



UNIVERSIDAD PANAMERICANA  
CAMPUS GUADALAJARA

**"OPTIMIZACIÓN DE EQUIPOS DE SOLDADO  
ULTRASONICO EN EL PROCESO DE FABRICACION DE  
CABEZAS MAGNETICAS PARA DISCOS DUROS"**

**Carlos Sandoval Castro**

Tesis presentada para optar por el grado de Maestro en  
Optimización de Sistemas Productivos con  
Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios de la  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,  
según acuerdo número 994189 con fecha 09-VII-99.

Zapopan, Jal., Agosto del 2008





# UNIVERSIDAD PANAMERICANA CAMPUS GUADALAJARA



UNIVERSIDAD PANAMERICANA  
CAMPUS GUADALAJARA  
BIBLIOTECA

## **"OPTIMIZACIÓN DE EQUIPOS DE SOLDADO ULTRASONICO EN EL PROCESO DE FABRICACION DE CABEZAS MAGNETICAS PARA DISCOS DUROS"**

**Carlos Sandoval Castro**

Tesis presentada para optar por el grado de Maestro en  
Optimización de Sistemas Productivos con  
Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios de la  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,  
según acuerdo número 994189 con fecha 09-VII-99.

Zapopan, Jal., Agosto del 2008

CLASIF: TE MOS 2008 SAN

ADQUIS: F3305 E: 1

FECHA: 15/02/2010

DONATIVO: servicios  
escolares

[1a ed.]

99 h. ; 27 an. + 1 disco óptico de computadora; 4 3/4 plg.

Publicado también en forma electrónica en formato PDF a través de World Wide Web

621.38 SAN 2008

Tesis (Maestría) Universidad Panamericana Campus Guadalupe, 2009

Incluye referencias bibliográficas

1. Optimización de sistemas - Tesis y disertaciones académicas





**UNIVERSIDAD PANAMERICANA**  
CAMPUS GUADALAJARA

MAESTRÍA EN OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

Agosto 7, 2008

ING. FRANCISCO ERTZE  
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE  
EXÁMENES DE GRADO.  
P R E S E N T E:

Me permito hacer de su conocimiento que el Ing. Carlos Sandoval Castro de la Maestría en Optimización en Sistemas Productivos, ha concluido satisfactoriamente su trabajo de titulación con la alternativa Tesis , titulado:

**“OPTIMIZACIÓN DE EQUIPOS DE SOLDADO ULTRASONICO  
EN EL PROCESO DE FABRICACION DE CABEZAS  
MAGNETICAS PARA DISCOS DUROS”**

Manifiesto que, después de haber dirigida y revisada previamente, reúne todos los requisitos técnicos para solicitar fecha de Examen de Grado.

Agradezco de antemano la atención prestada y me pongo a sus órdenes para cualquier aclaración.

ATENTAMENTE

Mtro. Luis Felipe Guerrero Sandoval  
ASESOR DE TESIS



# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

CAMPUS GUADALAJARA

MAESTRÍA EN OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

## DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO.

Agosto 2008

Sr. Carlos Sandoval Castro

Presente.

En mi calidad de presidente de Comisión de Exámenes de Grado y después de haber analizado el trabajo de titulación presentado por usted en la alternativa de Tesis, titulado;

### **“OPTIMIZACIÓN DE EQUIPOS DE SOLDADO ULTRASONICO EN EL PROCESO DE FABRICACION DE CABEZAS MAGNETICAS PARA DISCOS DUROS”**

Le manifiesto que reúne los requisitos a que obligan los reglamentos en vigor para ser presentado ante el H. Jurado del Examen de Grado por lo que deberá de entregar siete ejemplares como parte de su expediente al solicitar el examen.

ATENTAMENTE

Mtro. Francisco Inmanol Ertze Encinas  
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN

## AGRADECIMIENTOS

Esta tesis es el resultado del trabajo realizado en el grupo de Ingeniería y desarrollo de Hitachi Global Storage Technologies México S.A. de C.V. específicamente en el área de Fabricación 1 para el proceso de Manufactura de cabezas magnéticas para discos duros. Terminarla no hubiera sido posible sin el apoyo y aliento de muchas personas que me gustaría mencionar aquí.

Antes que nadie, a mi esposa, por su cariño y comprensión quien me hace ver hacia adelante, a mi hijo por toda la alegría que ha traído a mi vida y a mi hija recién nacida que es una motivación más para superarme.

Al Ing. Joel Pérez, gerente de desarrollo de nuevos procesos, quien me brindo su confianza y su apoyo en la asignación de este proyecto. Al Ing. Juan Carlos Pérez, al Ing. Juan Pablo Ornelas, al grupo de Ingenieros de mantenimiento de FAB1 y al equipo de soporte del proveedor de los equipos de soldado Hesse & Knipps, en especial a William Maldonado y a Markus Hostkemper, quienes sin su ayuda este proyecto no se hubiera hecho realidad.

En general a todos los profesores de la Maestría en Optimación de Sistemas Productivos de la Universidad Panamericana que me mostraron nuevos horizontes del conocimiento en el área de la Ingeniería Industrial.

Al M. en C. José de Jesús García, quien fue mi mejor apoyo en los momentos difíciles de este y muchos otros proyectos.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Aspectos Generales del proceso de Wire Bonding .....	3
La metodología DMAMC.....	9
CAPITULO 1 – DEFINICIÓN DEL PROYECTO.....	11
1.1 Alcance del proyecto y validación del problema.....	12
1.1.1 Alcance.....	12
1.2 Definición del problema.....	16
1.2.1 Definición.....	16
1.2.2 Baseline o línea base.....	16
1.3 Métricos del proyecto.....	18
1.4 Objetivo del proyecto.....	19
CAPITULO 2 – MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DEL PROYECTO .....	21
2.1 Identificación de salidas del proceso.....	21
2.2 Mapa del proceso y simplificación.....	24
2.3 Matriz causa-efecto para identificación de variables críticas.....	25
2.4 Capacidad de los sistemas de medición.....	27
2.4.1 Defectivo tipo II.....	27
2.4.2 Fuerza de Tracción.....	30
2.5 Sistema de recolección de datos.....	33
2.6 Capacidad del proceso.....	34
CAPITULO 3 – ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DEL PROCESO Y SU CORRELACIÓN.....	37
3.1 Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF o en Inglés FMEA).....	37
3.1.1 AMEF - Parte 1. Evaluación Inicial.....	38
3.1.2 AMEF - Parte 2. Acciones e historial.....	39
3.2 Desarrollo y pruebas de hipótesis.....	42
3.2.1 Resultados de pruebas de hipótesis.....	45
3.2.2. Conclusiones de Pruebas de hipótesis.....	47
3.3 Plan para diseño de experimentos.....	47
CAPITULO 4 – MEJORA DE LAS CONDICIONES DEL PROCESO .....	48
4.1 Diseño y ejecución del experimento.....	48
4.1.1 Parámetros Actuales del Proceso.....	48
4.1.2 Experimentación.....	50
4.2 Obtención del modelo matemático del proceso.....	51
4.2.1 Programa de dos fases.....	51
4.2.2 Programa de tres fases.....	55
4.3 Validación del modelo.....	62
CAPITULO 5 – CONTROL DEL PROCESO.....	64
5.1 Optimización e implementación.....	64
5.1.1 Comparación con datos de Fuerza de Tracción.....	64
5.2 Control de las variables independientes y monitoreo de las dependientes.....	65
5.2.1 Hojas de verificación a nivel operador y mantenimiento.....	68
5.2.2 Gráficos de control y de monitoreo.....	69
5.2.3 Auditorias.....	72
5.3 Cierre del proyecto.....	73
5.3.1 Resultados Financieros.....	75
CAPITULO 6 – CONCLUSIONES.....	78
6.1 Conclusiones generales.....	78
6.2 Trabajo futuro.....	79
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	81

