

## Tema A2a Manufactura y Materiales: *Procesos de Manufactura*

### Desarrollo de un laboratorio para manufactura de aspas de turbinas eólicas

**Jorge Alberto Díaz Pacheco, Alejandro González Canales, Isaac Hernández Arriaga, Agustín Escamilla Martínez**

CIATEQ A.C., Parque Industrial Bernardo Quintana, Av. Manantiales 23-A, El Marques, CP 76246, Querétaro, México. Tel (442)1961500.  
jorge.diaz@ciateq.mx, alejandro.gonzalez@ciateq.mx, isaac.hernandez@ciateq.mx, aguesc@ciateq.mx

#### RESUMEN

En este artículo, se presentan los criterios de diseño y adecuación de un laboratorio para la fabricación de aspas de turbinas eólicas (< 50kW), basado en los requerimientos que se definen en la Norma Oficial Mexicana (NOM) y de las mejores prácticas aprendidas en laboratorios de energía eólica de Alemania. El diseño del laboratorio parte de una metodología en la cual se definen parámetros de entrada, procesos y salidas. Así mismo, se describe y explica la metodología planteada y los elementos que debe contener el laboratorio de acuerdo a las normas aplicables; así como la ergonomía, seguridad e higiene y parámetros fundamentales de la integridad del personal, de igual manera, se discutirán las herramientas para el diseño del entorno de trabajo y la distribución de una nueva línea de manufactura. El desarrollo de este laboratorio de manufactura de aspas se lleva a cabo dentro del marco del Fondo Sectorial CONACYT-SECRETARÍA DE ENERGÍA-SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA-Centro Mexicano de Innovación en Energía Eólica (CEMIE-Eólico).

*Palabras Clave:* Turbina eólica, aspas, línea de manufactura.

#### ABSTRACT

*In this paper, the design and adequacy criteria for the manufacture of wind turbine blades (up to 50 kW) are presented. Based on the requirements defined in the Official Mexican Standard and the best practices learned in wind energy German laboratories. The design of the laboratory is based on a methodology in which input parameters, processes and outputs are defined. The methodology according to applicable standards is described and explained; as well as ergonomics issues, safety and industrial hygiene and fundamental parameters for the integrity of personnel. Also, the work tools for the design of the working environment and the allocation for a new manufacturing line is treated. The development of this wind blade manufacturing laboratory is carried out within the found of CONACYT-SECRETARIA DE ENERGÍA- SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA-Mexican Center for Innovation in Wind Energy (CEMIE-Eólico).*

*Keywords:* Wind Turbine, blade, manufacturing line.

#### 1. Introducción

En México se ha logrado consensuar un escenario de desarrollo eólico al año 2022 para el que se proyecta contar con una capacidad instalada de 12,000 MW la cual es el doble de la estimada en el presente año. Secretaria de energía

Sin embargo, en nuestro país el desarrollo tecnológico para realizar la manufactura de aspas es casi nulo, de ahí surge la

dependencia de empresas extranjeras para la fabricación de los componentes de los generadores eólicos en especial de las aspas.

La energía eólica, así como otras energías renovables, ha experimentado un gran auge, algo que va extendiéndose a todos los países que cada vez están más concientizados de la importancia de las energías renovables como fuente alternativa de energía, con un impacto sobre el medio ambiente menor que las convencionales, que a fin de reducir

emisiones de gases contaminantes están potenciando la energía eólica como la fuente de energía renovable más viable para la generación eléctrica.

El desarrollo de este banco de manufactura se lleva a cabo dentro del marco del Fondo Sectorial CONACYT-SECRETARÍA DE ENERGÍA-SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA-Centro Mexicano de Innovación en Energía Eólica (CEMIE Eólico), FSE-2013-03-206842 y surge por la identificación de las siguientes áreas específicas de oportunidad:

- Las turbinas eólicas de mayor capacidad que se producen en México son de 10 kW; fabricadas por las empresas Aeroluz y Potencia Industrial. Ambas diseñan y fabrican la mayoría de los componentes de sus aerogeneradores.
- Una de las partes esenciales de los sistemas de conversión de la energía del viento son las aspas del rotor. En el caso de Aeroluz, ellos diseñan y fabrican sus aspas.
- Las técnicas utilizadas para el diseño y manufactura de las aspas de aerogeneradores pueden mejorar significativamente si existiera en México un laboratorio de manufactura de aspas, esto para predecir con mayor certeza el comportamiento y la vida útil de estos componentes, los cuales deben operar por un periodo de al menos 20 años.

