

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



## **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“MODERNIZACIÓN DEL CENTRO DE MANTENIMIENTO  
ELECTRÓNICO NIVEL III DE LA ARMADA DEL ECUADOR”**

### **EXAMEN DE GRADO (COMPLEXIVO)**

Previa a la obtención del grado de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN  
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

**ESTEBAN ADRIÁN PAGUAY TACO**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2015**

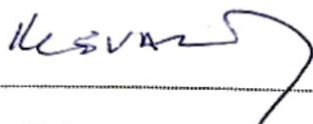
## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por las bendiciones que me ha dado. A mis padres por ser el pilar fundamental de mi vida y un ejemplo digno a seguir. A mi amada Esposa por ser mi fortaleza e inspiración.

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a la memoria  
de mi Madre y su amor incondicional.

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



**Mg. Holger Cevallos U.**

PROFESOR DELEGADO  
POR LA UNIDAD ACADÉMICA



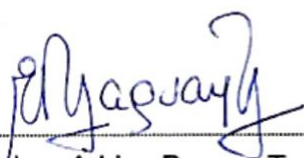
**Ing. Elio Sánchez G.**

PROFESOR DELEGADO  
POR LA UNIDAD ACADÉMICA

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este Informe me corresponde exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



---

Esteban Adrian Paguay Taco

## RESUMEN

La Armada del Ecuador creó en el año 1997, el Centro de Mantenimiento Electrónico Nivel III, con la finalidad de contribuir al mantenimiento de los sistemas electrónicos de los Repartos Navales. Este Centro tiene la capacidad para diagnosticar y reparar tarjetas y módulos electrónicos de tipo analógico, digital y de radio frecuencia.

En los últimos se evidenció factores externos e internos que afectaban su productividad, reflejada en el aumento del tiempo que se requería para la reparación de las tarjetas y módulos electrónicos, siendo las principales causas: la obsolescencia de los repuestos, la limitación tecnológica de sus equipos y la falta de conocimiento del personal para trabajar con componentes SMC<sup>1</sup>.

Para superar estas debilidades y luego de un proceso de análisis se ejecutó un proyecto de modernización que se enfocó en: la renovación del equipamiento de cada uno de sus laboratorios, la ampliación de la infraestructura, la implementación de nuevos laboratorios y la capacitación del talento humano todo a fin de adquirir nuevas capacidades y fortalecer las actuales.

Al finalizar el proyecto el Centro tiene la capacidad de diagnosticar, reparar y fabricar tarjetas electrónicas que emplean componentes THT<sup>2</sup> o SMC.

---

<sup>1</sup> SMC, Surface Mount Component.[1]

<sup>2</sup> THT, Through-Hole Technology.[2]

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
RESUMEN .....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
INTRODUCCIÓN .....	viii
CAPÍTULO 1 .....	1
1. SOLUCIÓN TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA.....	1
<b>1.1 Causas y efectos de los factores que afectan Nivel III .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.1 Obsolescencia logística de los repuestos.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.2 Limitación tecnológica de los equipos de diagnóstico y reparación.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.3 Falta de capacitación del talento humano .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Solución tecnológica implementada.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1 Creación de la División de Desarrollo y fabricación de tarjetas.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2 Modernización de los laboratorios.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.3 Falta de capacitación del talento humano .....</b>	<b>7</b>
CAPÍTULO 2.....	8
2. RESULTADOS OBTENIDOS.....	8
<b>2.1 Implementación del laboratorio de fabricación de tarjetas....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Modernización de los laboratorios.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Capacitación del Talento Humano .....</b>	<b>13</b>
<b>2.4 Actualización de software.....</b>	<b>14</b>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	15
BIBLIOGRAFÍA.....	17

## INTRODUCCIÓN

La Logística Operativa busca la solución a los problemas logísticos, derivados de la necesidad de proporcionar medios de personal, material y servicios a las Fuerzas Armadas. La determinación de las soluciones, basado en el estudio teórico y la ejecución práctica, se lo ha definido como Esfuerzo Logístico Operativo.