REFERENCIAS.....	85
APÉNDICE A. EQUIPO DE SOLDADO HESSE & KNIPPS BJ820 .....	86
APÉNDICE B. EQUIPO PARA FUERZA DE TRACCION DAGE 5000 .....	88
APÉNDICE C. TABLA DE NIVELES SIGMA .....	91
APÉNDICE D. ESCALAS DE SEVERIDAD, OCURRENCIA Y DETECCION UTILIZADAS EN EL AMEF .....	92
Escala de Severidad .....	92
Escala de Ocurrencia.....	93
Escala de Detección .....	94
APÉNDICE E. PLANES DE ACCIÓN PARA SITUACIONES FUERA DE CONTROL (OCAP'S).....	95
Alambres Despegados (Manufactura) .....	95
Alambres Despegados (Mantenimiento) – Parte 1 .....	95
Alambres Despegados (Mantenimiento) – Parte 2 .....	96
Alambres Despegados (Mantenimiento) – Parte 3 .....	97
Defectivo Tipo II (Manufactura y Mantenimiento).....	98
Fuerza de Tracción (Manufactura y Mantenimiento).....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 0. 1 Diagrama mostrando el ensamble de un Disco Duro y la posición del "slider" en el mismo .....	1
Figura 0. 2 Proceso de fabricación de cabezas magnéticas o "sliders" .....	2
Figura 0. 3 Fotografías del equipo de pulido: a la izquierda vista general, a la derecha detalle del interior mostrando los componentes principales .....	3
Figura 0. 4 Imágenes de los 3 tipos de defectivos causados por el alambre una vez soldado .....	4
Figura 0. 5 Distribución optima del proceso de soldado .....	5
Figura 0. 6 Representación geométrica de la relación que guarda la fuerza en el gancho con la fuerza máxima de ruptura del alambre (F1 y F2) .....	5
Figura 0. 7 Ilustración del efecto del ultrasonido y la fuerza aplicada sobre la aguja de soldado .....	6
Figura 0. 8 Curva de esfuerzo de elongación del alambre x ancho de la deformación .....	7
Figura 0. 9 Fotografías que ilustran (a la izquierda) la profundidad y (a la derecha) el ancho de la deformación del alambre soldado .....	8
Figura 0. 10 Correlación entre profundidad y ancho de la deformación del alambre .....	9
Figura 0. 11 Pasos de implementación de la metodología "DMAMC" .....	10
Figura 1. 1 Macro mapa del proceso .....	13
Figura 1. 2 Equipo para pruebas de fuerza de tracción DAGE 5000 .....	14
Figura 1. 3 Fotografía de la prueba de fuerza de tracción en un row .....	14
Figura 1. 4 Grafico de Control para lecturas de fuerza individuales .....	15
Figura 1. 5 Tendencia del defectivo tipo II durante el 2006. Nota: Se puede apreciar la variación del defectivo a lo largo del año, incluso sobre el Límite Superior de Control (LSC) .....	17
Figura 1. 6 Tendencia de monitoreo de fuerza de tracción durante 2006 .....	17
Figura 1. 7 Tendencia de los re-trabajos de soldado durante el 2006 .....	18
Figura 2. 1 SIPOC del proceso de soldado .....	21
Figura 2. 2 Diagrama de Ishikawa para identificación de las variables del proceso .....	23
Figura 2. 3 Mapa del proceso .....	24
Figura 2. 4 Pareto con las 14 variables más importantes resultantes de la ponderación de la matriz Causa- Efecto .....	27
Figura 2. 5 Resultados de estudio de R&R por atributos para auditoria de defectivo tipo II .....	28
Figura 2. 6 Resultados de estudio de R&R para prueba de fuerza de tracción .....	33
Figura 2. 7 Resultado del análisis de capacidad del proceso para defectivo tipo II .....	34
Figura 2. 8 Equivalencias de DPMO, yield, Cpk y nivel de sigma de los resultados mostrados en el estudio de capacidad del proceso .....	35
Figura 4. 1 Grafico de deformación del programa de una fase (el ciclo de soldado para cuando se alcanzan -0.0068 mm) .....	49
Figura 4. 2 Grafico de deformación del programa de una fase (mostrando una alta variación en términos del patrón de deformación de diferentes alambres) .....	49
Figura 4. 3 Representación esquemática de los dos perfiles de programación propuestos, basados en dos o tres fases de aplicación de parámetros de soldado .....	50
Figura 4. 4 Grafico de pareto de efectos sobre la variable de salida de la primera fase en el programa de dos fases .....	52
Figura 4. 5 Resultados de deformación para la primera de las dos fases con tiempo fijo de 7 milisegundos y diferentes combinaciones de USG y Fuerza. El objetivo optimo fue alcanzado por el grupo A1 (USG=10m-amp, Fuerza=20 c-N) .....	53
Figura 4. 6 Grafico de pareto de efectos sobre la variable de salida de la segunda fase en el programa de dos fases .....	54
Figura 4. 7 Resultados de deformación para la segunda de las dos fases en el intervalo de tiempo de 7 a 25 milisegundos, con diferentes combinaciones de USG y Fuerza. El objetivo optimo fue alcanzado por el grupo B1 (USG=20m-amp, Fuerza=20 c-N) .....	55
Figura 4. 8 Grafico de pareto de efectos sobre la variable de salida de la primera fase en el programa de tres fases .....	57

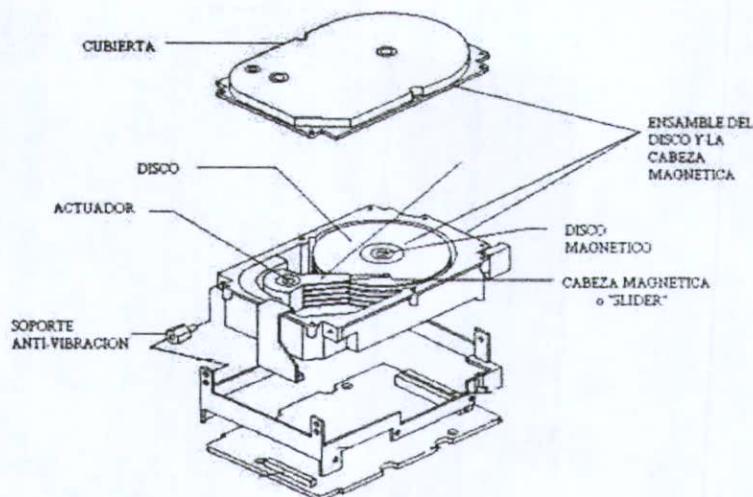
Figura 4. 9 Resultados de deformación para la primera de las tres fases con tiempo fijo de 10 milisegundos y diferentes combinaciones de USG y Fuerza. El objetivo optimo fue alcanzado por el grupo A1 (USG=10m-amp, Fuerza=15 c-N).....	57
Figura 4. 10 Grafico de pareto de efectos sobre la variable de salida de la segunda fase en el programa de tres fases.....	59
Figura 4. 11 Resultados de deformación para la segunda de las tres fases en el intervalo de tiempo de 10 a 20 milisegundos, con diferentes combinaciones de USG y Fuerza. El objetivo optimo fue alcanzado por el grupo B1 (USG=15m-amp, Fuerza=20 c-N).....	59
Figura 4. 12 Grafico de pareto de efectos sobre la variable de salida de la tercera fase en el programa de tres fases.....	61
Figura 4. 13 Resultados de deformación para el programa de tres fases utilizando diferentes combinaciones de USG y Fuerza entre las distintas fases. El objetivo óptimo fue alcanzado con una variación de aproximadamente 10%.....	61
Figura 4. 14 Grafico de deformación para el programa de dos fases, el cual muestra un patrón repetible entre los diferentes alambres.....	62
Figura 4. 15 Grafico de deformación para el programa de 3 fases, el cual muestra un patrón muy repetible entre los diferentes alambres.....	63
Figura 5. 1 Grafico de media y desviación estándar de medias donde se muestra el programa original (1 fase) comparado con los programas de 2 y 3 fases propuestos.....	64
Figura 5. 2 Grafico de media y desviación estándar de sigmas donde se muestra el programa original (1 fase) comparado con los programas de 2 y 3 fases propuestos.....	65
Figura 5. 3 Carta de monitoreo de defectivo tipo II por equipo de soldado.....	70
Figura 5. 4 Carta de control de media de fuerza de tracción por equipo de soldado.....	71
Figura 5. 5 Carta de control de desviación estándar de fuerza de tracción por equipo de soldado.....	71
Figura 5. 6 Grafico que muestra la correlación entra la fuerza de tracción correspondiente al mínimo de alambres despegados y defectivo tipo II.....	72
Figura 5. 7 Tendencia de defectivo tipo II posterior al cierre del proyecto.....	74
Figura 5. 8 Tendencia de fuerza de tracción posterior al cierre del proyecto.....	74
Figura 5. 9 Tendencia de alambres despegados posterior al cierre del proyecto.....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Factores de ponderación para la matriz Causa- Efecto .....	25
Tabla 2. 2 Matriz Causa – Efecto ponderada y ordenada .....	26
Tabla 2. 3 Evaluación de juicio de inspectores en acuerdo .....	29
Tabla 2. 4 Evaluación de juicio de inspectores vs el estándar .....	29
Tabla 2. 5 Resultados para el estudio de R&R de fuerza de tracción .....	31
Tabla 2. 6 Análisis de Varianza del R&R para Fuerza de Tracción .....	31
Tabla 2. 7 Componentes de la variación del R&R para Fuerza de Tracción .....	32
Tabla 2. 8 Variación total del R&R para Fuerza de Tracción .....	32
Tabla 3. 1 Análisis de Modo y Efecto de Falla para el proceso de soldado (wire bond) .....	40
Tabla 3. 2 Acciones y recalcu de NRP sobre mecanismos de falla fáciles de implementar o con valores elevados .....	41
Tabla 3. 3 Tabla de pruebas de hipótesis que muestra las 7 variables de entrada potenciales y sus niveles de experimentación tanto para la tarjeta como para el row .....	43
Tabla 3. 4 Tabla que describe el tipo de prueba de hipótesis a ejecutar en base a los tipos de variable tanto de entrada (X's) como de salida (Y's) .....	44
Tabla 3. 5 Tabla que muestra el detalle de las pruebas de hipótesis definidas .....	44
Tabla 3. 6 Resultados gráficos de las pruebas de hipótesis sobre la variable de salida de alambres despegados .....	46
Tabla 4. 1 Parámetros de proceso iniciales del equipo H&K BJ820 utilizando un programa con una sola fase de soldado (similar al equipo K&S) .....	48
Tabla 4. 2 Combinaciones de valores para USG y Fuerza categorizados por grupos y sus resultados de deformación para la primera fase en el programa de dos fases .....	51
Tabla 4. 3 Análisis de Varianza para la variable de salida de la primera fase en el programa de dos fases .....	52
Tabla 4. 4 Combinaciones de valores para USG y Fuerza categorizados por grupos y sus resultados de deformación para la segunda fase en el programa de dos fases .....	54
Tabla 4. 5 Análisis de Varianza para la variable de salida de la segunda fase en el programa de dos fases .....	54
Tabla 4. 6 Combinaciones de valores para USG y Fuerza categorizados por grupos y sus resultados de deformación para la primera fase en el programa de tres fases .....	56
Tabla 4. 7 Análisis de Varianza para la variable de salida de la primera fase en el programa de tres fases .....	56
Tabla 4. 8 Combinaciones de valores para USG y Fuerza categorizados por grupos y sus resultados de deformación para la segunda fase en el programa de tres fases .....	58
Tabla 4. 9 Análisis de Varianza para la variable de salida de la segunda fase en el programa de tres fases .....	58
Tabla 4. 10 Combinaciones de valores para USG y Fuerza categorizados por grupos y sus resultados de deformación para la tercera fase en el programa de tres fases .....	60
Tabla 4. 11 Análisis de Varianza para la variable de salida de la tercera fase en el programa de tres fases .....	60
Tabla 5. 1 Plan de control para el proceso de soldado (wire bond) .....	67
Tabla 5. 2 Elementos auditables por parte del proceso de auditoria del sistema de calidad .....	73
Tabla 5. 3 Ahorros en defectivo tipo II por cada millón de sliders .....	76
Tabla 5. 4 Ahorros en alambres despegados (productividad) .....	76
Tabla 5. 5 Tabla que resume los resultados obtenidos al final del proyecto .....	77

