PVDF) with a thinner material such as Dimethylformamide (DMF), as well as the construction of a prototype electrospinning machine. This process employs high voltage for an electrostatic field, which will attract particles from the solution or polymeric fluid thus forming an injector cone towards a collecting surface which will form and solidify micro and nanofibres particles, which in turn will form membranes

Electrospinning, membranes, PVDF, DMF, process analysis

Citación: MARZANO-PÉREZ, Ingrid, LÓPEZ-JUÁREZ, Ximena, GONZÁLEZ-MORÁN, Carlos Omar y GAVIÑO-ORTÍZ, Gabriela. Mejora continua del proceso de Electrospinning por medio del Análisis de Procesos: Caso de Estudio CU UAEM Valle de México. Revista de la Invención Técnica 2017. 1-3:24-33

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La importancia principal de presentar este trabajo es contribuir a mejorar el proceso de electrospinning a través del mejoramiento continuo con el propósito de contar con procesos más productivos y competitivos en las organizaciones, se analiza el proceso utilizado, de manera tal que si existe algún inconveniente pueda mejorarse o corregirse; como resultado de la aplicación de esta técnica puede ser que las organizaciones crezcan dentro del mercado y hasta llegar a ser líderes.

La mejora continua es un concepto simple que puede ser aplicado a cualquier mejora en el ámbito de la producción: costes, calidad, flexibilidad y productividad (Bessant J., 1993).

La mejora continua, las buenas prácticas, técnicas o estrategias están basadas en la participación de todas las personas, fundamentalmente de los operarios a lo largo y ancho de la organización. La mejora continua (MC) constituye una estrategia muy importante para apoyar la competitividad a través de la innovación incremental en la generación de pequeños cambios, que otorguen un valor agregado en los procesos, permitiendo la reducción de costos y mejorar el valor ofertado al cliente (García-Sabater, 2009).

Justificación

La técnica de electrospinning ha sido estudiada durante los últimos años, en los cuales se dio el conocimiento de poder crear fibras en escala micro y nanométricas para aplicaciones biomédicas en donde se aportarán distintos elementos con una gran variedad de características como: amplia superficie por unidad de área, porosidad y una serie de propiedades mecánicas, siendo útil a nivel biotecnológico.

La técnica será muy fácil de ensamblar lo que permitirá procesar una gran variedad de polímeros e integrar nuevos materiales, sin embargo, se encontraran variabilidades que influyen en las características de los elementos a obtener, ya sea por características del material o por su desempeño relacionado en el proceso.

Esta técnica de igual manera es aplicada por Wilber Alberto Afanador Rogriguez, estudiante de la Universidad Nacional de Colombia, a través de la Asociación Internacional para el Intercambio de Estudiantes para Experiencia Técnica(Laeste), quien es parte del laboratorio de física del plasma de ingeniería física de la UN de Amanizales, en donde estuvo desarrollando la técnica de caracterización de materiales (observe la figura 2) llamada Microscopia de fuerza atómica conductiva (C-AFM), por lo cual ser le conoce en profundidad sobre la conductividad de materiales sólidos y líquidos. Esta técnica puede ofrecer de manera silmutánea imágenes con información superficial (rugosidad en la superficie). “Asimismo experimenté la técnica de *electrospinning* utilizada para realizar nanofibras, aplicándola de manera vertical con una diferencia de hasta 30 ó 40 mil voltios.” Explicó el estudiante, con la utilización de este tipo de técnica (*electrospinning*) se obtienen nanofibras de materiales poliméricos, aplicados en campo biomédico en caso de regeneración de piel”, así concluyó Wilber Rodríguez.

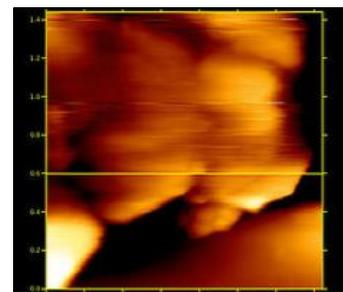


Figura 2 Técnica de caracterización. Fuente: Ilustración de técnica de caracterización de materiales

Actualmente en México se ha dado uso de esta técnica en el ámbito textil y de recubrimiento en aceros, pero en la medicina es aun algo innovador.

