

# Un Salto Cualitativo hacia la Producción de Sensores del Tipo IFOG

Mineo, Marcos\*; Alustiza, Diego <sup>(1)</sup>

*Centro de Investigaciones Ópticas, CONICET-CIC-UNLP.  
Camino Centenario y 506. Gonnet. La Plata. Buenos Aires. Argentina. mmineo@ciop.unlp.edu.ar*

*(1) Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata.  
Av. 60 y 124. La Plata. Buenos Aires. Argentina. dalustiza@frlp.utn.edu.ar*

## RESUMEN.

Los sensores IFOG desarrollados en el Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET – CIC – UNLP) por el Grupo IFOG, fueron diseñados para ser montados sobre plataformas de vehículos espaciales (satélites/lanzadores de inyección satelital). Su función es brindar a la computadora de navegación de abordaje información del estado de movimiento de tal vehículo. Luego de dieciséis años dedicados al desarrollo de esta tecnología y observando las futuras demandas locales de este tipo de sensores (en respuesta al programa ISCUL de la CONAE) es preciso comprender los requerimientos de tales demandas y adaptar las formas de trabajo actuales para efectuar la transición del desarrollo de dichos sensores a la producción de los mismos. Durante las etapas del desarrollo se evaluaron varios modelos en misiones reales. En estos casos, los procesos de producción utilizados -del tipo "lote"- fueron configurados según las estructuras de los modelos de: laboratorio, ingeniería, calificación y vuelo. Las mencionadas demandas requieren de la sistematización del proceso productivo. Esto implica un nuevo y complejo desarrollo de ingeniería que logre estabilidad en la producción y el cumplimiento de los requerimientos de misión aplicados al producto. Este trabajo presenta la idea de una planta piloto que permita la transición.

**Palabras Claves:** IFOG, sensor, producción.

## ABSTRACT

IFOG sensors developed in the Optical Research Center (CONICET – CIC – UNLP) by IFOG Group, were designed to be mounted on spacecraft platforms (satellites / satellite launchers) in order to bring inertial status data to onboard navigation computer. After sixteen years of development in this technology and looking future demands of this type of sensor (in response to ISCUL CONAE program), it's needed to understand the requirements of such demands and adapt current forms of work to make a transition from developmental stage to production stage of such sensors. During developmental stages, various models have been evaluated in real missions. In these cases, the production processes used were a "batch" type, and have been set according to following model structures: laboratory, engineering, qualification and flight. The aforementioned demands that are arising require systematizing the production process. This implies a new and complex development engineering that achieves stability in production and compliance with mission requirements applied to product. This paper presents the idea of a pilot plant that allows the transition.

**Key Words:** IFOG, sensor, production.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El Grupo IFOG, perteneciente al CIOp (Centro de Investigaciones Ópticas, CONICET / CIC / UNLP) se ha dedicado por más de dieciséis años al desarrollo y la producción a baja escala de sensores de velocidad angular del tipo IFOG (Interferometric Fiber Optic Gyroscope) diseñados para ser aplicados en misiones aeroespaciales. Los desarrollos emergentes de este proyecto han cumplido con las demandas específicas de la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales) y VENG S.A. (Vehículos Espaciales de Nueva Generación). Dichas demandas consistieron en la realización de evaluaciones tecnológicas y experimentales de los sensores que hasta el momento habían sido desarrollados. En aquel contexto de evaluación tecnológica permanente, no se gestaba un espacio de reflexión para el análisis de una posible y futura producción de unidades sensoras a mayor escala.

Diez años después de la conformación de este Grupo de trabajo, y junto con el inicio del desarrollo de la última versión del producto denominada IFOG T2, cuyos niveles de desempeño se detallan y comparan en [1], se ha dado inicio a un nuevo camino a recorrer. En éste, la palabra producción estuvo asociada a cada diseño interno de la unidad, así como también a la compra del equipamiento y a la conformación de los procesos de manufactura.