## INTRODUCCIÓN

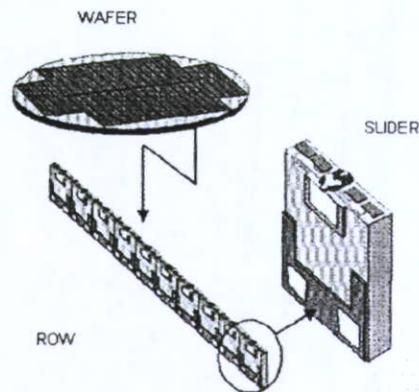
En una computadora, los discos sobre los que se almacenan los datos utilizan un sistema de grabación magnética analógica. Estos constan de una serie de platos metálicos apilados girando a gran velocidad sobre los cuales se sitúan las cabezas magnéticas (conocidas genéricamente como Sliders) y que son las encargadas de leer o escribir los impulsos magnéticos. Los componentes del disco duro se muestran en la **Figura 0. 1**



**Figura 0. 1** Diagrama mostrando el ensamble de un Disco Duro y la posición del "slider" en el mismo

La cabeza de lectura / escritura en un disco duro está muy cerca de la superficie, de forma que casi vuela por encima de ella sobre el colchón de aire formado por su propio movimiento. Debido a esto, los discos duros están cerrados herméticamente, porque cualquier partícula de polvo puede dañarlos.

La fabricación de cabezas magnéticas es un proceso que involucra varios pasos, comenzando por una serie de procesos de corte donde se logra que la oblea o "wafer" sea separada primeramente en una serie de cuadros o "quads" y estos a su vez se procesan en hileras o "rows", para finalmente ser convertidos en sliders, como se muestra en la **Figura 0. 2**



**Figura 0. 2** Proceso de fabricación de cabezas magnéticas o "sliders".

Una vez lograda esta separación y dadas ciertas condiciones mecánicas, el slider puede ser ensamblado en un disco duro, la superficie inferior de la cabeza magnética es modificada a través de procesos de nanofabricación.

Una de las principales tendencias dentro de la industria de fabricación de discos duros es la de lograr alcanzar una mayor capacidad en los mismos, gracias al incremento en la densidad de área sobre el sustrato o medio magnético, lo cual permite poder guardar cada vez mas información en los mismos. Dicho efecto se logra fabricando cabezas magnéticas con dimensiones y tolerancias mas estrechas que ni siquiera se imaginaban hace algunos años y una altura de vuelo (que se entiende como la distancia física entre la cabeza y el disco al momento de estar trabajando) cada vez menor.

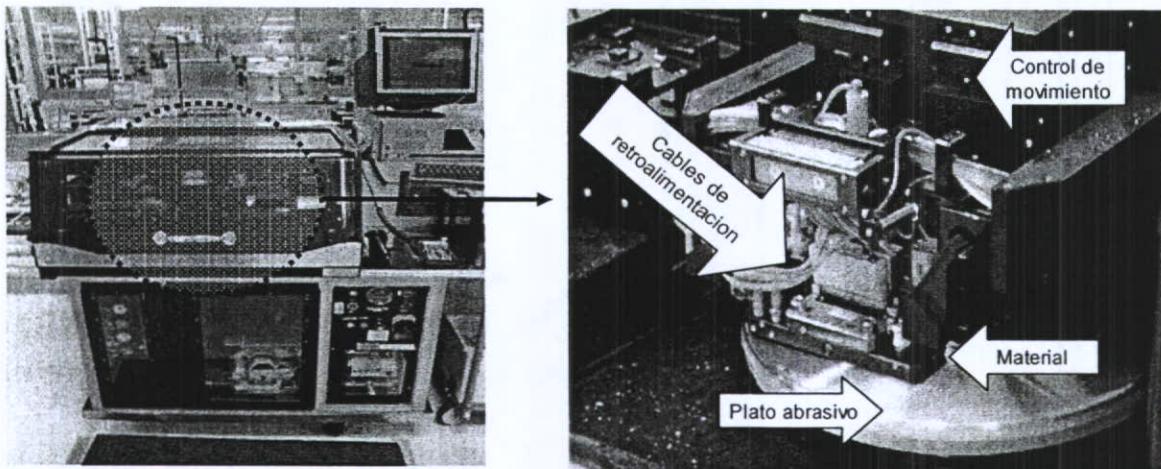
Esto convierte a la Industria de los discos duros en una de las más cambiantes del ámbito de fabricación de dispositivos electrónicos, aun por encima de la industria de los semiconductores que es una de las más fuertes del ramo. Dicha transformación se manifiesta en la continua necesidad de mejorar equipos y procesos con el fin de alcanzar los estándares que dicta la industria en un entorno dinámico de mejoras continuas.

Es para uno de estos procesos, el de Wire Bonding que el presente trabajo establecerá un entendimiento general de su principio de operación, partiendo de las restricciones propias del proceso, de la optimización del mismo, y apoyado por la metodología de DMAMC, la cual es la base de la filosofía Seis Sigma, teniendo como objetivo definir un proceso óptimo de manufactura.

Este trabajo es el resumen de mas de 9 meses de trabajo continuo en el desarrollo de un proceso de interconexión con un enfoque un tanto diferente a procesos similares necesarios en la industria de los semiconductores: un proceso de soldado en esta industria (semiconductores) se realiza de manera que el alambre permanece en posición a lo largo de todo el tiempo de vida del dispositivo; para nuestra aplicación es necesario procesar la conexión de tal manera que se garantice un monitoreo continuo de la parte al momento de procesarse, pero deberá ser removido una vez cumplida esta función y con el menor daño posible a la superficie de soldado del producto.

### Aspectos Generales del proceso de Wire Bonding

Como se ha mencionado la tendencia en la industria de los discos duros ha forzado a los procesos y materiales a ser mejorados de una manera casi sistemática, y los procesos de fabricación de los mismos no podían ser la excepción.



**Figura 0. 3** Fotografías del equipo de pulido: a la izquierda vista general, a la derecha detalle del interior mostrando los componentes principales

Uno de los procesos más importantes es el de pulido donde se busca darle al material las condiciones superficiales óptimas. El equipo encargado de esta función consiste en una serie de motores que accionan un mecanismo que controla el material permiten darle el terminado deseado. Para ello cuenta también con un sistema de lazo cerrado que permite estar monitoreando eléctricamente el estado de la parte en todo momento (**Figura 0. 3**). Para llevar a cabo el monitoreo, el equipo utilizaba una conexión flexible y que se podía

volver a utilizar, pero los problemas de contacto debido a las condiciones del proceso (humedad y movimiento) eran muy comunes. Es este cable flexible el que se sustituye por el proceso de soldado de alambre, objeto del presente estudio.