Bajo este contexto, se ha detectado la necesidad de contar con un laboratorio para manufacturar aspas tanto de las turbinas eólicas que actualmente están en el mercado como de los nuevos diseños de turbinas que serán fabricados en nuestro país, y así ofrecer soporte técnico-científico para atender las necesidades de esta rama de la emergente industria eólica en México y en Latinoamérica.

### 1.1. Antecedentes

Al término del año 2012, la capacidad eólica instalada alrededor del mundo acumulaba 260,000MW. En México, se tenía menos de 2 MW eólicos y en ese mismo año paso a tener 1,212 MW, mismo que en su gran mayoría están instalados en el Istmo de Tehuantepec en la región “La Venta II” en el estado de Oaxaca.

Hoy en día, México ocupa el 24° lugar en el mundo en la tabla de países que tienen capacidad eólica instalada; el país se encuentra en los inicios de la curva de aprendizaje de asimilación de la tecnología eólica en la que, como consecuencia de las aplicaciones comerciales de aerogeneradores, no solo se han puesto al descubierto algunas de las crudas realidades en materia del estado del arte de la tecnología, sino que también se han manifestado una serie de necesidades y oportunidades en materia de innovación y desarrollo [1].

Actualmente solo 12 países cuentan con fabricantes de aerogeneradores. En el mundo hay cerca de 40 fabricantes, pero se puede decir que son menos de diez los que tienen

reconocido prestigio y que, además, tradicionalmente han competido por los mejores nichos de oportunidad en el mercado internacional.

Las potencias mundiales en cuanto a generación de energías limpias a través de los años son Europa, Estados Unidos y China, mientras que México ahora se encuentra en una posición en vías de desarrollo, la cual apunta a ser favorable e ir incrementando, según datos recopilados de AMDEE (Asociación Mexicana de Energía Eólica) en el año 2014.

Un aerogenerador está compuesto por diversos componentes que en conjunto logran hacer uso de la energía cinética del viento para generar energía eléctrica, que será transmitida a las subestaciones eléctricas, y a su vez aprovechada en los hogares o en la industria. Uno de estos componentes son las aspas, estas están diseñadas para captar la máxima energía cinética del viento y con esto producir la mayor energía eléctrica posible. Se considera uno de los componentes más críticos del sistema debido a que si fallan pueden salir desprendidas del aerogenerador y afectar vidas humanas, por lo cual es de suma importancia contar con un proceso de manufactura confiable que logre satisfacer los requerimientos de calidad. Las fallas presentes en las aspas representan un 7% del total de las fallas globales de un aerogenerador, tal como se muestra en la Fig. 1 [2].

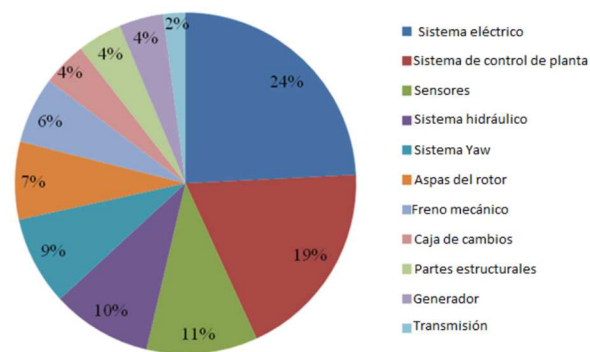


Figura 1- Porcentaje de fallas de los componentes de un aerogenerador.

A pesar de ser uno de los componentes críticos, no existe un proceso estandarizado para la fabricación de las aspas, históricamente han sido desarrollados independientemente con diferentes técnicas de manufactura en distintos países y laboratorios de investigación.

De igual manera no se cuenta con un diseño de la distribución física de la línea de manufactura ni entorno de trabajo que considere las normas de seguridad, higiene y ergonomía; tampoco se cuenta con un diseño de trabajo estandarizado que asegure la calidad de las mismas.