Se debe considerar que el diseño de la unidad IFOG T2 tiene como objeto la construcción de IRUs (Inertial Reference Units) que serán destinadas al proyecto Tronador II llevado adelante por la CONAE por medio del programa ISCU (Inyector Satelital de Carga Útil Liviana). Lo comentado en este párrafo implica que, en un mediano plazo, se requerirá de un mínimo de tres unidades IFOG T2 por vehículo. Si se consideran de tres a cuatro lanzamientos anuales, a modo de ejemplo, se comienza a vislumbrar la necesidad de iniciar un proceso de manufactura sistemático así como también prever en un futuro una producción completamente serializada.

En un punto intermedio, donde la producción no supere las diez unidades anuales, el formato de planta piloto no solo puede satisfacer las demandas de las unidades requeridas, sino que permite diseñar, depurar y refinar las metodologías de trabajo acordes a una producción de mayor envergadura.

## **2. ANÁLISIS DEL MODELO DE PRODUCCIÓN ACTUAL**

### **2.1. Contexto de aplicación**

En el contexto de un proyecto de naturaleza aeroespacial, las metodologías de trabajo estandarizadas (por ejemplo las publicadas por la ECSS: European Cooperation for Space Standardization) apuntan a un proceso de desarrollo y producción basado en al menos la obtención de los siguientes modelos de producto:

- Modelo de laboratorio.
- Modelo de ingeniería.
- Modelo de calificación.
- Modelo de vuelo.

Los hitos que representa el abordaje de los primeros tres modelos de producto no son sujetos de discusión en esta publicación, ya que resultan pasos naturales de un desarrollo en sí mismo. La discusión actual radica en cómo puede ser resuelta la obtención del modelo de vuelo asociado al producto teniendo en cuenta que el volumen de la demanda es tal que implica la generación sistemática de unidades ya calificadas.

### **2.2. Descripción del modelo de producción actual**

El modelo descrito en esta sección, si bien se lo denomina actual, progresivamente está siendo dejado de lado para el caso del desarrollo y producción de la actual unidad IFOG T2. Dicho modelo consiste en la definición de un objetivo concreto de desarrollo y un número finito de unidades a producir. Esto implica:

- El establecimiento de un proceso discreto y único de compras de materiales/componentes considerando un factor de seguridad determinado que afecte las cantidades.
- La tercerización (si corresponde) de la fabricación/mecanizado de todas las partes y componentes, por única vez, que hayan sido diseñados por el Grupo de trabajo.
- La verificación de la disponibilidad de todos los componentes y partes necesarias que se encuentran bajo disponibilidad en el almacén.
- La verificación de la disponibilidad de un equipamiento acorde para poder concluir todas y cada una de las tareas requeridas.
- El aseguramiento de la disponibilidad de personal capacitado y suficiente para cumplir con las tareas en tiempo y forma.

### **2.3. Puntos críticos del modelo actual**

El modelo de producción actual carece de una mirada a largo plazo que considere una producción continua y sostenida en el tiempo. Solo tiene el objetivo de suplir las necesidades actuales para cumplir con el objetivo por una única vez y para una misión en particular. Como consecuencia de lo anterior en esta mirada no se contempla que puedan perderse proveedores, que los componentes resulten obsoletos con el transcurso del tiempo, que pueda existir una fuga de capital humano, entre muchas otras problemáticas. Esto último es debido a que se diseña en función de lo que se tiene y de lo que es posible conseguir para lograr un resultado concreto y puntual en el tiempo. Se puede concluir que es un modelo con una mirada efectista y cortoplacista.

### **3. DESARROLLO DE UN NUEVO MODELO DE PRODUCCIÓN**

#### **3.2. Disparadores para la obtención de un nuevo modelo**

La unidad IFOG T2 desarrollada, tiene como objetivo principal la conformación de IRUs destinadas a la serie de vehículos inyectores satelitales denominados Tronador II. Esto implica que será necesario abastecer en forma sistemática de tales sensores a dichos vehículos, lo que fuerza un cambio de paradigma en el modo de producción. El contexto obliga a pensar en la fabricación de unidades a mayor escala y desde una visión similar a la de una fábrica de sensores del tipo IFOG. Claro está que esto último requiere de una nueva forma de pensar acompañada de una adaptación de las metodologías de trabajo actuales.