Por lo anterior, los equipos de soldado hacen su aparición como parte de este proceso cumpliendo un papel primordial, ya que este tiene como tal una restricción muy particular, que es que los alambres deben ser soldados solo de forma temporal, es decir, deben soldarse con la fuerza suficiente para mantener el contacto mientras son pulidos y posterior a este proceso deben ser removidos completamente sin dejar ningún residuo. Esto es una característica crítica ya que el cliente final (quien ensambla la cabeza lectora en el disco duro) establece 3 tipos de defectivo (**Figura 0. 4**) los cuales son residuos o marcas que se producen sobre el pad como resultado del proceso de soldado, es de entenderse entonces que lo deseable es un pad sin daño considerable para poder ser utilizado posteriormente; dichos defectos se describen a continuación:

- Defectivo Tipo I. Alambre removido de la superficie pero con cierta remoción de material de la misma.
- Defectivo Tipo II. Alambre no removible (alta protuberancia). Por lo general el diámetro del alambre esta en el orden de 25 micras aproximadamente, lo que ocasionara un residuo de un 30 a un 60 % de este valor.
- Defectivo Tipo III. Marca de la aguja sobre el material el intentar soldar sin alambre en la parte inferior.

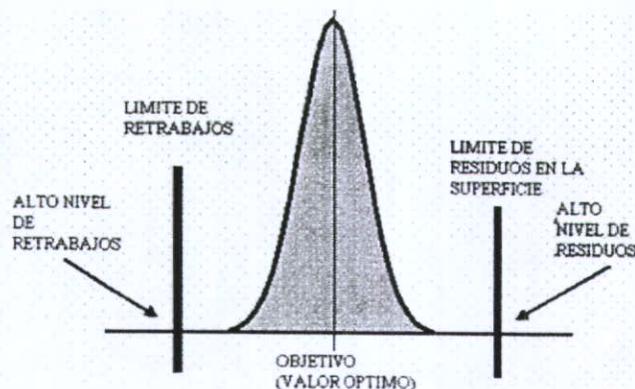


**Figura 0. 4** Imágenes de los 3 tipos de defectivos causados por el alambre una vez soldado

Cabe mencionar que de los tres tipos de defectivo solamente el 2º o Tipo II se considera rechazo por parte del cliente ya que este material no se puede procesar posteriormente.

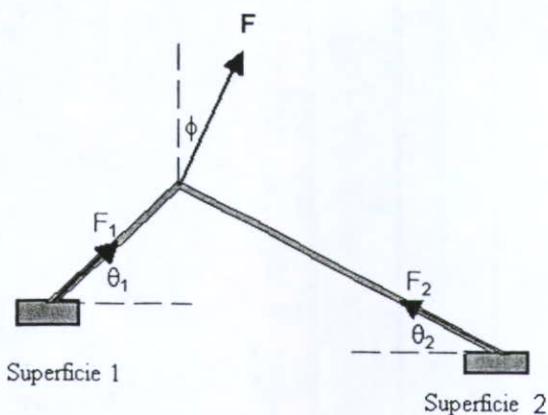
Los defectivos I y III se consideran aceptables ya que al no tener protuberancias en la superficie, no representan problema en el proceso de ensamble del cliente. Por otra parte, al tratar de ajustar el proceso con la idea de evitar el defectivo Tipo II se corre el riesgo de que el alambre se desprege prematuramente antes de completar el ciclo de pulido; este fenómeno se conoce como "alambre despegado" y a la par del defectivo Tipo II constituye una de las mediciones mas importantes del proceso.

Una distribución característica de un proceso de este tipo se muestra en la **Figura 0. 5**.



**Figura 0. 5** Distribución óptima del proceso de soldado

La característica de temporalidad del soldado se puede lograr trabajando dentro de una estrecha ventana de operación (ejemplificada en el grafico anterior). Esto es posible mediante el monitoreo la fuerza de tracción (que es una prueba destructiva) de los alambres para ver con que fuerza se están soldando y si dicha fuerza es uniforme.



**Figura 0. 6** Representación geométrica de la relación que guarda la fuerza en el gancho con la fuerza máxima de ruptura del alambre ( $F_1$  y  $F_2$ )

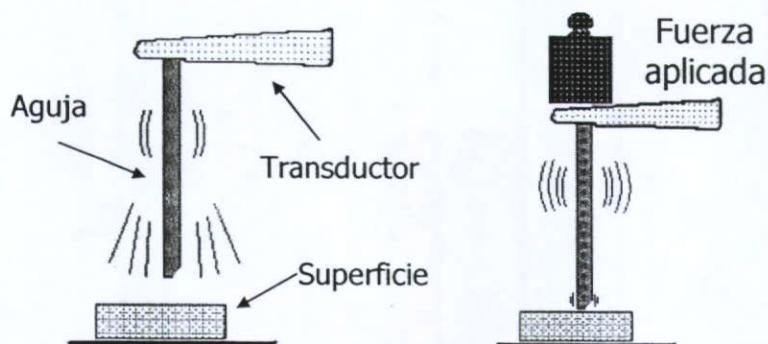
Como se puede observar en la **Figura 0. 6**, la prueba de fuerza de tracción consiste en aplicar una fuerza vertical con la ayuda de un gancho por debajo del alambre soldado hasta que este se desprege o se rompa. De esta manera la fuerza de tracción en cada alambre se encuentra asociada con la fuerza en el gancho denotada por  $F$ .

En este tipo de prueba se realizan 6 o mas pruebas individuales, cada valor individual es registrado y con ello se calcula la media y la desviación estándar.

Para obtener los valores de fuerza deseados, el equipo de soldado tiene tres elementos principales que forman parte de los parámetros del proceso:

- La potencia y el tiempo de aplicación del ultrasonido normalmente cumplen la función de "suavizar" el alambre mediante la fricción generada sobre el mismo.
- La fuerza es el peso aplicado al alambre para acoplarlo mecánicamente con la superficie a la que se pretende adherir.

Durante el proceso de soldado, la aguja oscila hacia atrás y hacia adelante sobre una pequeña porción del alambre, la cual es prensada entre la aguja y la superficie (**Figura 0. 7**). A medida que la potencia del ultrasonido suaviza el alambre, este se deforma sobre la superficie a la vez que se forman micro-soldaduras entre los dos materiales.

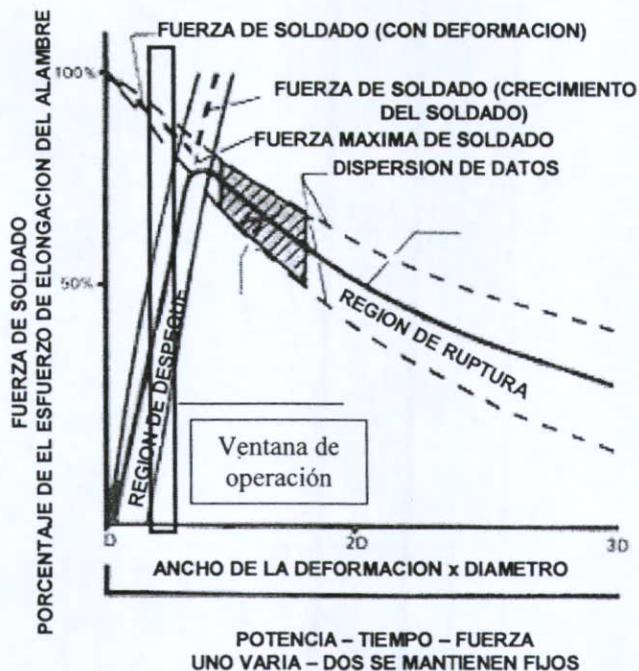


**Figura 0. 7** Ilustración del efecto del ultrasonido y la fuerza aplicada sobre la aguja de soldado

Las condiciones óptimas de operación son controladas por el tipo de alambre, la superficie de soldado y las configuraciones de cada pieza a soldar. De esta manera, para cada pieza se deben ejecutar una serie de pruebas variando los parámetros de soldado para encontrar las condiciones óptimas de operación.

La prueba de tracción de alambre es muy útil para ayudar en esta definición. Durante la evaluación, tres juegos de curvas de fuerza de tracción contra el tiempo pueden ser obtenidos variando uno de estos parámetros al momento que se mantienen constantes los otros dos a su mejor valor. Cada curva es similar, y pueden ser referenciadas, como por ejemplo la curva de fuerza de tracción contra el ancho de la deformación (**Figura 0. 8**)

Al momento que cada parámetro se incrementa el soldado crece con más fuerza de tracción. Al mismo tiempo, debido a la deformación del alambre, la transición del alambre en soldado se vuelve más débil. Es entonces cuando se produce un cambio en el modo de falla de alambre despegado a alambre roto.



