

## DESARROLLO DE UNA UNIDAD DE MANTENIMIENTO AEROPORTUARIO MULTIDISCIPLINARIA

1Sánchez Jiménez Julio Cesar, 2Escamilla Martínez Agustín, 3Ruiz Juárez Tito Manuel, 1Rovira García Sergio.

Dirección de Procesos Especiales, CIATEQ, A.C.,

Av. del Retablo No. 150, Col. Constituyentes FOVISSSTE, Querétaro, Querétaro, MEXICO

1Teléfono: 01 442-196-1500 ext. 4183, julio.sanchez@ciateq.mx

2Teléfono: 01 442-196-1500 ext. 4124, aguesc@ciateq.mx

3Teléfono: 01 442-196-1500 ext. 4171, tito@ciateq.mx

### RESUMEN.

Los aeropuertos requieren de mantenimientos constantes y especializados para actividades específicas en vías de rodado, iluminación, pista de aterrizaje, zona de toque, pintura y otras actividades generales. El tipo y la frecuencia de estos mantenimientos dependen principalmente del número de operaciones por día y el tipo de aeronaves que aterrizan en sus instalaciones. De manera general, los aeropuertos tienen un grupo limitado de personas en sus plantillas de mantenimiento y es por ello que gran parte de los mantenimientos especializados son subcontratados.

CIATEQ desarrolló, en conjunto con el Aeropuerto Internacional de Puebla (AIP), Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) y CONACYT, un prototipo de Unidad de Mantenimiento Aeroportuario multidisciplinario (UMA) el cual consta de una unidad motriz central y cuatro remolques esclavos, uno para actividades de mantenimiento en pavimentos, otro para pintura en instalaciones, el tercero para actividades eléctricas y de iluminación y el último para mantenimiento en posiciones elevadas.

### ABSTRACT.

Airport facilities requires specialized maintenances mainly on runways, painting duties and other general activities. Maintenance kind and frequency depends on operations number per day and airplane size landing on their facilities. In a general way, airport facilities has a reduced number of people taking care of the general maintenance and, for specialized services, depends of external companies.

CIATEQ develops, in coordination with the Aeropuerto Internacional de Puebla (AIP), Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) and CONACYT, a functional prototype of a airportuary maintenance vehicle (UMA). This

prototype has a powered central unit and four dependant trailers, one of the trailers are for runways maintenance activities, other one for painting duties, another one for assistance in electrical and illumination activities, the last one for duties on high heights.

### INTRODUCCIÓN

En 2009 el Aeropuerto Internacional de Puebla (API) opera once vuelos comerciales y funciona con tres edificios principales, a través de éstos se atiende a 550 mil pasajeros anuales, pero sólo cuenta con dos cuadrillas de mantenimiento, cada una de ellas de dos personas. Estas dos cuadrillas son las responsables de brindar servicios generales de mantenimiento a la totalidad de las instalaciones, desde el área de estacionamiento hasta la pista de aterrizaje, pasando por el edificio principal, el de última espera y el de la Dirección de Aviación Civil (DAC).

Como parte de las demandas específicas del Fondo Sectorial ASA-CONACYT-2009-1, el AIP solicita diseñar un prototipo funcional de Unidad de Mantenimiento Aeroportuario consistente en una unidad principal y tres remolques ligeros de acoplamiento rápido, específicos para la reparación de pavimentos, actividades de pintura y actividades eléctricas. Esquemáticamente su solicitud se ejemplifica en la Figura 1.