#### **3.2. Hacia un nuevo modelo de producción**

Lo que define el nuevo modelo de producción es aquel conjunto de cuestiones a considerar que pueden ser obstáculos al intentar llevar adelante el nuevo esquema. Estas cuestiones, deben ser identificadas y se debe trabajar para minimizar su impacto en virtud de alcanzar los objetivos. Teniendo en cuenta que se pretende efectivizar la transición a un sistema de fabricación serializado, se identificaron las siguientes cuestiones a considerar:

- Calificación y selección de proveedores.
- Tiempo de demora en el proceso de compras.
- Abastecimiento sostenido del almacén.
- Mantenimiento del inventario del almacén.
- Trazabilidad en la cadena de abastecimiento de las partes y los componentes.
- Cantidades mínimas de compra de partes y componentes.
- Costos de las partes y los componentes en función de las cantidades.
- Obsolescencia de los componentes usados en el producto desarrollado.
- Sistema de gestión de calidad.
- Mantenimiento y calibración de los equipos.
- Ingreso y egreso de personal al Grupo IFOG, lo que requiere capacitar a los nuevos integrantes y afrontar las pérdidas de conocimiento de quienes lo dejan.
- Independencia de los procesos productivos en relación con el operador de turno.
- Adaptación y mejora del diseño para facilitar la producción minimizando además el inventario de componentes.
- Estabilización de los procesos de producción.
- Identificación de las tareas que puedan ser realizadas en forma paralela.
- Reconocimiento del camino crítico de la producción.

El análisis de las anteriores cuestiones genera un conjunto de objetivos que deben ser resueltos. Algunos de ellos durante las etapas de diseño, mientras que otros pueden ser relegados a etapas posteriores. La identificación temprana permite esbozar un mapa de tareas y delinear un camino a transitar.

#### **3.3. Iniciativas concretas para el nuevo modelo**

Para afrontar el nuevo modelo de producción el Grupo IFOG ha trabajado y priorizado los siguientes aspectos:

- Conformación de un almacén con un estricto orden (ver Figura 1) y una planilla de control de entradas y salidas. Esta planilla periódicamente es relevada por un responsable que vuelca los datos del registro en un sistema de control de inventario.
- Creación de un control de inventario asociado a un sistema de cómputo de consumos para los diversos diseños. Las listas de materiales de estos últimos permiten al sistema calcular cuantas unidades de un determinado diseño es posible ensamblar, lo que puede derivar en compras para suplir faltantes en el inventario (ver [2]).
- Creación de una codificación interna de simple lectura para las partes y los componentes que simplifiquen la búsqueda de los materiales y evite confusiones. Esto sobre todo resulta de mayor importancia para los operarios vinculados con la manufactura, ya que no se

pretende que conozcan los detalles del diseño ni que se familiaricen con los complejos códigos de los fabricantes.

- Compra del equipamiento con características tales que liberen al operador de la mayor cantidad de detalles de ingeniería. Mayores niveles de automatismos disminuyen los niveles requeridos de capacitación e inmunizan al proceso de producción del arte particular de cada operador.
- Desarrollo de los procedimientos de ensamble basados en la codificación interna y en imágenes paso por paso. Esto minimiza errores en la búsqueda de los componentes y en el proceso de ensamble en sí, entre otras virtudes.
- Compra de componentes, sobre todo electrónicos, para el ensamble de un número determinado de unidades IFOG T2 (stock inicial). Esto permite congelar temporalmente la tecnología e iniciar en un mediano plazo la producción serializada. Posiblemente y durante la fase de producción, se deberán retocar los diseños para reemplazar aquellos componentes obsoletos. De este modo, se tendrá el diseño adaptado para cuando el stock inicial en el almacén se agote.
- Creación de un almacén de semi-elaborados como se menciona en [3]. En éste se colocan todos los sub-ensambles de la unidad IFOG T2, con su respectiva documentación, listos para ser utilizados en el armado final de las mismas. Esto último permite desacoplar las operaciones sucesivas tal cual se detalla en [4].
- Creación de planillas con el resultado de la evaluación funcional de cada sub-ensamble. Estas planillas acompañan a cada uno de los elementos antedichos en el almacén de semi-elaborados. Al integrar una unidad IFOG T2, las planillas de cada sub-ensamble retirado de este último almacén conformarán parte de la documentación de trazabilidad de la unidad ensamblada.
- Preparación de las instalaciones edilicias para darle soporte al nuevo esquema de producción.