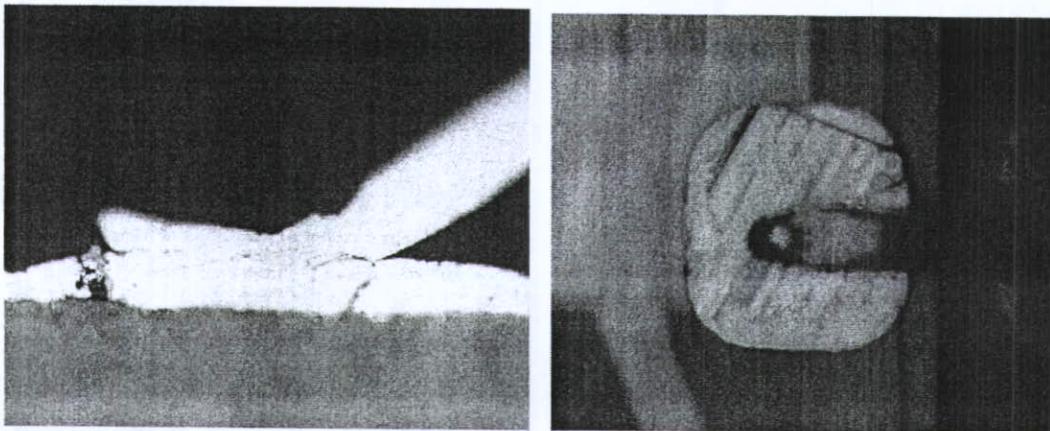
**Figura 0. 8** Curva de esfuerzo de elongación del alambre x ancho de la deformación

De la **Figura 0. 8**, el ancho de la deformación adecuado para la ventana de operación requerida para un proceso de soldado temporal debe ser de 1.2 a 1.3 veces el diámetro del alambre, esto es, considerando un alambre de 25.4 micras, el ancho deberá ser de 30 a 32 micras.

Por otro lado, un aspecto importante del equipo de soldado utilizado es la habilidad de detener el proceso cuando se alcanza la profundidad de deformación deseada, es decir,

cuando el equipo comienza a soldar puede detenerse de dos formas: ya sea cuando transcurre el tiempo que tiene programado, o cuando el sensor de posición de la aguja detecta cierta profundidad alcanzada. La diferencia entre la profundidad y el ancho de la deformación del alambre se ilustra en las fotografías de la **Figura 0. 9**.

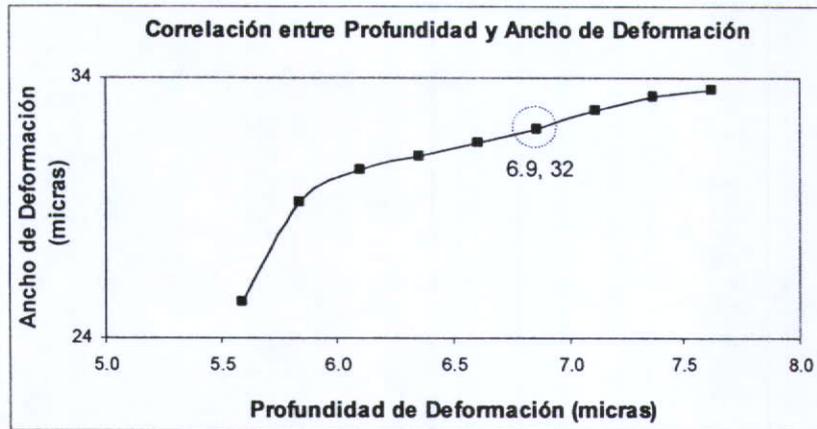
Esto puede traducirse en que si se logra correlacionar la profundidad de la deformación con el ancho requerido para estar dentro de la ventana de operación buscada, es posible ajustar el equipo de soldado para que se detenga en el momento adecuado donde se alcance dicha profundidad y por ende, también el ancho de la misma.



**Figura 0. 9** Fotografías que ilustran (a la izquierda) la profundidad y (a la derecha) el ancho de la deformación del alambre soldado

Dicha correlación se logro a partir de la medición del ancho de cierto número de alambres soldados a diferentes profundidades, y donde se encontró que la profundidad requerida para obtener un ancho entre 30 y 33 micras (de 1.2 a 1.3 veces el diámetro del alambre) es aproximadamente de 6.9 micras. Esto puede observarse en la **Figura 0. 10**, donde se ve una correlación no lineal entre ambas deformaciones, y que se comporta mayor al inicio del proceso y menor al final.

Es mediante el control óptimo de la profundidad de la deformación como se habrá de mejorar el proceso de soldado ayudado por la metodología de DMAMC.



**Figura 0. 10** Correlación entre profundidad y ancho de la deformación del alambre

## La metodología DMAMC

La metodología DMAMC es la base de la filosofía Seis Sigma y consiste en la aplicación, proyecto a proyecto, de un proceso estructurado en cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar; utiliza herramientas estadísticas, además de dispositivos que observan las variables de los procesos y sus relaciones, que ayudan a gestionar sus características.

En la fase de definición se identifican las variables más importantes del proceso y se describe de una manera general el problema planteándose al mismo tiempo posibles soluciones.

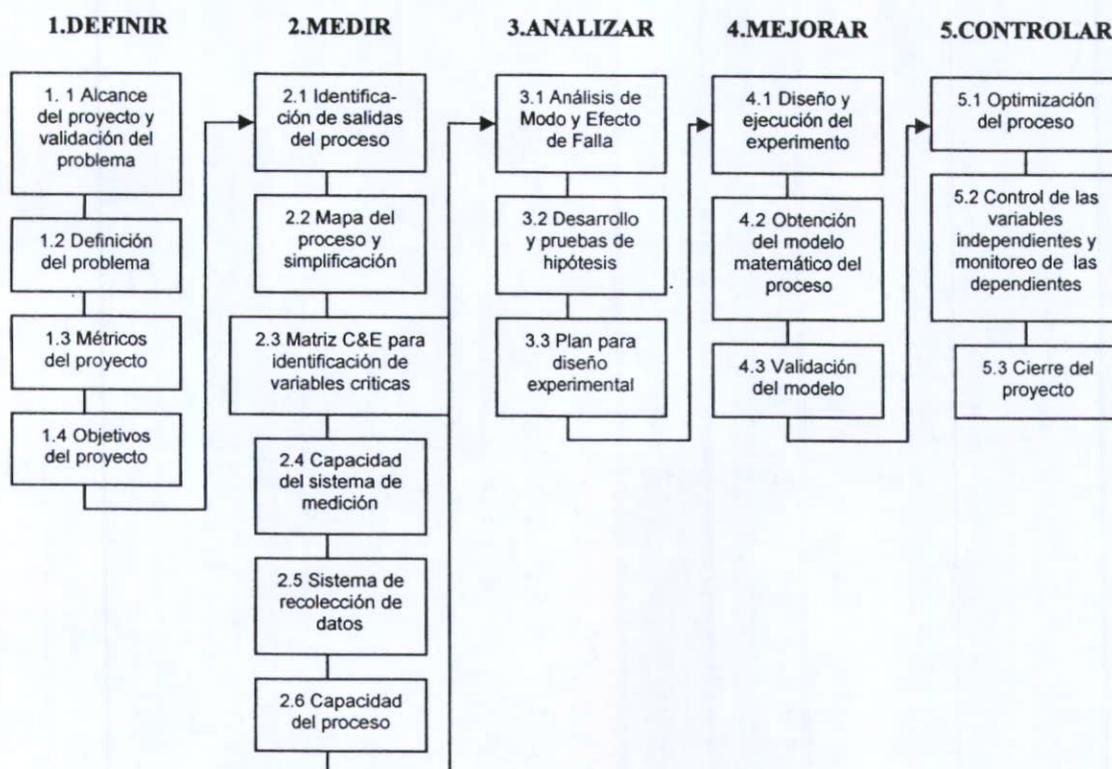
La fase de medición consiste en la caracterización del proceso identificando los requisitos clave de los clientes, las características clave del producto (o variables del resultado) y los parámetros (variables de entrada) que afectan al funcionamiento del proceso y a las características o variables clave. A partir de esta caracterización se define el sistema de medida y se mide la capacidad del proceso.

En la tercera fase, análisis, el equipo analiza los datos de resultados actuales e históricos. Se desarrollan y comprueban hipótesis sobre posibles relaciones causa-efecto utilizando las herramientas estadísticas pertinentes. De esta forma el equipo confirma los determinantes del proceso, es decir las variables clave de entrada o "pocos vitales" que afectan a las variables de respuesta del proceso.