En el Centro Universitario UAEM Valle de México se pretende ser pionero en la fabricación de una máquina prototipo de electrospinning implementando la técnica con el Polímero PVDF (Difluoruro de Polivinilideno), debido a los alcances que pueden tener las nano fibras en el mercado y el beneficio a la sociedad.

Esta tecnología no se encuentra dentro del campus por lo cual lo hace importante e innovador, tener el conocimiento de esta técnica la cual se pretende desarrollar. Con la implementación de esta máquina de electrospinning pudieran ser un impulso para el desarrollo industrial, médico y el conocimiento de nuevos materiales biocompatibles para los estudiantes de Ingeniería Industrial.

Problema

Actualmente se han presentado problemas en la salud por la reacción de los medicamentos y su lenta recuperación de las personas al sufrir alguna quemadura en su cuerpo. El costo de su tratamiento o evolución de su herida es en algunos casos muy costoso y tardado, ya que la reconstrucción del miembro más grande del cuerpo humano, como es la piel, es un tanto complicada. Se sabe que la mayor causa de accidentes de quemaduras es en el hogar y los más afectados son los niños, por lo que se pretende darles una solución innovadora, rápida y sencilla, brindándoles una mejor calidad de vida a todas aquellas personas que sufren de una quemadura.

Los procesos que se llevan a cabo en los hospitales no son tan actuales, por eso mismo se creara esta nueva solución para desarrollar fibras que puedan ayudar a crear una recuperación más fácil y rápida en los pacientes con quemaduras de cualquier grado.

Hipótesis

Implementar el funcionamiento correcto de la máquina prototipo de electrospinning, para poder desarrollar nuestras nanofibras que nos ayuden a crear un injerto para el cuerpo humano y tener un resultado favorable al aplicarlo, brindando una mejor calidad de vida para el paciente y cuidando cada detalle en la salud de este mismo.

Implementando novedosas aportaciones a la sociedad, como prótesis de otros miembros del cuerpo humano y desarrollando nuevas y mejores practicas al elaborar esta gran herramienta para la medicina y la biotecnología, con ayuda de procesos de calidad y confiabilidad en el proceso.

Objetivos

Objetivo General

El objetivo de esta revisión es lograr células de manera eficiente, para crear tejidos de piel a nivel nanométrico, para gente que sufrió algún tipo de quemadura.

El objetivo fundamental del proyecto es: diseñar y construir una máquina de "Electrospinning" para reducir el impacto económico que representa este tipo de máquinas para la manufactura del polímero PVDF, manteniendo la eficiencia y calidad que manejan las diversas máquinas que ya existen en el mercado.

De igual forma nuestro objetivo fundamental es la utilización del polímero PVDF, para demostrar que con este mismo se puede regenerar la piel en personas que han sufrido quemaduras.

Objetivos específicos

- Diseñar la máquina con las medidas necesarias,
- Realizar pruebas, asegurándonos que funciona correctamente.
- Hacer diferentes pruebas piloto con el fin de obtener conocimientos básicos de la técnica para fines académicos.
- Realizar pruebas con el fin de obtener nano fibras para estudiar sus características.
- Evaluar las propiedades de las muestras por medio de Espectroscopio de Impedancia electroquímica EIS.
- Desarrollar a la maquina de electrospinning una mejora para poder manipular los parámetros especificados de la membrana teniendo en cuenta los factores ambientales y de la solución que se pueden presentar al elaborar las membranas.
- Aplicar herramientas de calidad que ayuden al funcionamiento y elaboración del prototipo y el producto final que es nuestra membrana.