## 2. Desarrollo teórico

Las aspas son generalmente consideradas como uno de los componentes estructurales más críticos. Por lo tanto, las normas de seguridad requieren que la manufactura cubra todos los aspectos y se realicen pruebas a gran escala de cada prototipo. La estructura del aspa es fundamental para soportar las cargas ejercidas durante su periodo de vida. En la Fig. 2 se ilustra la estructura interna del aspa [3].

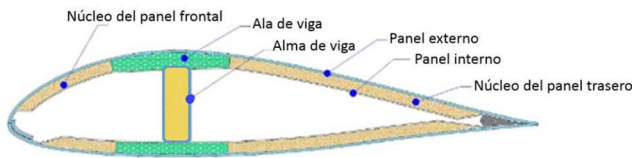


Figura 2- Sección transversal de la estructura del aspa [3].

### 2.1. Planeación de una nueva línea de manufactura

La elaboración de la línea de manufactura de aspas para aerogeneradores, incluye el diseño, la creación y la selección de los mejores métodos de fabricación, procesos, herramientas, equipos y habilidades para manufacturar el aspa con base en las especificaciones desarrolladas por la ingeniería de diseño.

Un buen programa de ingeniería de métodos sigue un proceso en forma ordenada: comienza con la selección del proyecto y finaliza con la implantación de éste. El primero, quizás el paso crucial tanto para el diseño de un nuevo centro de trabajo como para la mejora de una operación existente, es la identificación del problema de una manera clara y lógica [4].

En la Fig. 3 se presenta el proceso sistemático que se planea seguir para desarrollar el centro de trabajo de la manufactura de aspas [4].

#### 2.1.1 Diagramas de flujo de proceso

El diagrama de flujo es una herramienta que muestra la secuencia cronológica de todas las operaciones, inspecciones y materiales que se usan en un proceso de manufactura. El gráfico describe la entrada de todos los componentes y proporciona detalles de manufactura a simple vista. Así mismo, muestra todos los movimientos y almacenamientos de un artículo en su paso por la planta.

Al construir diagramas de flujo de proceso se usan símbolos, tales como: círculos pequeños, flechas, triángulos, entre otros, y los cuales denotan una operación en específico. Estos símbolos constituyen el conjunto estándar de símbolos del diagrama de procesos. En ocasiones, se usan otros

símbolos no estándar para operaciones de apoyo u operaciones combinadas, como lo es una inspección o hacer referencia a una hoja de instrucción [5].



Figura 3 - Principales etapas de un programa de ingeniería de métodos.

#### 2.1.2 Listas de verificación

La lista de verificación es la forma más común en cuanto al uso para registrar los datos, estas pueden adoptar cualquier forma dependiendo de los resultados que se desean obtener. A su vez, las hojas de verificación se pueden clasificar en hojas de verificación para datos medibles, para defectos o ítems defectuosos y confirmación para garantizar que se han tomado ciertas medidas o acciones.

## 2.2. Normatividad, ergonomía, seguridad e higiene

La mayor parte de las lesiones son el resultado de accidentes causados por condiciones inseguras, una acción insegura o una combinación de las dos. Las condiciones inseguras se relacionan con el entorno físico, que incluye el equipo usado y todas las condiciones físicas que rodean al lugar de trabajo. Por ejemplo, los peligros pueden surgir por la falta de cuidado o protección inadecuada del equipo, la localización de las máquinas, las condiciones de las áreas de almacén, etc.

Es por ello que se debe poner especial atención, así como aplicar la normatividad existente, la norma a la cual debemos apegarnos ante la ley del país es la Norma Oficial Mexicana y una de las más reconocidas internacionalmente la cual brinda directrices para llevar a cabo el plan de acción de seguridad e higiene en el trabajo son las OHSAS (Sistemas de Gestión de Salud y Seguridad Ocupacional).

## 2.3. Requerimiento de espacio

En los ambientes de fabricación y de oficina, primero deben determinarse los requerimientos de espacio de las estaciones de trabajo individuales.

El área de personal para una estación de trabajo consiste en espacio para:

1. El operario
2. El manejo de materiales
3. La entrada y salida del operario.

Se necesita un pasillo con un mínimo de 75cm para que el operario se desplace alrededor de los objetos estacionarios. Si el operario camina entre un objeto estacionario y una máquina en funcionamiento, se precisa un pasillo con un mínimo de 90cm. Si el operario camina entre dos máquinas en funcionamiento, se requiere un pasillo con un mínimo de 105cm.