El último ítem hace mención a la preparación a nivel edilicio. Esto se vincula con la idea de la puesta en marcha de una planta piloto para la evaluación de los procesos de producción. Es necesario entonces, disponer de los distintos espacios físicos acordes a cada uno de los diversos procesos involucrados.

Actualmente, los espacios disponibles se han organizado de modo tal de separar las tareas según su tipo y considerando la secuencia dentro del proceso de producción, logrando compatibilizar las tareas que son realizadas dentro de cada espacio así como también facilitando el flujo de los productos semi-elaborados (ver mayores detalles en [5]). A continuación se enumeran los espacios físicos que han sido generados:

- Sala de integración óptica.
- Sala de integración electrónica.
- Sala de integración mecánica.
- Sala de ensayos y bobinados de fibra óptica.
- Almacén.
- Oficina Técnica.

Dentro de la sala de integración electrónica se realiza también la integración final de todos los sub-ensambles, así como dentro de la sala de integración mecánica se resuelven las cuestiones de mantenimiento general.

La idea de la planificación de una planta piloto ha surgido en forma espontánea luego de llevar adelante el conjunto de iniciativas antedichas. Las iniciativas por separado convergen naturalmente en la idea de una planta piloto cuando se piensa a las mismas dentro de un espacio físico acorde.



Figura 1 *Detalle del almacén de partes y componentes.*

### **3.4. Funciones de la planta piloto**

La planta piloto, según [6], es un escenario de ensayo y simulación que permite el refinamiento de los procesos de producción. En este sentido, se intenta que cada sub-ensamble y el sistema completo puedan ser fabricados en condiciones similares a las finalmente empleadas.

Las diferencias básicas con la planta definitiva son:

- se ensaya la fabricación de los sub-ensambles en forma aislada, en términos temporales, de los restantes sub-ensambles.
- los niveles de producción en serie son acotados, aunque lo suficientemente grandes como para poder realizar estimaciones temporales razonables de los procesos.

La planta piloto debe permitir la evaluación de los procesos a partir de los datos obtenidos y lograr su optimización. El trabajo en cada uno de estos temas, permitirá luego, armar una planta de producción definitiva con metodologías y procedimientos de producción refinados y acordes con la escala productiva que se establezca.

De acuerdo con los recursos disponibles, la depuración de procesos puede ser tal que se logren diferentes grados de aproximación a los procedimientos aplicables a un sistema de producción final serializado. En particular, este Grupo de trabajo ha optado por trabajar en los procesos de los sub-ensambles y en el ensamble final. No se dispone actualmente de los recursos humanos necesarios para ensayar la simultaneidad de los procesos. Esto último no es un dato menor, ya que impone un nuevo desafío para la migración desde la planta piloto hacia una planta definitiva de producción.

### **3.5. Migración a una planta piloto**

Necesariamente para esta tarea, se debe generar como mínimo un área de ingeniería del producto y otra de la producción, separadas pero ambas íntimamente relacionadas. Un área de logística y compras, otra de calidad y una de mantenimiento deberían acompañar el proyecto sin lugar a dudas. Estas cuestiones dependerán de los recursos económicos y humanos disponibles en un futuro.

Centrando la atención en las áreas de ingeniería del producto y de la producción, es preciso especificar sus incumbencias y como deben interactuar.