En la fase de mejora el equipo trata de determinar la relación causa-efecto (relación matemática entre las variables de entrada y la variable de respuesta que interese) para predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso. Por último se determina el rango operacional de los parámetros o variables de entrada del proceso.

La última fase, control, consiste en diseñar y documentar los controles necesarios para asegurar que lo conseguido mediante el proyecto Seis Sigma se mantenga una vez que se hayan implantado los cambios.

Las fases anteriormente descritas, deben seguirse de forma secuencial de modo que la metodología sea el camino para la conclusión y el éxito del proyecto Seis Sigma; la **Figura 0. 11** muestra los pasos necesarios de una manera grafica.



**Figura 0. 11** Pasos de implementación de la metodología "DMAMC"

Los siguientes capítulos describen de forma detallada cada una de estas fases, incluyendo el desarrollo de cada una de sus actividades.

## CAPITULO 1 – DEFINICIÓN DEL PROYECTO

Un proyecto de Seis Sigma dentro de una organización como Hitachi Global Storage Technologies debe ser elegido por una persona que posea los conocimientos y las habilidades necesarias además de un profundo conocimiento de los procesos de manufactura de cabezas magnéticas; esta persona es conocida como el “champion” del proceso y este debe ser capaz de identificar problemas asociados con características generales ya sea del producto o servicio y traducirlos en proyectos específicos. El proyecto debe cumplir con las siguientes reglas mínimas para tener viabilidad:

- Debe buscar la reducción de los defectos en un porcentaje considerable (20% o más).
- Debe garantizar mediante esta reducción ahorros durante el año consiguiente a la implementación de al menos 50,000 dólares.
- Debe poder completarse en un plazo de 3 a 4 meses.
- Requiere del empleo de las herramientas de Seis Sigma.

La definición adecuada del proyecto es esencial para lograr el cierre del mismo en tiempo y forma. Un proyecto mal definido, ya sea de manera muy vaga o muy compleja, puede provocar que los participantes obtengan resultados no sostenidos, o gasten más tiempo del necesario en algunas de las fases del proceso DMAMC.

En la fase de definición se identifican las variables más importantes del proceso y se describe de una manera general el problema planteándose al mismo tiempo posibles soluciones. Aquí se incluyen:

- Identificación y validación del problema y el establecimiento del alcance del mismo así como de sus limitaciones.
- Establecimiento del equipo de trabajo.
- Establecimiento de los métricos y objetivos del proyecto.

En base a requerimientos descritos, se plantea el proyecto presentado en este trabajo basado en los equipos de soldado Hesse & Knipps (H&K), los cuales fueron puestos en producción después del anuncio de fin de vida de los equipos existentes de la marca Kulicke & Soffa (K&S), y que, tras un periodo de 3 meses de desarrollo del proceso, fueron puestos en producción (práctica normal para este tipo de industria), lo cual brinda una gran oportunidad de mejora.

## **1.1 Alcance del proyecto y validación del problema**

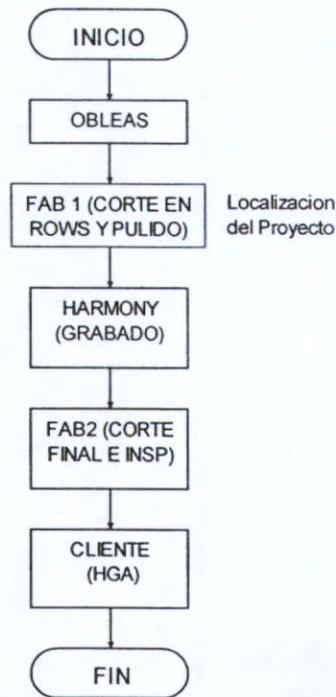
El alcance del proyecto es acotado en base a dos criterios principales:

1. Debe ser redituable desde el punto de vista financiero, es decir, debe tener un retorno de inversión de acuerdo a las necesidades de la industria de los discos duros, lo que implica el desarrollo de un proyecto a mediano plazo, es decir, alrededor de 3 meses y con una mínima inversión
2. Debe ser completado por un equipo de expertos en un periodo de tiempo similar al mencionado, es decir, del orden de 3 meses, que es lo normal en un proyecto de Seis Sigma.

Un error común en la definición del alcance de un proyecto es que este sea demasiado extenso o demasiado complejo, ya que esto implica periodos de tiempo largos y costos altos, además del desánimo de los miembros del equipo al ver avances demasiado lentos a través del tiempo.

### *1.1.1 Alcance*

El proceso de soldado forma parte del proceso de pulido de rows, ( **Figura 1. 1** ), y este a su vez es parte del área de corte de rows y pulido, conocida como FAB1, que a su vez es la primera fase del proceso de fabricación de cabezas lectoras, una vez que son recibidas del proceso de obleas.



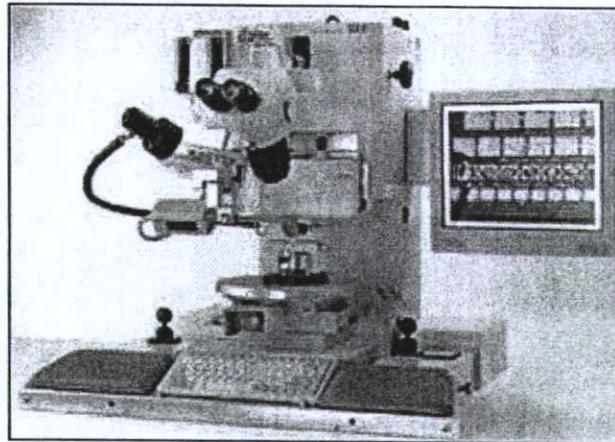
**Figura 1. 1** Macro mapa del proceso

El desarrollo de este trabajo se ve restringido dentro del área de pulido y no involucra ninguno de los pasos de proceso anteriores o posteriores.

El presente proyecto se enfoca en la optimización de la receta de soldado actual y la experimentación habrá de llevarse a cabo en un solo equipo para su posterior despliegue al resto de los equipos de su tipo utilizados en esta área (18 en total). Una vez obtenida la receta optima para el equipo de soldado piloto, y habiendo demostrado que es repetible aun con el cambio de aguja, se habrá de demostrar la reproducibilidad del proceso en el resto de los equipos de su tipo con los mismos resultados. Considerando como variables de salida los parámetros descritos en un principio, se incluirán los resultados de la prueba de fuerza de tracción, que vendrá a ser el métrico principal.

Profundizando un poco mas en la prueba de fuerza de tracción, esta requiere un equipo especial que se conoce como equipo para pruebas de tracción (en Ingles "Wire Pull Tester") mostrado en la **Figura 1. 2**, de la marca Dage (modelo 5000) el cual esta compuesto de dos secciones importantes:

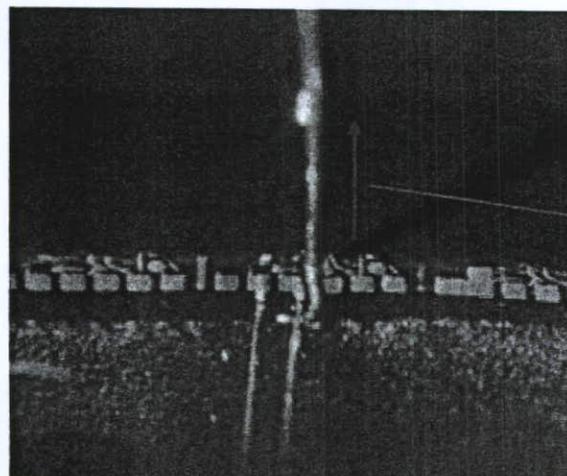
1. Un mecanismo para aplicar la fuerza en sentido vertical (de arriba hacia abajo) sobre el alambre utilizando una herramienta en forma de gancho; y
2. Un instrumento calibrado para medir la fuerza a la cual el alambre eventualmente se rompe. Esta fuerza normalmente es expresada en gramos-fuerza o en Newton.



**Figura 1. 2** Equipo para pruebas de fuerza de tracción DAGE 5000

Pudieran existir algunas variantes pertinentes a las condiciones en las cuales se realiza la prueba, pero la forma más común es la que se describió con anterioridad en la **Figura 0. 6**.

Como se observa en la **Figura 1. 3**, este procedimiento consiste en aplicar una fuerza de tracción con la ayuda de un gancho, posicionando este por debajo del punto más alto del arco formado por el alambre y aplicando una fuerza de manera perpendicular a la superficie de soldado (verticalmente si la superficie se encuentra posicionada de manera horizontal).