## 2.4. Procedimiento para la distribución

El objetivo principal de la distribución eficaz de una estación de trabajo consiste en desarrollar un sistema de producción que permita la fabricación del número deseado de productos con la calidad que se requiere y a bajo costo.

Muther planteó un procedimiento para la distribución que denominó planeación sistemática de la distribución o SLP (Systematic Layout Planing). La estructura se muestra en la Fig. 4, en la cual emplea como punto de partida el diagrama de relaciones de actividades [5].

Con base en los datos originales y en la comprensión de las funciones y las relaciones entre las actividades, se efectúa un análisis de flujo de materiales y un análisis de la relación de las actividades. A partir de los análisis efectuados, se desarrolla un diagrama de las relaciones.

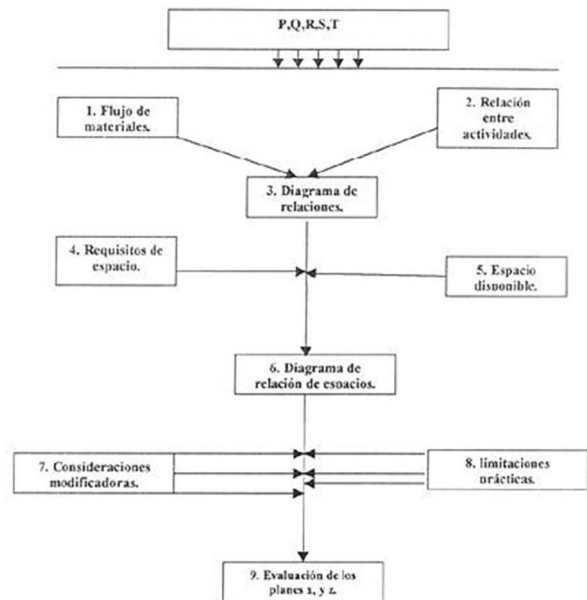


Figura 4- procedimiento de planificación sistemática de la distribución (SLP).

## 2.5. Planos de distribución

Los planos de distribución son representaciones detalladas de la planta. Las representaciones pueden ser en dos dimensiones y dibujadas a mano, desarrolladas con plantillas, dibujadas con computadora, o tridimensionales.

Una vez reunidos los datos anteriores, el plano de la disposición debe realizarse con un procedimiento sistemático, el cual se describe a continuación [6].

1. Seleccione la escala. Debe elegirse una escala que aloje de manera conveniente la configuración general de la planta.
2. Decida el método de representación. Debe tomarse una decisión acerca qué método producirá el plano de la disposición más eficaz.
3. Obtenga los suministros y/o el hardware y el software del plano de la disposición.
4. Ubique todas las estaciones de trabajo y el equipo de fabricación. Deben incluirse de manera conveniente los pasillos.
5. Ubique a todo el personal y los servicios. Se debe asegurar un esparcimiento uniforme de los pasillos para integrar las funciones de servicio.
6. Revise el plano de la distribución. Este debe revisarse desde la perspectiva de los materiales y el personal.

- Finalice el plano de distribución. Es necesario ubicar de manera permanente todos sus elementos y registrar en forma adecuada los títulos y observaciones.

### 3. Metodología

De acuerdo al objetivo de estandarizar el proceso para la manufactura del aspa por medio de un laboratorio se identifican 9 etapas para su elaboración las cuales son las siguientes:

- Preparación de moldes
- Preparación y colocación de fibras reforzadas
- Preparación de la resina
- Infusión de la resina sobre el molde
- Curado, post-curado y apertura del molde de la pieza
- Inspección interna de la pieza
- Proceso de ensamble de la pieza
- Proceso de desmolde
- Proceso de acabado e inspección de calidad

Con estas etapas que se consideraron para el proceso de manufactura de aspas, fueron las principales referencias para desarrollar la metodología en base al diseño y adecuación del LMA, de acuerdo a las necesidades del diseño es como se desarrolló las condiciones de trabajo tomando en cuenta los factores que influyen directamente con el personal que trabajara en el laboratorio