El Esfuerzo Logístico Operativo actúa sobre siete Funciones Logísticas, las cuales son: Personal, Sanidad, Abastecimientos, Mantenimiento, Desarrollo de Bases, Transporte y Finanzas.

La Función Logística de Mantenimiento, tiene como finalidad que el material se encuentre en perfecto estado de eficacia, para lo que se han establecido cuatro niveles de mantenimiento: el Primer Nivel, que consiste en las reparaciones, que se realiza en el reparto con los recursos humanos y materiales propios, el Segundo Nivel son las acciones de ejecución ocasional y periódica que cumple la dotación, con apoyo de equipos, instalaciones o personal especializado del organismo técnico respectivo, el Tercer Nivel es el mantenimiento que por su magnitud y complejidad debe ejecutarse con medios y personal especializado de los talleres y maestranzas, mientras que el Cuarto Nivel es realizado por las empresas fabricantes del equipo.

Para cumplir con esta estructura escalonada del mantenimiento, la Armada del Ecuador, creó el Departamento de Mantenimiento Electrónico Nivel III, siendo su inauguración el 8 de agosto de 1997. La función principal de este Departamento es



“Mantener un alto grado de calidad y confiabilidad en las reparaciones electrónicas encomendadas” [3].

En el año 2010 se determinó que existían factores externos e internos que afectan la productividad del Nivel III, por lo que fue necesario realizar un análisis para determinar las causas, los efectos y las condiciones en que se producían los problemas.

En el primer capítulo se detallan los resultados del análisis realizado que involucra básicamente tres aspectos: la obsolescencia logística de los repuestos, la limitación tecnológica de sus equipos y la falta de capacitación del talento humano.

En el segundo capítulo se detallan las soluciones planteadas y alcanzadas en el proyecto, que se refieren a: la creación de los laboratorios de desarrollo y de fabricación de tarjetas, la modernización de los laboratorios y la capacitación del personal.

Finalmente en las conclusiones y recomendaciones se abarca de manera resumida los logros alcanzados al finalizar el proyecto.

## CAPÍTULO 1

### 1. SOLUCIÓN TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA

El Centro de Mantenimiento Electrónico desde su creación a través del sistema SAI<sup>3</sup> lleva un adecuado registro estadístico de la órdenes de trabajo solicitadas y las solucionadas, con estos datos proporcionados se determinó que entre los años 1997 y 2003 el nivel de productividad de Nivel III tenía un promedio anual del 86%; mientras que, el promedio entre el 2004 y 2009, el promedio fue del 66%, lo que significa que decreció en un 20%.

Al mantenerse esta tendencia, el Nivel III no tendría la suficiente capacidad para contribuir adecuadamente al mantenimiento de los equipos electrónicos de los diferentes Repartos Navales, obligando a que las reparaciones que se requieran

---

<sup>3</sup>SAI (Sistema Administrativo Integrado), software implementado en Nivel III para el control, seguimiento y registro del avance de las solicitudes de trabajo

deban ser realizadas por organismos externos a la Armada, aumentando así la dependencia tecnológica extranjera y los gastos del mantenimiento.

Se realizó el respectivo análisis de la situación de Nivel III determinándose que las principales causas que influyeron para la disminución del grado de eficiencia del Nivel III eran:

1. Obsolescencia logística de los repuestos para las tarjetas y módulos electrónicos.
2. La limitación tecnológica de los equipos de diagnóstico y reparación.
3. La falta de capacitación del talento humano.

## **1.1 Causas y efectos de los factores que afectan Nivel III**

### **1.1.1 Obsolescencia logística de los repuestos.**

Desde el año 2010, la Armada del Ecuador empezó un proceso escalonado de modernización de sus sistemas electrónicos instalados a bordo de las unidades navales, por lo que hasta la presente fecha existen aún equipos electrónicos con tecnología de los años 80's que emplean tarjetas con componentes THT y que es necesario mantener su operatividad.

Por el avance vertiginoso de la tecnología, muchos de los repuestos requeridos para las reparaciones se encuentran logísticamente obsoletos por lo que no existen en el mercado o si existen su costo aumenta así como los tiempos de entrega.

Se consideró como una posible solución la adquisición de componentes electrónicos de reemplazo, sin embargo sus características eléctricas y físicas difieren porque no cumplen con el estándar militar.