Revisión de la Literatura

Ciclo de mejora continua de la calidad

A partir del año 1950, habitualmente Deming empleó el Ciclo de Mejora Continua (figura 3), o también conocido como Ciclo de Planear, Hacer, Verificar y Actuar, PHVA como introducción a todas y cada una de las capacitaciones que brindó a la alta dirección de las empresas japonesas. De allí hasta la fecha, este ciclo (que fue desarrollado por Shewhart), ha recorrido el mundo como símbolo indiscutido de la Mejora Continua. Las Normas NTP-ISO 9000:2001 basan en el Ciclo PHVA su esquema de la Mejora Continua del Sistema de Gestión de la Calidad. (Cuatrecasas, 2010)

La mejora continua en un proceso deber ser una actividad recurrente para aumentar la capacidad para cumplir los requisitos" siendo los requisitos la "necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria". (ISO 9001:2015, 2016).

Las fases que se llevan a cabo en la mejora continua de los procesos son:

1. Análisis y evaluación del contexto actual
2. Objetivos para la mejora.
3. Implementación de posible solución.
4. Medición, verificación, análisis y evaluación de los resultados de la implementación.
5. Formalización de los cambios.

Posteriormente se verifican los resultados obtenidos y se detectan, si es que existen oportunidades de mejora. La mejora es una actividad continua, y parte de la información recibida del propio sistema y de los clientes, el ciclo PHVA es un ciclo que esta en pleno movimiento.

Que se puede desarrollar en cada uno de los procesos. Está ligado a la planificación, implementación, control y mejora continua, tanto para los productos como para los procesos del sistema de gestión de la calidad. (García M, 2003).



Figura 3 Circulo de Deming.

En estos últimos años dentro de las organizaciones se han implementado y perfeccionado diferentes estrategias de mejora continua que concentran su esfuerzo en procedimientos puntuales consiguiendo mejoras en un corto plazo con resultados visibles y la reducción de productos defectuosos.

Derivado de lo anterior se obtiene el incremento de la productividad y se dirige a la organización hacia la competitividad, lo cual es de vital importancia para las actuales organizaciones.

La adaptación de los procesos a los avances tecnológicos permite eliminar procesos erróneos o repetitivos utilizando herramientas y técnicas de calidad para el análisis y las pequeñas mejoras. Una mejora continua de la calidad exitosa depende de la capacidad de identificar, priorizar y resolver problemas; un problema es una desviación entre lo que debería estar ocurriendo y lo que realmente ocurre, y que sea lo suficientemente importante para hacer que alguien piense en que esa desviación debe ser corregida (Cárdenas Gomez L, 2007).

Requisitos de la mejora continua

Para su adecuado desarrollo, la mejora continua requiere que se cumplan algunos aspectos en el ambiente de trabajo, como los que se mencionan a continuación:

- Apoyo en la gestión.
- Retroalimentación (Feedback) y revisión de los pasos en cada proceso.
- Claridad en la responsabilidad.
- Poder de decisión para el trabajador.
- Forma tangible de realizar las mediciones de los resultados de cada proceso.
- La mejora continua como una actividad sostenible en el tiempo y regular y no como un arreglo rápido frente a un problema puntual.
- Proceso original bien definido y documentado.
- Participación de los responsables del proceso.
- Transparencia en la gestión.
- Cualquier proceso debe ser acordado, documentado, comunicado y medido en un marco temporal que asegure su éxito.

SOTools ayuda a la implementación y seguimiento del ciclo de Mejora Continua

La Plataforma Tecnológica ISOTools en todas sus variedades, está basada en el ciclo de Mejora Continua, de manera que permite el avance hacia la Excelencia.

ISOTools ayuda a las organizaciones a alcanzar su máximo rendimiento gracias a una gestión y compartición del conocimiento dentro de una cultura general de aprendizaje, innovación y mejora continua.

Con ayuda de la lógica del ciclo PHVA (Planear – Hacer – Verificar – Actuar), ISOTools está diseñado para hacer más efectivo el diagnóstico del Sistema de Gestión implantado en la empresa, convirtiéndose en una herramienta perfecta para disminuir tiempos y costos asociados a esta gestión e invertir en mejora continua.