Para realizar el diseño preliminar del laboratorio de manufactura de aspas (LMA), se implementó una metodología que consistió en 5 fases. Primero se definió el problema, así como las variables a estudiar y se llevó a cabo la estandarización del proceso con el objetivo de determinar los requerimientos clave (operaciones, recorridos, materiales y tiempo), así como las entradas y salidas que se generan. Después se identificaron las normas que aplican para el desarrollo de este tipo de centros de trabajo y se crearon controles. Posteriormente se definieron las estaciones de trabajo de acuerdo a los requerimientos de manufactura del aspa, así como su distribución, en base a esto, se determinó la anchura de los pasillos y el espacio necesario. Se seleccionó el equipo de manejo de materiales que se adecue mejor con la línea de manufactura. Por último, se desarrollaron planos detallados que servirán como guía para su implementación. A continuación, se muestra en la Fig. 5, las fases de la metodología que se llevó a cabo.

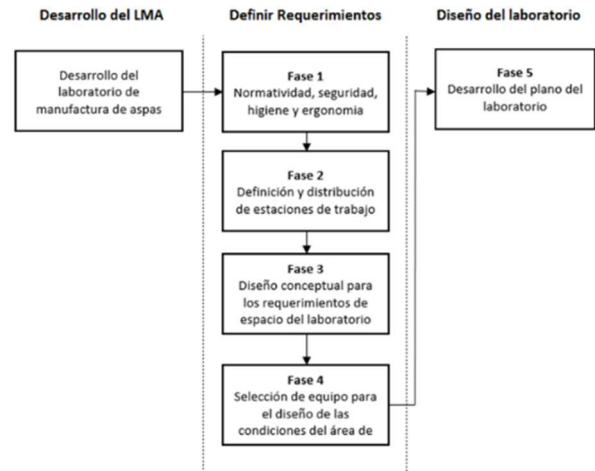


Figura 5 - Metodología a seguir para el diseño preliminar del LMA (CIATEQ).

A continuación, se definen los alcances en cada fase

Fase 1. En esta fase se identifican las normas que aplican para el desarrollo de este tipo de centros de trabajo y se crean los controles internos mediante listas de verificación.

Fase 2. En esta fase se definen las estaciones de trabajo de acuerdo a los diagramas de flujo desarrollados que especifican los requerimientos de manufactura del aspa, adicionalmente se generan diagramas de la relación de actividades y la relación de espacio de las estaciones de trabajo, para concluir con un plano de distribución dentro del laboratorio.

Fase 3. El alcance de esta fase es la conceptualización de dos diseños del BMA con espacio óptimo y mínimo con el cual se puede trabajar adecuadamente dentro del laboratorio. Se identifican las ventajas y desventajas de cada uno con el fin de seleccionar el más idóneo que satisfaga los requerimientos.

Fase 4. Esta fase consiste en la selección de equipo para manejo de materiales que se adecuen de la mejor manera al proceso de manufactura definido. La selección de equipo se hace considerando las dimensiones de los pasillos, al personal que lo va a operar y a la funcionalidad respecto al material que se va a transportar como lo son: rollos de fibra de vidrio, botes de resina, desmoldantes y herramientas necesarias para la manufactura del aspa.

Fase 5. Por último, en la quinta fase se desarrollan los layouts detallados del BMA que servirán como guía para su implementación. En estos se encuentran las dimensiones

generales de todo el laboratorio: pasillos, moldes, estaciones de trabajo, así como la ubicación de los equipos de emergencia, material y mobiliario en general. se incluye el desarrollo de un diseño de iluminación. Finalizando con un concepto de ventilación apropiada en la cual se calcula el caudal de aire necesario para asegurar la renovación del aire dentro del laboratorio.

#### 4. Resultados y análisis de resultados

Para realizar la estandarización del proceso del LMA, se realizó una exhaustiva búsqueda de información acerca del proceso de manufactura que se realiza ya en laboratorios certificados de aspas en distintos países, además se trabajó con los encargados del diseño aerodinámico del aspa, así como de su manufactura. Para lograrlo se tuvo que recopilar información acerca de materiales compuestos, como se trabajan, los moldes que se requieren para la fabricación del aspa.