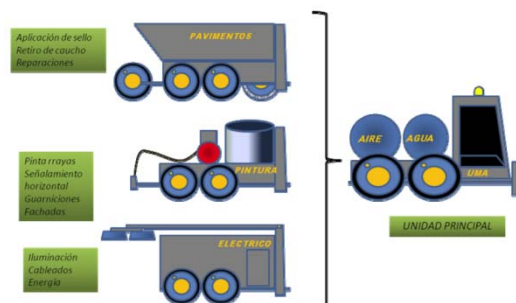


Figura 1. Esquema de unidad de mantenimiento Aeroportuaria

Los requerimientos por unidad se describen a continuación:

Unidad Principal:

- Unidad motriz ligera.
- Con motor diesel.
- Capacidad para dos personas.
- Almacenamiento de agua y aire comprimido.
- Sistema de hidráulica de potencia.
- Sistema desmontable para segado.
- Advertencias visuales.
- Equipo de comunicación.
- Depósito de líquidos hidratantes.

Remolque de pavimentos:

- Capacidad para barrer finos.
- Retiro de caucho de pista.
- Remoción de residuos por succión\*.
- Equipo para reparar baches.

Remolque de pinturas:

- Tres depósitos de pintura fijos.
- Tres depósitos de pintura temporales.
- Equipos para pintar pistas y fachadas.
- Sistema pintarayas.
- Equipo Airless.

Remolque de trabajos eléctricos:

- Equipo para soldar con generador diesel
- Tomas a 110 V y 220 V
- Sistema elevado de iluminación a 8 m, 4000 W de potencia.

Remolque de trabajos en alturas:

- Brazo articulado con canastilla para trabajos a 14 m, tipo "Genie".
- Capacidad de carga 2,500 N.
- De energía autónoma.
- Maniobrable para acceso a edificios del AIP.

## DESARROLLO

Debido a requerimientos de ASA se requiere que la UMA maneje un concepto visual, que cumpla con cuestiones de ergonomía y funcionalidad, además de realizar la parte técnica, entonces, el desarrollo del proyecto se realiza en dos

vertientes principales: El diseño industrial, el cual permite desarrollar una línea de diseño y comunicación visual, y la parte de diseño estructural-funcional, el cual permite que la UMA cumpla con las funciones solicitadas.

De manera paralela se atacan ambas líneas de diseño. El diseño industrial parte de un estudio de estado del arte, recopilando imágenes y analizando el lenguaje visual de cada una de ellas. Se permite en esta etapa a los diseñadores industriales crear tantos conceptos e ideas sea necesario (Figura 2).

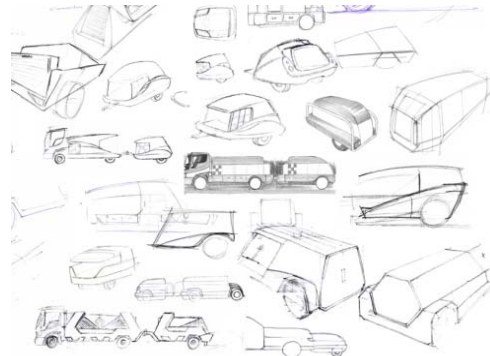


Figura 2. Bocetaje conceptual. Diseño industrial.

Para este proyecto, y posterior a realizar un estudio de funciones a realizar, se conceptualizan tres ideas de comunicación visual:

- Versatilidad
- Servicio
- Fuerza

Definidas las líneas de comunicación visual se realiza la búsqueda de imágenes generales que transmitan estos conceptos. Para el concepto "fuerza" parte de la búsqueda de imágenes generales se resumen en la Figura 3.



Figura 3. Imágenes generales, evocación "fuerza".

Se buscan también productos u objetos que transmitan el mismo concepto. La búsqueda de objetos se resume en la Figura 4.



Figura 4. Imágenes de objetos, evocación "fuerza".

Para el concepto de fuerza se observa que éste se destaca, entre otros muchos aspectos, por ángulos marcados, líneas rectas y bordes definidos. Con este resultado de aspectos "fuertes" se genera un diseño conceptual de una Unidad Principal y un Remolque genéricos, que sólo cumplan con los conceptos de fuerza. El diseño de fuerza se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Diseño general, concepto "fuerza".