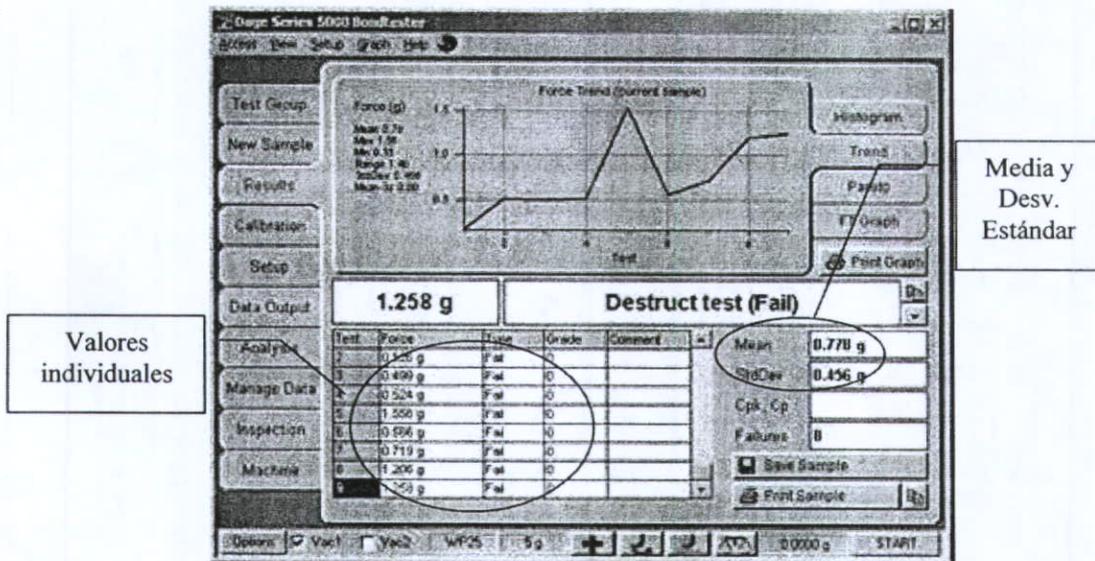


Fuerza  
hacia  
arriba

**Figura 1. 3** Fotografía de la prueba de fuerza de tracción en un row

El equipo de prueba entonces mide la fuerza a la cual el soldado falla: es decir se desprende o se rompe. La fuerza es entonces registrada en gramos-fuerza o newton.

Un grafico de control característico de este equipo se puede apreciar en la **Figura 1. 4**, en donde observan varias lecturas individuales provenientes de un mismo dispositivo y que son analizadas estadísticamente (media y desviación estándar). En otras palabras, si colocamos un row al cual le son desprendidos 9 alambres (3 a un extremo, 3 al centro y 3 al otro extremo) por medio de la prueba, el equipo listara las lecturas individuales de los 9 alambres y mostrara además el valor promedio y de desviación estándar de todas estas mediciones, logrando con esto normalizar la prueba.



**Figura 1. 4** Grafico de Control para lecturas de fuerza individuales

En síntesis, el monitoreo de fuerza de tracción a través del equipo Dage 5000 resulta de gran importancia para el proceso debido a que es la herramienta que ayuda a mantenerlo dentro de la estrecha ventana de operación disponible.

## 1.2 Definición del problema

### 1.2.1 Definición

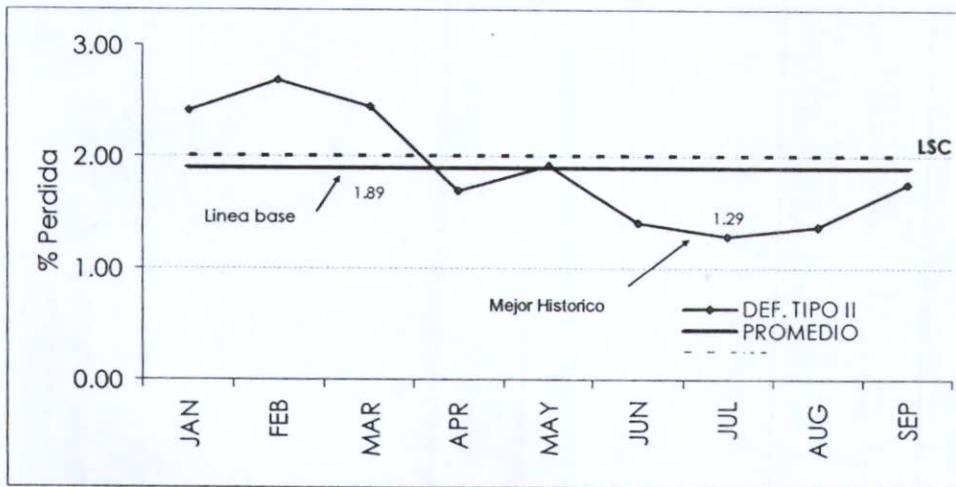
El problema que origina la formalización de este proyecto es el alto porcentaje de partes rechazadas por el defecto llamado defectivo tipo II, que muestra un promedio histórico de 1.89% respecto al total de partes embarcadas. De igual forma, la cantidad de re-trabajos debida a alambres despegados que se observan desde Enero a Octubre del 2006 es mayor al 10% de las partes procesadas (ver apartado 1.2.2 Baseline o línea base). Por lo anterior se plantea la reducción tanto de la media como de la variabilidad de estos indicadores al menos en un 20% (porcentaje de mejora deseable dentro de los proyectos de la compañía) mediante la optimización del proceso explicado con anterioridad, y a través de la metodología de Seis Sigma. Los resultados habrán de validarse al final del proyecto, a partir de Enero de 2007 y por un periodo de 3 meses.

### 1.2.2 Baseline o línea base

La línea base es el promedio del(los) métrico(s) principal(es) del proceso a largo plazo, en donde las variables de entrada operan sin ninguna restricción; la línea base nos permite conocer una referencia de largo plazo de comportamiento del proceso a partir del promedio de medias de la variable en cuestión.

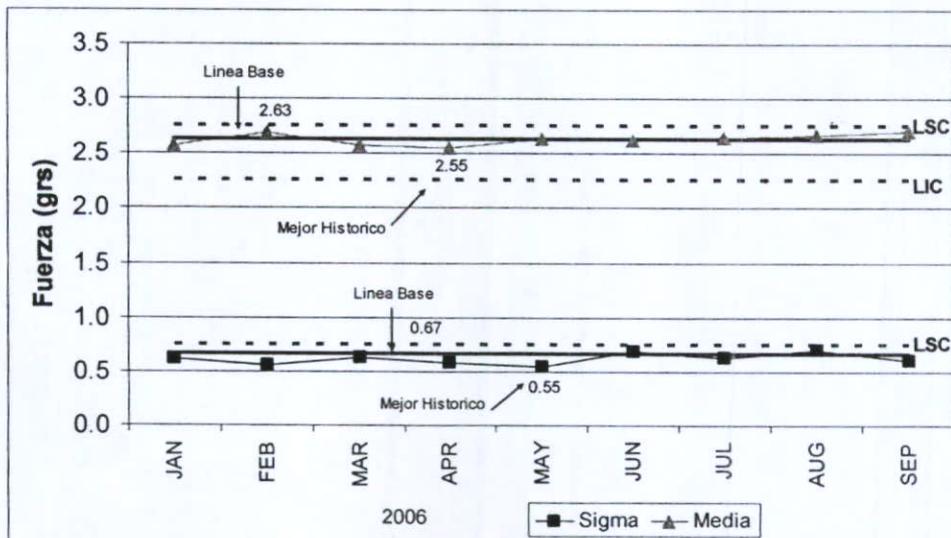
A continuación se muestra y explica la tendencia mensual de los métricos principales:

- Defectivo tipo II de Enero a Septiembre de 2006: En la **Figura 1. 5** se aprecia la tendencia de este métrico con un punto de partida en Enero de 2.4% de pérdida y un punto final en Septiembre del 1.76%, con fluctuaciones positivas y negativas a lo largo del periodo; aquí mismo podemos apreciar una línea que nos indica el promedio de todos estos valores (1.89%) y que será nuestra línea base o punto de partida. Cabe mencionar que el mejor valor a lo largo del periodo se observo en el mes de Julio (1.29% de pérdida) y este será conocido como el mejor histórico. Ambos valores habrán de ser utilizados posteriormente para el cálculo del objetivo.