Marco Teórico de el Electrospinning

Electrospinning: Es una técnica para la fabricación de fibras, la cual está basada en una serie de conceptos electromagnéticos, como la carga electrostática, en donde una solución generalmente polimérica se ve inducida por este efecto (figura 4), y da como resultado fibras de diversos tamaños, obteniendo así productos finos de hasta unos cuantos nanómetros de espesor.

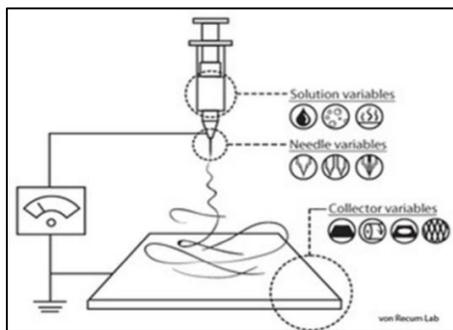


Figura 4 Demostración del electrospinning.

Cono de Taylor: Cono observado en el electrospinning, electrospaying y los procesos hidrodinámicos del chorro de partículas cargadas que emana por encima de un umbral de tensión en el spray.

Aparte de la espectrometría de masas de ionización por electrospray el cono de Taylor es importante en los propulsores de coloides y FEEP utilizados en el control fino y alta eficiencia (baja potencia) del empuje en la nave espacial.

Diódos: Es un componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica (observe figura 5), a través de él en un solo sentido.



Figura 5 Diódos.

Fuente: Ilustración de diódos previamente soldados para crear circuito.

Capacitores: Es conocido como condensador eléctrico, es un dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico. Está formado por un par de superficies conductoras, generalmente en forma de láminas o *placas*, en situación de influencia total (esto es, que todas las líneas de campo eléctrico que parten de una van a parar a la otra) separadas por un material dieléctrico o por el vacío, tal y como se muestra en la figura 6.

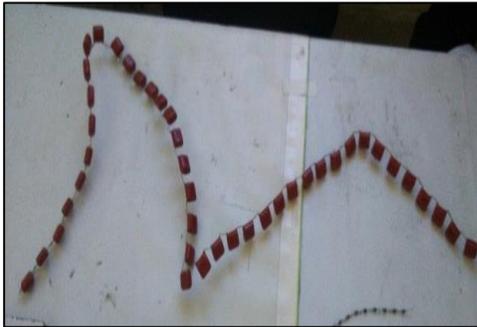


Figura 6 Capacitores Cerámicos

Fuente: Ilustración de condensador eléctrico o capacitor, que es usado para almacenar energía, soldado para posteriormente su colocación al circuito que se integrara al recinto.

Variac: Es un transformador toroidal que tiene bobinada la última capa de forma de aparente como un gran reostato, sobre esa capa que tiene el esmalte superficial de la parte superior quitado, desliza un contacto, variando el número de espiras de esa forma (mecánica como un reostato, pero eléctrica como un trafo de espiras variables) puedes variar la tensión.

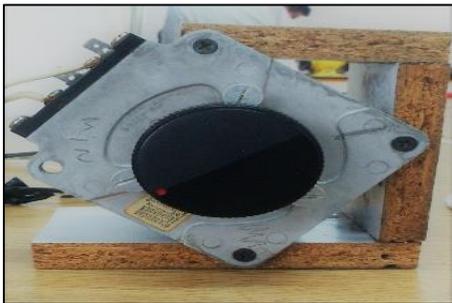


Figura 7 Variac.

Fuente: Ilustración de variac antes de ser colocado en el recinto.

Transformador: Es un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia, como se muestra en la figura 8.

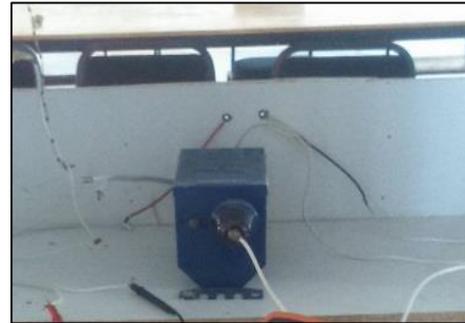


Figura 8 Transformador

Fuente: Ilustración de transformador dentro del recinto.