Al igual que para el concepto "fuerza", se realizan conceptos genéricos para "versatilidad" y para "servicio". Analizando los pros y contras conceptuales de cada línea, se decide llevar el diseño sobre una versión híbrida del concepto "fuerza" y "servicio". El concepto del remolque de pinturas con las líneas de diseño seleccionadas se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Remolque genérico, concepto "fuerte" + "servicio".

Para la correcta evaluación y creación de los productos se recurre al proceso interno de diseño de CIATEQ, usado de manera general para el desarrollo de proyectos, el cual consta de 6 etapas:

- Revisión bibliográfica.
- Diseño conceptual.
- Diseño básico.
- Diseño de detalle.
- Fabricación.
- Pruebas de operativas y de validación.

La etapa de diseño básico se complementa y usa extenuantemente el proceso general de diseño.

Aún y cuando el Fondo Sectorial ASA-CONACYT no solicita que la Unidad de Mantenimiento cumpla puntualmente con alguna norma en particular, la revisión bibliográfica proporciona las normas aplicables:

- NOM-012-SCT-2-2008.
- PROY-NOM-070-SCT3-2010.
- Anexo 14, Convenio sobre aviación Civil Internacional.
- NOM-004-STPS-1999.
- SAE J1127, J1128, J1560.
- Manual de Identidad de ASA.

Definida la línea, requerimientos normativos y con un diseño conceptual en mente se inicia el proceso de diseño mecánico, tanto el funcional operativo como de resistencia y rigidez. Se utiliza el software SolidWorks para realizar la modelación en 3D, tomando en consideración los aspectos funcionales, de cargas y operativos para su diseño. El modelo 3D del remolque eléctrico se muestra en la Figura 7. En esta se observa el chasis que soporta todo el remolque y que se conecta al eje. Sobre el chasis del remolque se monta plastitabla y se diseñan los espacios definidos para almacenamiento de herramientas, las calaveras traseras, tubo rolado para protección de equipos.

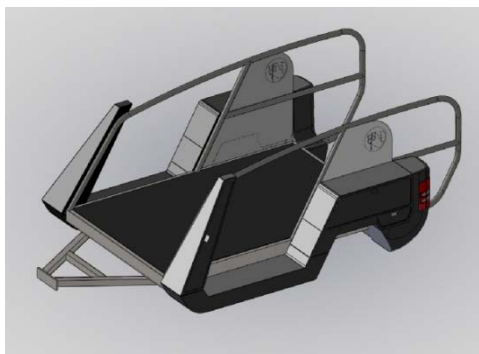


Figura 7. Diseño tridimensional, remolque eléctrico.

Para la verificación de resistencia mecánica de cada uno de los componentes de los remolques se recurre a simulaciones estructurales usando el Software de propósitos generales ANSYS en sus versiones WorkBench y clásico, en la Figura 8 se muestra la simulación estructural del remolque eléctrico.

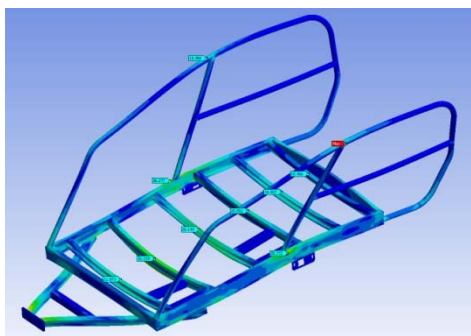


Figura 8. Análisis estructural, remolque eléctrico.

Terminada la verificación estructural se continúa con el diseño de circuitos de operación y de proceso hidráulicos de baja potencia, hidráulicos de alta potencia y neumáticos, se define la interacción de componentes y así como los ciclos de operación a ser programados, se diseña soportería para cuestiones de ergonomía, diseño de mecanismos funcionales, compatibilidad de materiales, grados de protección, secuencias lógicas de operación y verificación de capacidad de fabricación a la par de las actividades de búsqueda de proveedores de componentes especiales, tanto nacionales como internacionales. La Figura 9 muestra el esquema de la distribución de rodillos operativos durante operación del remolque de pavimentos.