El modelo actual de producción utiliza los mismos ingenieros avocados al diseño para la producción de las unidades. En el nuevo esquema, los actuales ingenieros deberán delegar parte de sus incumbencias para convertirse en ingenieros del producto o de la producción según corresponda.

#### **3.5.1. Área de Ingeniería del Producto**

Las tareas fundamentales del área de ingeniería del producto deberán ser:

- Desarrollar y mejorar el producto basándose en innovaciones que mejoren su desempeño o en pedidos del área de la producción para facilitar su manufactura.
- Optimizar el diseño para minimizar la cantidad de tipos de componentes utilizados buscando minimizar los requerimientos impuestos al almacén y al área de compras si existiera.
- Realizar pruebas funcionales de los nuevos diseños, y el proceso de calificación de los mismos luego de cada modificación.
- Intervenir en las pruebas funcionales de los sub-ensambles producidos en caso de fallas, realizando la búsqueda de los elementos problemáticos mediante análisis.
- Ejecutar la actualización y la mejora permanente de la documentación de la ingeniería del producto, así como también los procedimientos de integración. Éstos últimos podrán tener aportes importantes provenientes del área de la producción.

#### **3.5.2. Área de la Producción**

Las tareas fundamentales del área de la producción deberán ser:

- Desarrollar y buscar métodos que mejoren la estabilidad de los procesos, lo que puede requerir un trabajo conjunto con el área de ingeniería del producto.
- Brindar formación (capacitación y entrenamiento) a los operadores en el uso de las máquinas, las herramientas y los procesos.
- Asegurar el adecuado mantenimiento preventivo del equipamiento, involucrando al área de mantenimiento si existiera.
- Generar recomendaciones al área de ingeniería del producto para simplificar, mediante el rediseño de los sub-ensambles, las tareas de producción.
- Ejecutar las evaluaciones funcionales de los sub-ensambles, solicitando la intervención del área de ingeniería del producto en el caso de ser detectadas anomalías funcionales.

El flujo de las materias primas, sus etapas de manufactura y evaluación hasta la obtención del producto final, es mostrado en la Figura 2 en forma sintética. En la misma se marcan los puntos fundamentales del proceso productivo en donde se ejecutan análisis de cumplimiento de calidad.

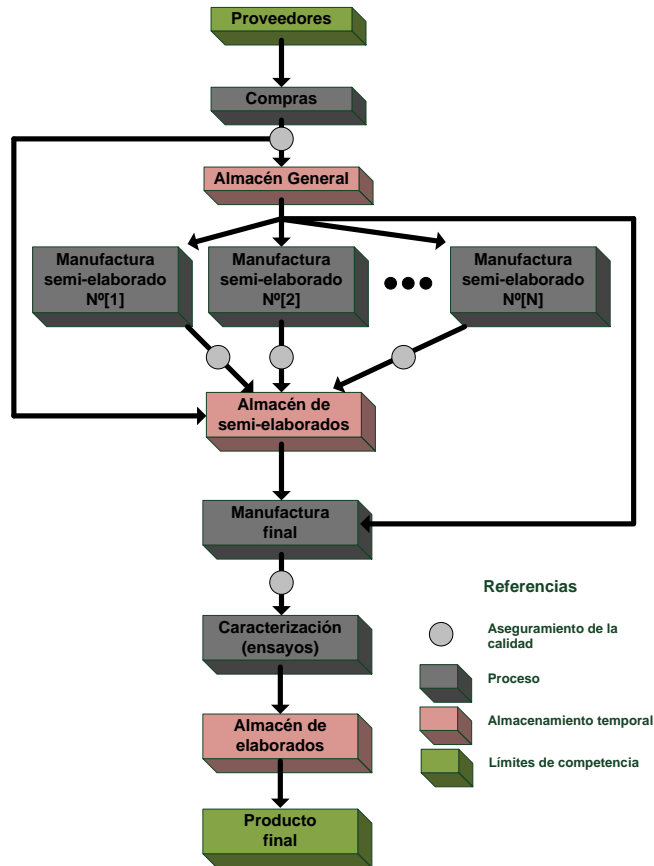


Figura 2 Diagrama de flujo donde se muestra el proceso, desde la obtención de las materias primas hasta el producto final, considerando puntos de aseguramiento de la calidad.