Como resultado final, se tiene el aumento del tiempo para reparar una tarjeta por la carencia de repuestos, la calidad del repuesto o el periodo de entrega.

### 1.1.2 Limitación tecnológica de los equipos de diagnóstico y reparación.

Desde su creación el Centro de Mantenimiento Electrónico de Nivel III, no ha realizado ninguna actualización de su equipamiento, por lo que, su capacidad de producción estaba orientada a dar solución exclusivamente a tarjetas o módulos con componentes THT y por ende, tenían una deficiencia en cuanto al diagnóstico y reparación de tarjetas electrónicas con tecnología de última generación, es decir tarjetas que emplean componentes SMC.

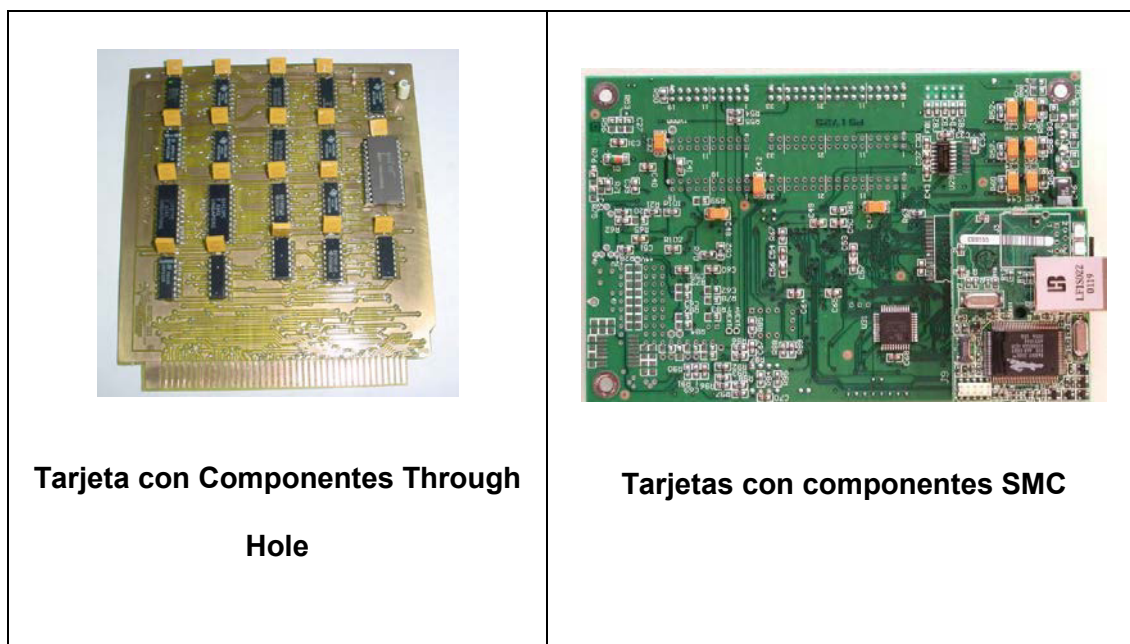


FIGURA 1.1. Tarjetas Electrónicas

Esta limitación de los equipos fue aún mayor, debido a que la Armada del Ecuador como parte de los proyectos de modernización de sus unidades, ha y está incorporando equipos del estado del arte. En estos sistemas todas sus tarjetas electrónicas emplean componentes SMC.

Las tarjetas con componentes SMC debían ser diagnosticadas de manera manual, lo que demanda una mayor cantidad de tiempo, debido a la concentración de componentes y a la dificultad de manipular los mismos.

### **1.1.3 Falta de capacitación del talento humano**

El personal de Nivel III tiene un alto grado de preparación en diferentes áreas de la electrónica, sin embargo, existía poco conocimiento del empleo de dispositivos electrónicos SMC y del manejo de software de diseño, simulación y control.

Este nivel de conocimiento es necesario para aplicarlo durante el rediseño y la reparación de tarjetas, a fin de buscar soluciones a corto plazo empleando componentes SMC.

En este proceso de análisis se determinó que el personal no estaba actualizado en su certificación de normas IPC [4].