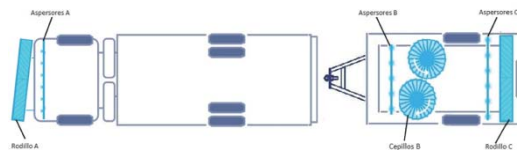


Figura 9. Esquema de distribución de rodillos. Remolque de pavimentos.

Paralelo a las actividades técnicas funcionales ya mencionadas, se realizan “renderizados” de cada uno de los modelos tridimensionales diseñados, la Figura 10 muestra el remolque de pavimentos (remoción de caucho) y el remolque eléctrico en formato “renderizado” y ubicados en ambientes virtuales.



Figura 10. Conceptos “renderizados”.

En la Figura 11a se muestra el dibujo de fabricación de ensamble general del remolque eléctrico. La Figura 11b muestra el mismo dibujo de fabricación de la 11a pero en versión “explotada” evidenciando el orden de ensamble de los componentes. La Figura 11c muestra uno de los dibujos de fabricación del esqueleto de aluminio que dar forma a las gavetas del remolque eléctrico.

Para la realización de este proyecto el equipo de diseño y fabricación liberó poco mas de 1,200 planos de fabricación, entre dibujos de piezas, habilitado de materiales, maquinados, ensambles de soldadura, ensambles de proceso, de componentes comerciales incluidos, de subensambles y de ensambles generales.

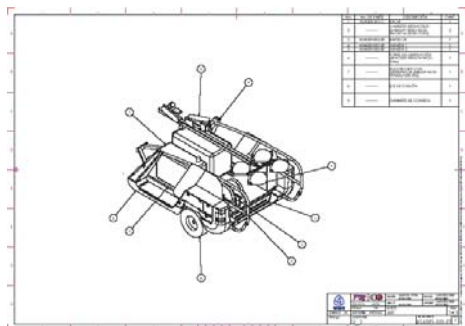


Figura 11a. Dibujo general de ensamble, remolque eléctrico.

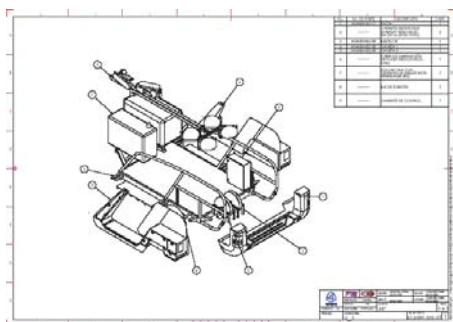


Figura 11b. Dibujo general "explotado", remolque eléctrico.

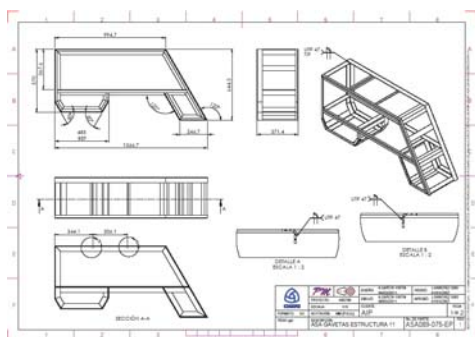


Figura 11c. Dibujo de fabricación, "esqueleto" gaveta.