##### 3.1.1 Fase 1 – Normatividad, ergonomía, seguridad e higiene.

En la Norma Oficial Mexicana se definieron los puntos aplicables en el caso del banco de manufactura, por lo cual se realizó un compilado que se muestra a continuación:

- NOM-001-STPS-2008 Edificios locales instalaciones y áreas en los centros de trabajo.
- NOM-010-STPS-1999 Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.
- NOM-025-STPS-2008 Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.
- NOM-017-STPS-2008 Equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo.
- NOM-018-STPS-2000 Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.
- NOM-026-STPS-2008 Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
- NOM-028-STPS-2012 Sistema para la administración del trabajo-Seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas.
- NOM-002-STPS-2010 Condiciones de Seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.

Estas NOM se deben cumplir para el debido funcionamiento del LMA, con estas normas se identificaron los siguientes puntos que cubren los aspectos de seguridad e higiene:

- Equipo de seguridad necesario para el trabajo con sustancias químicas.
- Condiciones de iluminación para el trabajo en cuestión.

- Requisitos de seguridad para el entorno de trabajo.
- Condiciones de seguridad en el funcionamiento de ventilación artificial.
- El manejo y almacenamiento de sustancias peligrosas.
- El control que se debe implementar para el manejo de sustancias químicas.
- El sistema de identificación y comunicación de peligros.
- Riesgos para sustancias químicas.
- Colores y señales de seguridad e higiene.
- Prevención contra incendios.
- Identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
- Sistema para la administración del trabajo-seguridad en los procesos.
- Equipo crítico que maneje sustancias químicas peligrosas.

Toda esta normatividad es obligatoria y aplicable para los responsables y los empleados en general que se encuentren involucrados en el proceso de manufactura e instalación del LMA.

En cuanto a la ergonomía, antropometría y diseño, se tomó como consideración que el Laboratorio de Manufactura de Aspas (LMA) cubra un 75% las dimensiones del cuerpo humano de acuerdo a la tabla de percentiles de la población mexicana, para que las actividades se realicen de forma segura, ergonómica y eficiente. En base a esto se establecen las medidas del equipo a utilizar como lo son: estanterías, mesas de trabajo, moldes y racks. También se identificó el equipo que se debe usar para aligerar la fatiga debido al proceso.

##### 3.1.2 Fase 2 - Definición y distribución de las estaciones de trabajo

Para definir las estaciones de trabajo se llevó a cabo el análisis del proceso mediante los diagramas de flujo, con los cuales se pudieron identificar cinco estaciones principales las cuales se muestran en la Fig. 6.



Figura 6 - Estaciones de trabajo del LMA. (CIATEQ).

Existen diversos patrones de flujo tales como: forma horizontal y vertical, los cuales se pueden combinar y generar nuevos patrones. El patrón de flujo L es usualmente adoptado cuando no se puede acomodar el flujo en línea recta y los costos de construcción no lo permiten [5].

En la Fig. 7 se pueden observar las estaciones de trabajo y como se encontrarán distribuidas una respecto a la otra, el flujo será en L y los pasillos se encuentran en paralelo [5].

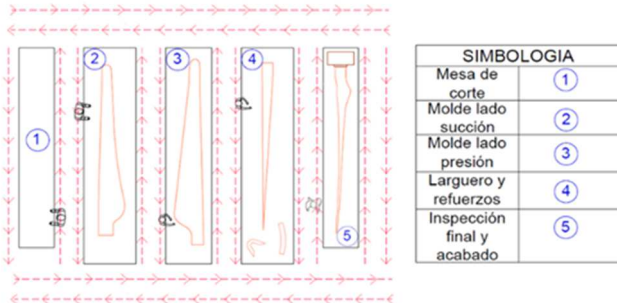


Figura 7. distribución de las estaciones de trabajo para el LMA. (CIATEQ).

### 3.1.3 Fase 3 – Diseño conceptual para los requerimientos de espacio del laboratorio

El requerimiento de espacio para el LMA debe contemplar los pasillos por los cuales se llevará a cabo el tránsito del personal, las grúas, materiales, el traslado del asa al acabado final y lo más importante, las estaciones de trabajo. Para obtener el espacio óptimo del laboratorio se contemplarán los espacios necesarios para cada una de las estaciones. Para que lo anterior pueda darse se genera un análisis de relación de actividades y de relación de espacios del LMA. En las Fig. 8 y Fig. 9 se observan los resultados.