Mejora continua: Es una filosofía que intenta optimizar y aumentar la calidad de un producto, proceso o servicio.

Diagrama de tortuga/ análisis de proceso: Describe los distintos tipos de pasos que se asocian a un proceso en particular. Identifica los pasos que le agregan valor (es decir, trabajo) y los que no lo hacen (desperdicio).

Quemadura: son un tipo de lesión traumática causada por agentes térmicos, eléctricos, químicos o radioactivos, tal y como se puede apreciar en la figura 9, que es clasificada según el grado, el cual es determinado por su localización en el cuerpo y la profundidad a la que llega a la piel, (figura10).



Figura 9 Quemaduras.

Fuente: Ilustración de una quemadura en mano

Una quemadura grave puede ser terriblemente devastadora, pero no sólo en el plano físico, sino también en el emocional, pudiendo llegar a originar depresión, pesadillas, recuerdos del momento traumatizante, etc. Afecta a la persona que lo sufre y a toda la familia, ya que pueden perder ciertas capacidades físicas, quedar desfiguradas, perder movilidad, sufrir infecciones, etc.

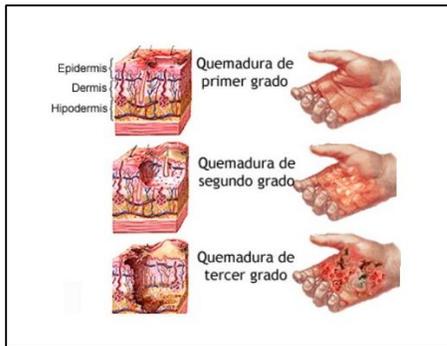


Figura 10 Tipos de quemadura.

Fuente: Ilustración con los distintos niveles de quemadura.

Metodología de la mejora continua en el proceso de electrospinning

Para desarrollar esta investigación de la mejora continua del proceso de electrospinning, se utiliza el enfoque de análisis de proceso o diagrama de tortuga que semuestra en el diagrama 1. Utilizando el método cuantitativo.

La metodología de análisis de procesos implica identificar:

Fase [1] Entrada:(Planear)

¿Quién realiza las actividades?, ¿Quiénes son los Proveedores?, ¿Cuál es la Información que se requiere para iniciar el proceso?, ¿Qué recursos y equipo se necesita para lleva a cabo el proceso? ¿Cuál es la fuente bibliográfica, manuales o lineamientos, registros, mapas que debe seguir el proceso?

Fase [2] Actividades del Proceso:(Hacer). Descripción secuencial de cada una de las etapas del proceso.

Fase [3] Salida. (Verificar).

- Qué recursos se necesitan para llevar a cabo las actividades del proceso
 - Cliente final y servicio del cliente
 - Medición y Evaluación (efectividad del proceso).
- Fase [4] Mejora continua. (Actuar).
- Actividades que mejoren el sistema
 - ¿Qué herramientas se van a utilizar para la mejora del sistema?
 - Métodos y Técnicas para llevar a cabo.
 - Revisión de mediciones y tomar acciones en base a ellas.

A continuación se presenta el diagrama de análisis de proceso o diagrama de tortuga

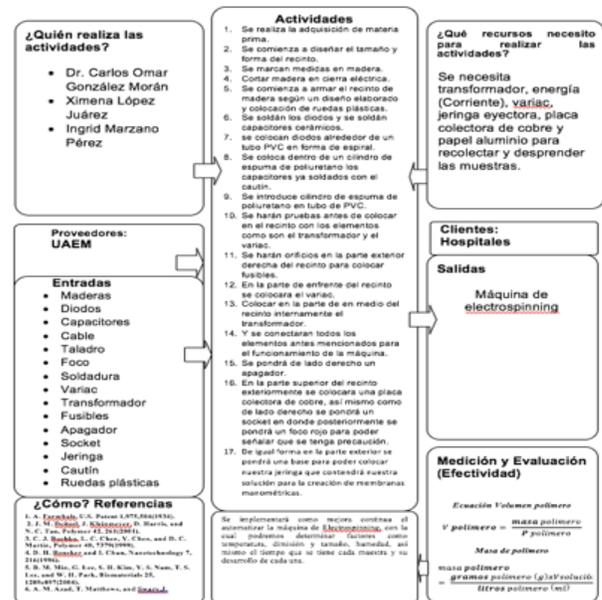


Figura 9 Diagrama de tortuga o análisis de proceso

Implementación de la Metodología de Análisis de Proceso en la mejora continua del electrospinning.