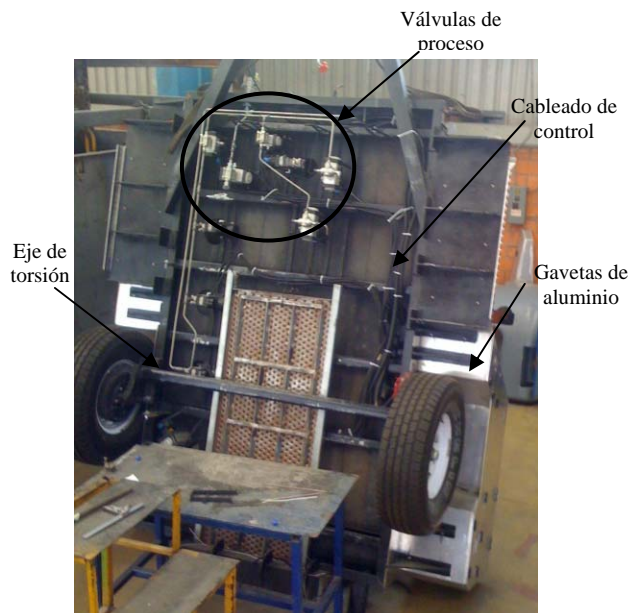


Figura 12. Proceso de fabricación, remolque de pinturas.

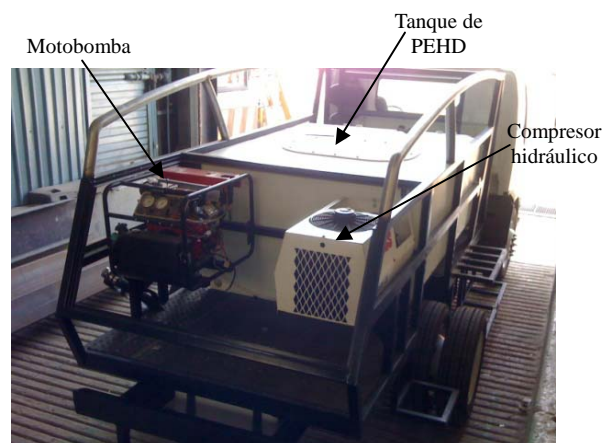


Figura 13. Proceso de fabricación, unidad principal.

Definidos todos los aspectos técnicos se procede a iniciar el proceso de fabricación. La Figura 12 muestra parte de este proceso en el remolque de pinturas, específicamente durante la instalación de la tubería y electroválvulas. Se puede observar en la imagen que ya cuenta con soportería inferior, cableados eléctricos y de control y revestimiento parcial de aluminio.

La Figura 13 muestra el mismo proceso de fabricación pero enfocado en la Unidad principal. En la figura se aprecian instalados sobre el chasis tres de los componentes fundamentales del proyecto, el compresor hidráulico, la motobomba y el tanque para agua fabricado en PEHD, así como la estructura que define la parte de comunicación visual.

Iniciado el proceso de fabricación, el equipo se enfoca en lograr la intercomunicación entre la unidad principal y cada uno de los remolques. Para ello se define que la interfase de comunicación es una pantalla "touch" y que se ocupará el protocolo "CanOpen" para realizar la transferencia de datos entre todos los sistemas. La pantalla "touch" requiere de una interfase de comunicación amigable. El diseño realizado para este fin se muestra en la Figura 14.

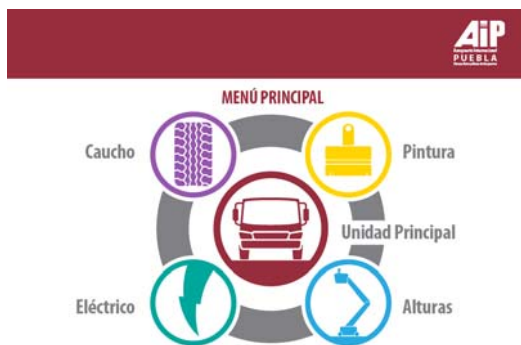


Figura 14. Interfase de pantalla "touch".

De igual manera y buscando la ergonomía del operador se rediseña el interior de la cabina de la unidad principal. El boceto de rediseño se muestra en la Figura 15. Se observa la distribución de espacios para la pantalla "touch" y equipos periféricos de uso común en el aeropuerto.



Figura 15. Rediseño de cabina.