#### 4. RESULTADOS PARCIALES

A fin de preparar los procesos de manufactura para ser puestos en práctica en el contexto de una planta piloto, se realizaron pruebas sobre algunos de los procesos de la cadena de producción. Estas pruebas consisten en reformular los procedimientos de ensamble de los semi-elaborados apuntando a fabricar una cantidad de diez unidades IFOG T2. Lo anterior consiste en configurar y mejorar las planillas de evaluación funcional y ajustar los procedimientos de integración de cada sub-ensamble. En un corto plazo se comenzará, a partir de los sub-ensambles, la producción de las unidades IFOG T2 mencionadas.

A partir del análisis de las planillas de evaluación funcional se ha obtenido información estadística sustancial de algunos procesos involucrados en la manufactura de la unidad IFOG T2, conforme a lo explicado en [2]. En la Figura 3 se muestran las variaciones encontradas durante las verificaciones funcionales en las mediciones ejecutadas sobre cinco puntos de prueba llamados TP5, TP21, TP18, TP11 y TP19, para diez sub-ensambles fabricados en serie. Sobre cada sub-ensamble se introdujeron una dada cantidad de puntos de prueba que acusan el correcto funcionamiento de cada parte del sub-ensamble en cuestión. En dichos puntos de prueba se miden tensiones eléctricas que son registradas y comparadas con valores de referencia. Puede observarse en la Figura 3 que en el eje horizontal se muestra el código asignado (número de serie) al sub-ensamble sobre el que se realiza la medición (esto es BD016, BD014, BD023, etc.).

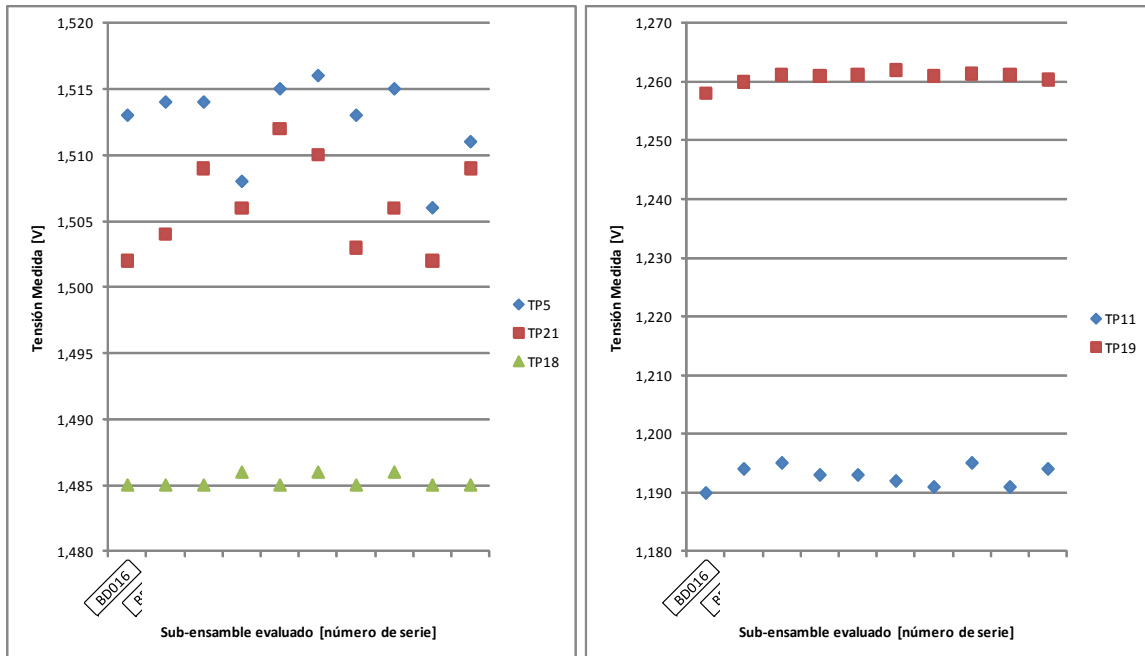


Figura 3 Comportamiento de las mediciones realizadas durante las evaluaciones funcionales para cinco puntos de prueba particulares y diez sub-ensambles fabricados en serie.