## **1.2 Solución tecnológica implementada.**

Ante las deficiencias determinadas anteriormente, se decidió emprender un proyecto de modernización del Centro de Mantenimiento Electrónico Nivel III, con un costo total de 2'873.212.00 con un plazo de ejecución de dos años.

El proyecto tuvo como objetivo “Desarrollar en el Centro de Mantenimiento y Reparación Electrónica (Nivel III) de la Fuerza Naval, la capacidad de innovación tecnológica en los procesos de diseño, reingeniería y fabricación de tarjetas, módulos y componentes electrónicos a nivel de hardware y software para solventar los problemas de obsolescencia logísticos del material de las Fuerzas Armadas e Instituciones del Estado y disminuir los altos costos que se egresan del país en reparaciones”.

Como hitos a cumplir se plantearon las siguientes soluciones:

- La creación de los laboratorios de desarrollo y de fabricación de tarjetas.
- La modernización de los laboratorios.
- La capacitación del personal.

#### **1.2.1 Creación de la División de Desarrollo y fabricación de tarjetas.**

De las causas anteriormente determinadas se verificó que era necesario buscar una solución para la falta de repuestos y un correcto aprovechamiento del talento humano. A fin de lograr este objetivo se planteó como alternativa la creación de la División de Desarrollo, la cual está encaminada a buscar soluciones a las tarjetas que por falta de repuestos no pueden ser reparadas, investigando alternativas más económicas que involucren el empleo de

componentes electrónicos de tecnología actual, tales como: microprocesadores<sup>4</sup>, DSP<sup>5</sup>, FPGA<sup>6</sup>, etc., logrando disminuir el tiempo que se requiere para efectuar el proceso de adquisición de repuestos. Por lo tanto su función estará encaminada a la modificación de las tarjetas electrónicas.

Para complementar el proceso de rediseño de las tarjetas se determinó la necesidad de implementar el laboratorio de fabricación de PCB's con adecuados estándares de calidad, por lo que se adquirieron todos los equipos necesarios para cumplir con este objetivo.

### **1.2.2 Modernización de los laboratorios**

Debido a la limitación tecnológica de los equipo del Centro de Mantenimiento Electrónico, el mayor esfuerzo económico del proyecto fue orientado a reemplazar los equipos con modernos sistemas que puedan trabajar con tecnología THT y SMC.

Los laboratorios modernizados fueron: diagnóstico digital, analógico y de RF y se completó el equipamiento en el laboratorio de reparaciones. En cuanto a hardware para los laboratorios se adquirieron equipos a las empresas SPEA, PACE, AGILENT, BUNGARD, National Instrument, etc.

De igual manera dentro del proyecto se consideró la actualización y adquisición de software con sus respectivas licencias, para el diseño, simulación o control.

---

4 Microprocesadores El microprocesador es un circuito integrado que contiene todos los elementos necesarios para conformar una "unidad central de procesamiento

5 DSP Procesadores Digitales de Señales, componente que trabaja con señales digitales

6 FPGA (Field Programmable Gate Array) dispositivo semiconductor que contiene bloques de lógica cuya interconexión y funcionalidad se puede programar

### **1.2.3 Falta de capacitación del talento humano**

Para enfrentar lo nuevo retos el personal del Nivel III, se verificó que era fundamental capacitar al personal en tres grandes áreas:

- Operación y mantenimiento de los equipos nuevos.
- Capacitación en el empleo de componentes SMC, software de diseño, etc.
- Certificación del personal en normas IPC.

Al finalizar los cursos el personal adquirió las competencias necesarias para diagnosticar, reparar y rediseñar tarjeta o módulos electrónicos empleando componentes SMC.



## **CAPÍTULO 2**

### **2. RESULTADOS OBTENIDOS**

El Departamento de Nivel III desde su creación se ha constituido en un órgano fundamental dentro de la cadena del mantenimiento, de tal forma que hasta el momento se han generado 11.664 solicitudes de trabajo y se han finalizado 10.302, lo que ha representado tener un alto grado de independencia tecnológica extranjera y un ahorro de recursos económicos para la institución.