Terminado el proceso de fabricación y los detalles visuales (pintura), realizado las conexiones eléctricas y de control y terminadas las pruebas de operación en vacío, la Unidad de Mantenimiento se manda al Aeropuerto Intercontinental de Querétaro (AIQ) para realizar pruebas de operación (Figura 16).



Figura 16. Pruebas de operación, remolque de pavimentos.

Debido a la carga operativa del AIQ se permite el acceso a pista sólo durante horarios limitados y en los horarios en que la pista no tendrá operaciones de vuelo programadas. Las pruebas operativas se realizan entre las 11 pm y las 6 am.

## RESULTADOS

La unidad de mantenimiento se culmina y supera las pruebas operativas. Se entrega a las autoridades de Aeropuertos y Servicios Auxiliares en Enero 2012. La presentación final de cada uno de las unidades operativas se muestra en las Figuras siguientes. La Figura 17 muestra una vista superior de la Unidad Principal con el cepillo frontal instalado. La Figura 18 muestra a la Unidad Principal y al Remolque de pinturas en operación, es de notarse que en la Figura se nota que va pintado una ralla continua usando dos boquillas de aplicación de pintura.



Figura 17. Vista general de Unidad Principal.



Figura 18. Unidad principal y remolque de pinturas

En la Figura 19 se observa una perspectiva de la unidad principal conectada el remolque de alturas. Este remolque puede operar de manera independiente a la unidad principal.



Figura 19. Unidad principal y remolque de alturas.

La Figura 20 permite ver la Unidad principal y el Remolque eléctrico acoplados. Se aprecia parte de la extensión de la torre de luz, la cual puede ser operada desde el interior de la cabina de la Unidad principal o bien desde un panel exterior. Este remolque puede operar de independiente de la Unidad principal.



Figura 20. Unidad principal y remolque eléctrico.

El remolque de pavimentos en operación es presentado en la Figura 21. En esta Figura se aprecia que están activados los aspersores de lavado de lodos y el rodillo posterior de eje horizontal realiza el barrido de lodos.



Figura 21. Remolque de pavimentos, proceso de lavado y remoción de lodos.

La Figura 22 muestra una vista general de los cuatro remolques y la unidad principal que forman la Unidad de Mantenimiento Aeroportuario Multidisciplinaria.



Figura 22. Vista general de la Unidad de mantenimiento.

## CONCLUSIONES

Para el desarrollo de proyectos de ingeniería tan ambiciosos se requiere, indiscutiblemente, la formación de un equipo de trabajo multidisciplinario que incluye ingenieros mecánicos como eje de desarrollo pero que se enriquece con las experiencias y conocimientos de ingenieros químicos, electrónicos, de control, mecatrónicos, administradores y estudiantes (becarios).

La incorporación de la disciplina de Diseño Industrial permite lograr un diseño completo. Debido a esta disciplina se logra conjugar la comunicación visual con la funcionalidad y ergonomía. Estas tres actividades nos facilitan dar el paso de un prototipo funcional a un prototipo vendible.

## AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Sectorial ASA-CONACYT a través del proyecto 118205 la convocatoria 2009-1 por el financiamiento del desarrollo.

## GRUPO DE TRABAJO

### Desarrolladores

- Dr. Zulema Juárez
- M. en I. Rafael Avila
- Ing. Miguel E. Guzmán
- Ing. Antonio García
- Ing. Oscar M. Pérez
- Ing. Jacobo Curiel
- Ing. Itzel Y. Silva

- Ing. Rodrigo López P.
- Ing. Manuel Luna
- Ing. Raúl R. Muñoz
- Lic. G. Fabiola Ortuño
- Ing. Miguel Medrano
- TSU. Graciela Jiménez
- Rodrigo López E. (Practicante)
- Juan A. Cacho (Practicante)
- Luís D. Sánchez (Practicante)

**Asesores**

- Ing. Tito M. Ruiz
- Dr. Agustín Escamilla
- M. en C. José L. Cuellar
- LDI. Carlos Castro (La jabonera estudio)