Aquí se presenta la descripción de la construcción de la máquina, con ayuda de una herramienta tan eficaz como es el análisis de verificación, como se muestra en el diagrama 2.

Actividad				Diagrama de proceso.			Observaciones.	
No.	Oper.	Trans.	Ins.	Demor.	Alm.	Tiempo en minutos.		Distancia en (mts).
1								Se adquiere la materia prima para la construcción del recinto
2								Cortar las maderas conforme a las medidas ya marcadas.
3								Fijar las maderas conforme al diagrama del recinto.
4								Soldar los diodos.
5								Soldar los capacitores cerámicos.
6								Colocar los diodos en el tubo de PVC, a 3 cm. de distancia.
7								Introducir la choricera de capacitores en la espuma de polietileno.
8								Introducir el cilindro de polietileno en el de PVC.
9								Soldar las conexiones entre los diodos y los capacitores.
10								Colocar y fijar la placa colectora.
11								Colocar y fijar el soquet del foco de ADVERTENCIA.
12								Colocar el transformador en la parte central del recinto.
13								Fijar el transformador.
14								Realizar un orificio en la parte inferior Izq. Del recinto.
15								Colocar en el orificio el fuelle.
16								Fijar el apagador del lado Izq. superior.
17								Fijar el variac.
18								Realizar las conexiones de todo el circuito.
19								Verificar las conexiones.
20								Encender para verificar el voltaje.
21								Anotar el voltaje en la bitácora.
22								Apagar la máquina prototipo.

Tabla 1 Análisis de verificación en construcción de máquina.

Fuente: Análisis de verificación de proceso de elaboración de máquina de electrospinning.

Así mismo se elaboro el diagrama del proceso en la elaboración de la solución que se utiliza para obtener nuestras muestras, como se muestra en el siguiente diagrama.

Actividad				Diagrama de proceso.			Observaciones.	
No.	oper.	trans.	ins.	demor.	alm.	tiempo en minutos.		distancia en (mts).
1								tomar los pellets. (PVDF).
2								verificar que la vascula este correctamente funcionando.
3								Colocar en la vascula un vidrio de reloj.
4								pesar 10 pellets de PVDF.
5								Registrar el peso en la bitácora.
6								Tomar una proveta.
7								abrir la botella del Dimetilformamida.
8								Introducir la probeta en la botella
9								colocar en la vascula un vaso de precipitados.
10								pesar 2.4 gr de dimetilformamida.
11								cerrar lo recipientes con los componente químicos.
12								Registrar el peso en la bitácora.
13								celar el vasode precipitados.
14								encender la plancha electromagnetica
15								colocar temperatura de 110°C a nivel 3.
16						40 min.		esperar a que se diluya los pellets
17								verter la solución en la jeringa.
18								colocar la jeringa en la parte superior a la placa.
19								colocar el calman en la punta de la jeringa.
20								colocar un trozo de papel aluminio
21								encender la máquina prototipo.
22						5 min.		dejar que cubra de la solución al papel aluminio.

Tabla 2 Análisis de verificación en solución

Fuente: Análisis de verificación en la elaboración de solución para obtener las muestras.

Resultados

Como resultado obtuvimos el funcionamiento adecuado de la maquina, teniendo como evidencia las membranas elaboradas que a continuación se muestran.