Con la modernización se ha logrado repotenciar el centro de mantenimiento Nivel III con una visión de dar soporte a los modernos equipos que se han instalado o están en proceso de instalación de acuerdo al Plan de Fortalecimiento del Poder Naval.

NIVEL III, ha participado en varias ferias de tecnología siendo la última en la Ciudad del Conocimiento YACHAY, actualmente se está en un proceso de reestructuración para poder extender los servicios de Nivel III, hacia la empresa privada.

Dentro de los principales trabajos desarrollados por Nivel III se puede mencionar los siguientes:

- Fabricación de tarjeta de control del montaje 4,5 de la FRAPAL y FRAMOR.
- Fabricación de tarjeta núcleo del sistema IPN -10 de las corbetas.
- Fabricación de tarjetas de control para el IEE.
- Reparación de tarjetas para las aeronaves de la Fuerza Aérea.

### **2.1 Implementación del laboratorio de fabricación de tarjetas.**

A fin de completar todo el proceso de rediseño de las tarjetas, se implementó el laboratorio de fabricación de tarjetas con la adquisición y puesta en marcha de los siguientes equipos:

- NE-CUT, board cutter.
- Bungard CCD/ATC (Automatic tool-change).
- Brushing machine RBM 402 KF, width 400 mm.
- Brushing machine RBM 402 KF, width 400 mm.
- Compacta 40 ABC 2 CU, board size 300 X 400.
- Dry film laminator type RLM 419P.
- EXP 8000 parallel beam exposure machine.
- DL500D conveyorised spray developing.

- Multilayer press RMP 210
- Photoplotter filmstar USB 8600 DPI
- Ionex KB water treatment system



**Figura 2.1. Equipos de fabricación de tarjetas [5]**

Con este equipamiento se logró adquirir la capacidad de fabricar PCB's con adecuados estándares de calidad, logrando así completar el ciclo dado que se tiene la capacidad de diseñar el circuito, fabricar la PCB's y finalmente montar los componentes.

## 2.2 Modernización de los laboratorios.

Previo la modernización del Centro de mantenimiento electrónico, los laboratorios estaban implementados con equipos de diagnóstico, reparación y accesorios que habían cumplido su vida útil o que tenían limitaciones tecnológicas, siendo necesario su reemplazo.

### **Laboratorio de diagnóstico de radio frecuencia.**

Este laboratorio posee un banco de pruebas para módulos de RF conformado por equipos tales como: generadores, analizadores de espectro, medidores de potencia, osciloscopios, fuentes de poder y multímetros que sirven para realizar diagnósticos funcionales de tarjetas y módulos con componentes de media y alta frecuencia. El funcionamiento de este banco es controlado por el software LabView<sup>7</sup> cuando opera de manera automática.

Al finalizar el proyecto se realizó el reemplazo de los equipos que se encontraban dañados o que tenían limitaciones tecnológicas, lográndose recuperar las capacidades del banco de pruebas. Los equipos adquiridos se detallan a continuación:

- Analizador de espectro N9020A-526 Agilent.
- Medidor de potencia E4418B Agilent.
- Osciloscopio DSO5054 Tektronix.
- Generador de RF N5183A Agilent.

### **Laboratorio de digitales.**

Este laboratorio tiene como tarea el diagnóstico de tarjeta con componentes digitales, para lo cual empleaba la estación de Diagnóstico CLIPTEST 200AD controlada por un software especializado de la empresa SPEA. Esta estación sólo

---

<sup>7</sup>LabView es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G.

tiene capacidad para diagnosticar tarjetas con componentes THT por lo que tiene limitaciones tecnológicas. Fue reemplazada por la estación Flying probe 4040, que tiene capacidad de diagnóstico de tarjetas con componentes SMC y THT.

Con el cambio del equipo se logró fortalecer el diagnóstico de módulos digitales y se puede atender a los requerimientos de reparación de los modernos equipos instalados en los Repartos Navales.