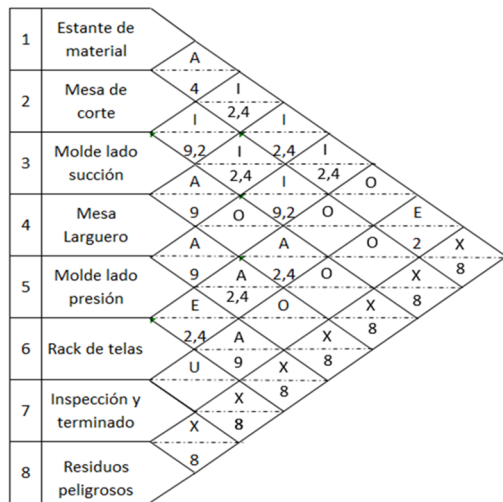


Figura 8. Diagrama de relación de actividades del LMA. (CIATEQ).

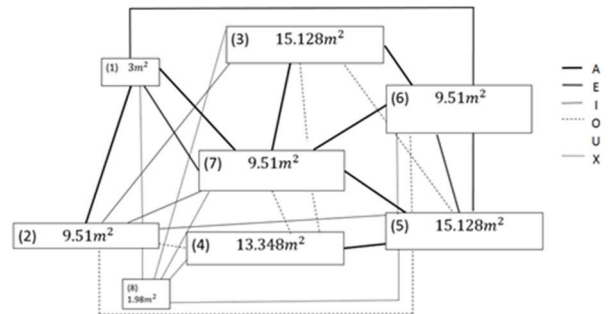
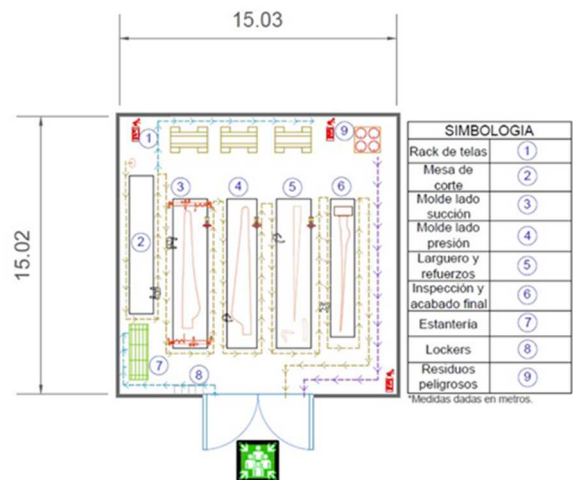


Figura 9. Diagrama de relación de espacio del LMA. (CIATEQ).

Bajo estas condiciones se obtiene una proyección conceptual del espacio preliminar y distribución de acuerdo al flujo de proceso el cual se muestra en la Fig. 10.

Figura 10. Lay out con requerimientos óptimos de espacio. (CIATEQ).



### 3.1.5 Fase 4 - Selección de equipo para el diseño de las condiciones del área de trabajo.

El manejo de los materiales debe asegurar que las partes, materia prima, producto terminado y suministros se desplacen de manera periódica de un lugar a otro dentro de las estaciones de trabajo, cuidando la seguridad de los trabajadores y tomando en consideración el espacio disponible para dichos movimientos, así como las distancias a recorrer.

Los materiales en su mayoría llegarán al almacén general y de ahí deben ser trasladados al LMA. En el laboratorio se contará con estanterías en donde se podrá realizar el abastecimiento de material que se estará necesitando durante el proceso de manufactura del asa, durante dicho traslado se debe asegurar que el operario pueda manejar el material de manera segura y eficiente, es decir que el equipo que se proporcione brinde la facilidad de mover el material de

manera fácil sin aplicar un mayor esfuerzo por parte del trabajador, así se evitaban posibles lesiones y esfuerzos físicos, además de asegurar que el material llegue en óptimas condiciones.

Para las herramientas y material que se necesitará cuando se esté realizando el proceso de manufactura, se contará con equipo mediante el cual el operario pueda tener al alcance y en su zona normal de trabajo todo lo necesario, mientras este se esté desplazando alrededor de los moldes o como éste lo requiera.