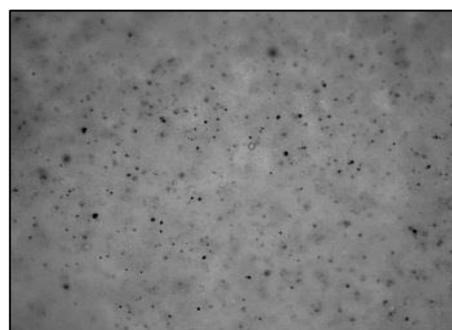


Figura 11 Micrografía

Fuente: Ilustración de micrografía tomada de un microscopio OLYMPUS, modelo GX51 a aumento de 50x, de una muestra de DMF y PVDF.

Conclusiones

Con la construcción de la máquina de Electrospinning observamos que debemos tener mucha seguridad ya que los voltajes que se generan pueden dañarnos es por ello que se requiere de muchas medidas preventivas. Con la máquina de Electrospinning logramos obtener exitosamente fibras de un tamaño diminuto, esta es una técnica que tiene grandes aplicaciones como textiles, sensores y membranas que sirvan como andamios para lograr cultivo celular. Como trabajo a futuro esta máquina será controlada por una micro computadora.

Referencias

[1] Bessant J., B. J. (1993). *Continuos Improvement in British Manufacturing*. (Vol. 13). British.

- [2] Cárdenas Gomez L, F. P. (2007). Propuesta de un Modelo de Gestión para PYMES centrado en la mejora continua. *Dirección de investigación de la Universidad de Austral de Chile.*, 59-67.
- [3] Chambers, R. (2011). *Digestive System Kinect and Science*. Obtenido de Blog de Ray Chambers:
<http://raychambers.wordpress.com/2011/10/16/digestive-systemkinect-and-science/>
- [4] Chambers, R. (2012). *Kinect Mix and Match*. Obtenido de Blog de Ray Chambers:
<http://raychambers.wordpress.com/2012/04/04/kinect-mix-and-match/>
- [5] Cuatrecasas, L. (2010). *Gestión Integral de la Calidad*. PROFIT .
- [6] Garcia M, Q. C. (2003). Mejora Continua de la Calidad en los Procesos. *Revista de Investigación. Industrial Data.*, 89-93.
- [7] Garcia-Sabater, J. &.-G. (2009). Facilitadores y Barreras para la sostenibilidad de la Mejora Continua. Un estudio en Proveedores del automóvil de la Comunidad Valenciana. *Conciencia Tecnológica.*, 44-47.
- [8] ISO 9001:2015. (2016). *Términos y definiciones. Claves para la ISO 9001:2015*. CAVALA. CAVALA.
- [9] Formhals Anton, Richard Schreiber Gastell, (2 de Octubre de 1934) Process and apparatus for prepring artificial threads, Germany, U. S. Patent 1975504 A.
- [10] J. Buchko, L. C. Chen, Y. Chen, and D. C. Martin, *Polymer* 40, 7379(1999).
- [11] H. Reneker and I. Chun, *Nanotechnology* 7, 216(1996).
- [12] B. M. Min, G. Lee, S. H. Kim, Y. S. Nam, T. S. Lee (2004). Park, *Biomaterials* 25, 1289e897
- [13] M. Azad, T. Matthews, and Swary,J (2005). *Mater. Sci. Eng. BB* 123, 252e8
- [14] M. Wang, H. Singh, T. A. Hatton, and G. C. Rutledge (2004). *Polymer* 45, 5505e14
- [15] H. Fong, I. Chun, and D. H. Reneker (1999), *Polymer* 40, 4585e92Electrospinning
- [16] Electrospinning, Wendorff Joachim H, Greiner A, Agarwal S, Wiley-VCH, s.a.
- [17] Ramaknahna S, Fujihara K, Eong Teo W, Cheng Lim T, Ma Z, (2005). An Introductin to Electrospinning and Nanofibers, s.e. <http://www.medigraphic.com/pdfs/quirurgicas/rmq-2015/rmq151m.pdf>
- [18] Discapnet (2009). Fundacion ONCE, Quemaduras<http://salud.discapnet.es/Castellano/Salud/Enfermedades/EnfermedadesDiscapacitantes/Q/Quemados/Paginas/Descripcion.aspx>