#### **Laboratorio de diagnóstico analógico.**

Este laboratorio tiene como tarea el diagnóstico de tarjeta con componentes para lo cual empleaba la estación UNITEST 100AP controlada por un software especializado de la empresa SPEA. Esta estación por su tiempo de vida útil presentaba varios problemas que no podían ser reparados y que limitan su capacidad. Como parte del proyecto se adquirió la estación UNITEST 500ADP, con capacidades mayores a la UNITEST principalmente por su característica de analizar componentes digitales electrónicos en el mismo banco de pruebas.

#### **Laboratorio de reparaciones**

Este laboratorio está conformado por cuatro estaciones de soldar modelo PRC 2000, que permiten la ejecución de reparaciones y cambio de componentes de las tarjetas electrónicas.

Debido al alcance del proyecto y a las nuevas capacidades del centro de mantenimiento fue necesario adquirir la estación de soldar IR 3000 controlada por software para componentes BGA.

Con este equipo, se tiene la capacidad de montar o desmontar cualquier elemento electrónico SMC.

### **2.3 Capacitación del Talento Humano**

La capacitación del talento humano es fundamental dentro de un proceso de modernización, debido a que no sólo se requiere del equipo sino de personas capaces de explotar las potencialidades de los sistemas, por lo que se ejecutaron los siguientes cursos o seminarios:

- Capacitación en operación y mantenimiento de estación de diagnóstico Flying Probe – ITALIA
- Capacitación en operación y mantenimiento de estación de diagnóstico UNITEST 500ADP – Italia.
- Implementación avanzada de FPGA.
- Curso “RF measurements fundamentals” & “RF application development”.
- Curso “Modeling & simulation of RF electronic warfare systems”.
- Curso de aceptabilidad en soldadura electrónica J-STD-001 (USA).
- Curso de reparación y modificación electrónica IPC-7711/7721 (USA).
- Curso de LABVIEW FPGA
- Curso de aceptabilidad en ensamblaje cableado electrónico IPC-A-610C/5-STD-001C (USA).

- Curso de diseño de circuitos impresos con normas internacionales IPC.
- Capacitación en operación y mantenimiento del equipo IR 3000.
- Curso de Software Altium Designer.
- Curso de operación de equipos de fabricación de tarjetas.

#### **2.4 Actualización de software.**

Como parte de la ejecución del proyecto se adquirieron software de simulación y de diseño tales como: Protel Altium Design 6.9., Eagle 5.2.3, Proteus 7.2 y Pspice 5.0.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

1. La implementación de nuevos equipos de diagnóstico, reparación y fabricación así como la capacitación del talento humano permitirán que el Centro de Mantenimiento Electrónico Nivel III tenga la capacidad tecnológica para reparar y fabricar tarjetas electrónicas con componentes THT y SMC.
2. La creación de la División de Desarrollo, con adecuados equipos de investigación y personal capacitado, permitirán buscar soluciones a las tarjetas que por falta de repuestos no pueden ser reparadas, con alternativas económicas que involucren el empleo de componentes electrónicos de tecnología actual así como disminuir la dependencia tecnológica extranjera.



3. La experiencia y la tecnológica implementada en Nivel III le permitirá a las Fuerzas Armadas que pueda dar sus servicios a empresas privadas

### **Recomendaciones**

1. Para un mejor servicio se debe propender a conseguir la acreditación y certificación del Nivel III.
2. Impulsar una figura legal para poder brindar los servicios de Nivel III a la empresa privada.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Tecnología de montaje superficial,  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Tecnolog%C3%ADa de montaje superficial](http://es.wikipedia.org/wiki/Tecnolog%C3%ADa_de_montaje_superficial)., fecha de consulta enero 2015.
- [2] Tecnología de agujeros pasantes,  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Tecnolog%C3%ADa de agujeros pasantes](http://es.wikipedia.org/wiki/Tecnolog%C3%ADa_de_agujeros_pasantes), fecha de consulta enero 2015.
- [3] Manual por Procesos de la DIMARE, Armada del Ecuador, 2010
- [4]Asociation Connecting Electronics Industries  
<http://www.ipc.org/ContentPage.aspx?pageid=IPC-Fact-Sheet-Spanish>
- [5]Bungard Elektronik,,  
<http://www.bungard.de/old/deutsch1/spanisch/seiten/home.htm>, fecha de consulta enero 2015.