Se contará con una zona especial para el desecho de los residuos peligrosos, que en este caso se dividirán en residuos sólidos (fibras de tela, núcleos de espuma, plástico, guantes, trapos pre – impregnados, etc.) y líquidos (resinas, ceras, pintura). Esta zona estará ubicada al fondo a la derecha del LMA para que los desechos se encuentren lo más aislado posible y evitar cualquier tipo de accidente, mientras el proveedor de manejo de residuos acude por ellos. [4]

### 3.1.5 Fase 5 - Desarrollo de planos del laboratorio

Para generar los planos del laboratorio, se usó el software AutoCAD, considerando las características mencionadas se desarrollan los siguientes Layouts que representan los requerimientos del LMA.

- Áreas y estaciones de trabajo del BMA
- Dimensiones de los moldes dentro del BMA.
- Dimensiones de los pasillos.
- Equipo para el BMA y dimensiones generales
- Layout de la disposición final de las luminarias.
- Layout de la posición de la ventilación general y del área de inspección y acabados finales.
- Layout de la delimitación de áreas.
- Señalización dentro del BMA

Con los planos se desarrolló en Modelo CAD del Laboratorio, en cual se muestra en la siguiente Fig. 11 y Fig. 12.



Figura 11 – Modelo CAD del LMA vista isométrica. (CIATEQ).

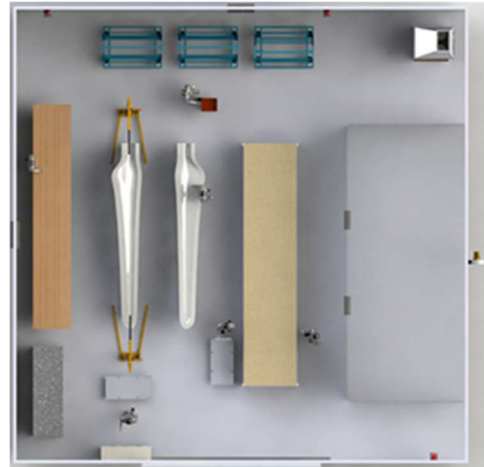


Figura 12 - Modelo CAD del LMA vista superior. (CIATEQ).

## 5. Conclusión

A través de la metodología empleada se logró definir los requerimientos necesarios para el diseño y la adecuación del laboratorio de manufactura de aspas, con el objetivo de optimizar considerablemente el espacio. Las etapas de esta metodología sirven de apoyo para identificar específicamente las funciones de cada área de trabajo, así como la distribución que se debe tener en base a las dimensiones mínimas que debe de tener este tipo de laboratorio, para ejecutar toda la metodología planteada se consideraron varios parámetros, pero en si se enfocó en las medidas de seguridad que se deben tener además de las condiciones necesarias de trabajo.

El conocimiento aportado por el trabajo fomenta gran interés en el campo de la energía eólica y sirve de apoyo para el desarrollo de más investigaciones del área, también se presenta a esta tecnología como parte de una solución para los aerogeneradores de hasta 50 kW ya que con la implementación del laboratorio ayudará al desarrollo de la industria manufacturera creciente de aerogeneradores en México.

## Agradecimientos

Este trabajo es parte de las actividades del proyecto “P09 Desarrollo de aspas para pequeños aerogeneradores (hasta 50 kW)” que se desarrolla en el contexto del Centro Mexicano de Innovación en Energía Eólica (CEMIE-Eólico) bajo los auspicios del Fondo CONACYT-SENER-Sustentabilidad Energética.

## 6. Referencias

- [1] AMDEE. (Abril de 2012). *Asociación Mexicana de Energía Eólica*. Obtenido de <http://www.amdee.org/Publicaciones/AMDEE-PwC->



Elpotencial-eolico-mexicano.pdf

- [2] Apple, J. (1977). *Plant Layout and Material Handling*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Durstewitz, M. C. (2008). *+15 YEARS PRACTICAL EXPERIENCES WITH WIND POWER IN GERMANY*. Kassel, Germany: Institute für Solare.
- [4] Freivalds, A. &. (2014). *Métodos, estándares y diseño del trabajo*. México DF: McGraw-Hill.
- [5] J. A. Tompkins, J. A. (2011). *Planeación de instalaciones*. México D.F.: CENGAGE Learning.
- [6] Publishing, N. (2013). *Engineer's Toolbox: Tech for OEM Design Engineers*; 09(30).
- [7] Sanders, M. S. (1987). *Human factors in engineering design*. Singapur: McGraw- Hill.