En el caso de los sub-ensambles electrónicos, por ejemplo, se sabe hasta el momento que el 93% de los mismos no tienen defectos de manufactura y que al 7% restante se los ha podido reparar sin mayores complicaciones. Por otro lado se observa que las dispersiones de las mediciones acusan gran repetibilidad relativa. La aplicación sistemática de las mismas prácticas de manufactura en todos los sub-ensambles y el uso de componentes pertenecientes a los mismos lotes de compra, reflejan este comportamiento. Esto contribuye a la estabilización de este proceso de manufactura en particular.

Por otra parte, se observó que las planillas de evaluación funcional brindaron valores estadísticos de los puntos de pruebas de los sub-ensambles: valores medios y desviaciones estándar de los parámetros físicos medidos. Esto permitió ajustar los valores de las cotas consideradas como aceptables o no aceptables en las propias evaluaciones funcionales.

También, se han relevado los tiempos de manufactura (estos tiempos se los considera objetivos de optimización). Debido a la gran cantidad de tipos de componentes, gran parte del tiempo de manufactura está vinculado con la búsqueda en el almacén de las partes y los componentes. Esto sucede principalmente en los ensambles electrónicos, donde un diseño tiene del orden de 80 tipos de componentes, lo que se traduce en igual número de búsquedas y anotaciones de extracción de los materiales del almacén. A medida que se gane experiencia en este sentido, se buscará un valor óptimo de ensambles simultáneos por operador, que mejore la eficiencia temporal de cada uno.

## 5. CONCLUSIONES

Pese a la complejidad que implica producir unidades IFOG T2 en forma serializada, se han dado los primeros pasos para afrontar dicho desafío. Establecer una planta piloto como primer objetivo, permite minimizar el impacto de la transición del modelo de producción, mediante un ordenamiento y refinamiento de los procedimientos.

La experiencia alcanzada hasta el momento, basada en la observación y evaluación de las mediciones realizadas sobre los puntos de prueba de los ensambles, las mediciones temporales de los procesos, y otras consideraciones, nos revela que, incluso con escasos recursos humanos y económicos, es posible avanzar en los preparativos del sistema para alcanzar una producción en serie.

Este Grupo cree que es un paso necesario e inevitable a través del cual, se están incorporando muchos nuevos conceptos y problemáticas asociadas a la fabricación a mayor escala de estos sensores.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Mineo, Marcos; Skou, Pedro; Alustiza, Diego. (2014) "Posicionamiento de sensores IFOG argentinos en el mapa actual internacional". *ARGENCON 2014*, Bariloche, Argentina.
- [2] Zandin, Kjell. (2005). *Maynard Manual del ingeniero industrial*. Mc Graw Hill.
- [3] Torres, Mikel Mauleón. (2003). *Sistemas de Almacenaje y Picking*. Ediciones Diaz de Santos.
- [4] Vollmann, Thomas; Berri, William; Whybark, Clay; Jocab, Robert. (2005). *Planeación y control de la producción. Administración de la cadena de suministros*. Mc Graw Hill.
- [5] Krajewski, Lee; Ritzman, Larry. (2000). *Administración de operaciones: estrategias y análisis*. Alhambra Mexicana.

## Agradecimientos

Los autores de esta publicación desean agradecerle a la Ing. María Laura Haidar por su gran aporte durante todos estos años, evacuando sistemáticamente las dudas del Grupo en todo lo que concierne a la ingeniería de producción y producto.