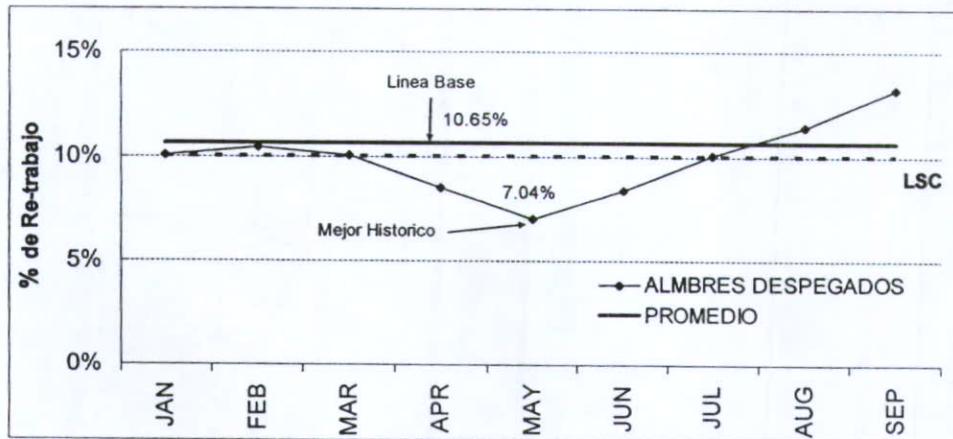
**Figura 1. 5** Tendencia del defectivo tipo II durante el 2006. Nota: Se puede apreciar la variación del defectivo a lo largo del año, incluso sobre el Límite Superior de Control (LSC)

- Fuerza de tracción durante 2006: A diferencia del métrico anterior, este indicador se comporto estable durante todo el 2006 en cuanto a su valor medio y de dispersión (sigma). En la **Figura 1. 6** se muestran las tendencias tanto de media como de sigma, siendo el valor objetivo para la media 2.5 grs. +/- 0.25 grs. y para sigma el limite superior 0.75 gr.



**Figura 1. 6** Tendencia de monitoreo de fuerza de tracción durante 2006

- Alambres despegados (o re-trabajos) durante 2006: Al igual que en los métricos anteriores, en la **Figura 1.7** se muestra la tendencia de este métrico de Enero a Septiembre con un valor promedio de 10.65% en relación al total de partes procesadas como línea base y un mejor histórico de 7.04%.



**Figura 1.7** Tendencia de los re-trabajos de soldado durante el 2006

El comportamiento en conjunto de todos los indicadores apunta a una necesidad de lograr un proceso de soldado más confiable y seguro.

### 1.3 Métricos del proyecto

Existen muchos métricos que se pueden usar para comunicar el éxito del proyecto a la organización. Entre ellos se encuentran el métrico primario, los secundarios, los del negocio, los consecuenciales (métricos que se pueden ver afectados por la mejora de los métricos primario y secundarios), y los financieros. De estos, los más importantes son el primario, que está orientado al proceso, y el financiero, que indica la ganancia o pérdida en dinero como resultado de la ejecución de un proyecto. El métrico primario debe reflejar la situación actual del problema y el impacto de los cambios efectuados durante el avance del proyecto, asimismo debe estar ligado a un métrico financiero que refleje los ahorros al final del mismo.

Para este proyecto, el métrico principal será la fuerza de tracción (media y desviación estándar en gramos fuerza) que es, como se explicó con anterioridad resultado directo del

desempeño del equipo de soldado; lo que se buscara con este proyecto es disminuir la variación, y con ello, obtener una reducción consistente de las pérdidas.

El métrico secundario sería el defectivo tipo II (% de defectivo), debido a que este se ve influenciado además del proceso de soldado, por el de pulido y el de remoción de alambre. La intención de monitorear este métrico es comprobar si hay algún efecto positivo en cuanto a partes rechazadas al disminuir la variación del métrico principal, como se explicara en la sección del objetivo del proyecto.

El tercer métrico o porcentaje de alambres despegados será considerado como un métrico consecuencial: esto debido a que a medida que disminuye la potencia de soldado con la idea de disminuir la cantidad del porcentaje de defectivo tipo II, este se ve afectado de forma negativa o consecuencial.

Siendo estos métricos las 3 principales salidas del proceso de soldado, es normal que se lleve un monitoreo periódico de los mismos a nivel operativo, por lo general se toman los datos en base diaria y se agrupan por semana y por mes, y las acciones de control requieren un análisis exhaustivo. La fuerza de tracción se monitorea igualmente en base diaria pero las acciones de control son tomadas de manera inmediata, y es por esto último que se eligió como el métrico principal del proyecto.

Por ultimo, el métrico financiero será un calculo compuesto por dos elementos al final del proyecto: A) La pérdida generada en el proceso de soldado, que son los sliders rechazados por defectivo tipo II y, B) La pérdida de productividad, que son los sliders que se dejaron de hacer por el hecho de re-procesar el material mal soldado. De este modo, para la comparación final, se considerara el volumen de las partes procesadas antes y después del periodo de ejecución del proyecto.

#### **1.4 Objetivo del proyecto**

En base a lo explicado con anterioridad, el objetivo principal de este proyecto es reducir la variación de los valores promedio y de dispersión (media y desviación estándar) de la fuerza de tracción, del defectivo tipo II y del nivel de re-trabajos, llevándolos a valores

cercanos a los mejores históricos observados en el 2006 ( **Tabla 1. 1** ). Lo anterior mediante el control óptimo de la profundidad de deformación del alambre a través de la metodología de Seis Sigma, durante el periodo de tiempo comprendido entre Octubre y Diciembre de 2006.

<b>Metrico</b>	<b>Descripcion</b>	<b>U/M</b>	<b>Linea Base</b>	<b>Mejor Hist.</b>	<b>Objetivo</b>
Principal a	Fuerza de traccion media	Fuerza (grs)	2.63	2.55	2.5 +/-0.25
Principal b	Fuerza de traccion desv. estandar	Fuerza (grs)	0.67	0.55	*0.57
Secundario	Defectivo tipo II	%	1.89	1.29	*1.41
Consecuencial	Alambres despegados	%	10.65	7.04	*7.76
Financiero	Ahorros en perdidas y productividad	USD			50,000

*\*Nota: Calculo basado en el 80% de la diferencia entre la linea base y el mejor historico*

**Tabla 1. 1** Tabla que resume los objetivos del proyecto

De este capitulo se puede concluir que el proceso actual tiene bien definidos sus métricos, de entre los cuales el primero, la fuerza de tracción es la referencia para mantener el proceso en el nivel requerido, el segundo, el defectivo tipo II representa perdidas directas, y por ultimo, los re-trabajos, significan ineficiencia, y son consecuencia directa de no tener un control adecuado dentro de la ventana de proceso, de ahí la importancia de encontrar un proceso de soldado optimo y mantenerlo bajo control.

## CAPITULO 2 – MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DEL PROYECTO

La fase de medición consiste en la caracterización del proceso identificando los requisitos clave de los clientes, las características clave del producto (o variables del resultado) y los parámetros (variables de entrada) que afectan al funcionamiento del proceso y a las características o variables clave. A partir de esta caracterización se define el sistema de medida y se mide la capacidad del proceso.

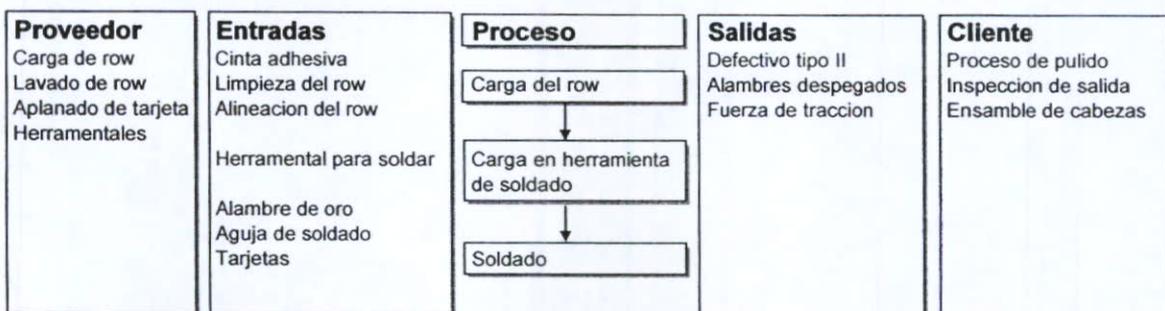
### 2.1 Identificación de salidas del proceso

La identificación de salidas del proceso comienza con la ayuda del macro mapa de proceso definido a un principio, pero a un nivel más local. Para esto se debe crear un mapa que muestre la liga entre el proveedor, las entradas que este suministra, el proceso en si, sus salidas y los clientes a los que entrega el producto. Este mapa llamado por sus siglas en ingles SIPOC, es una variante de diagrama de flujo que ayuda a identificar los procesos que tienen un mayor impacto a los requerimientos del cliente.

El SIPOC realizado para este proyecto se observa en la **Figura 2. 1**.

#### SIPOC

**Supplier, Input, Process, Output, Customer**  
**Proveedor, Entradas, Proceso, Salidas, Cliente**



**Figura 2. 1** SIPOC del proceso de soldado

El siguiente paso para la identificación de las principales variables que intervienen en el proceso es la elaboración de un diagrama causa-efecto también conocido como Ishikawa.

En este diagrama, a través de una tormenta de ideas, se generan todas y cada una de las aportaciones de los miembros del equipo y se registran dentro de la grafica. Las variables de proceso son separadas en dependientes (o de salida) e independientes (o variables de entrada) y estas a su vez se clasifican en 5 categorías: Equipo, Proceso, Material, Personal y Medio ambiente.

Para este proyecto, el diagrama de causa-efecto (C&E), se muestra en la **Figura 2. 2**

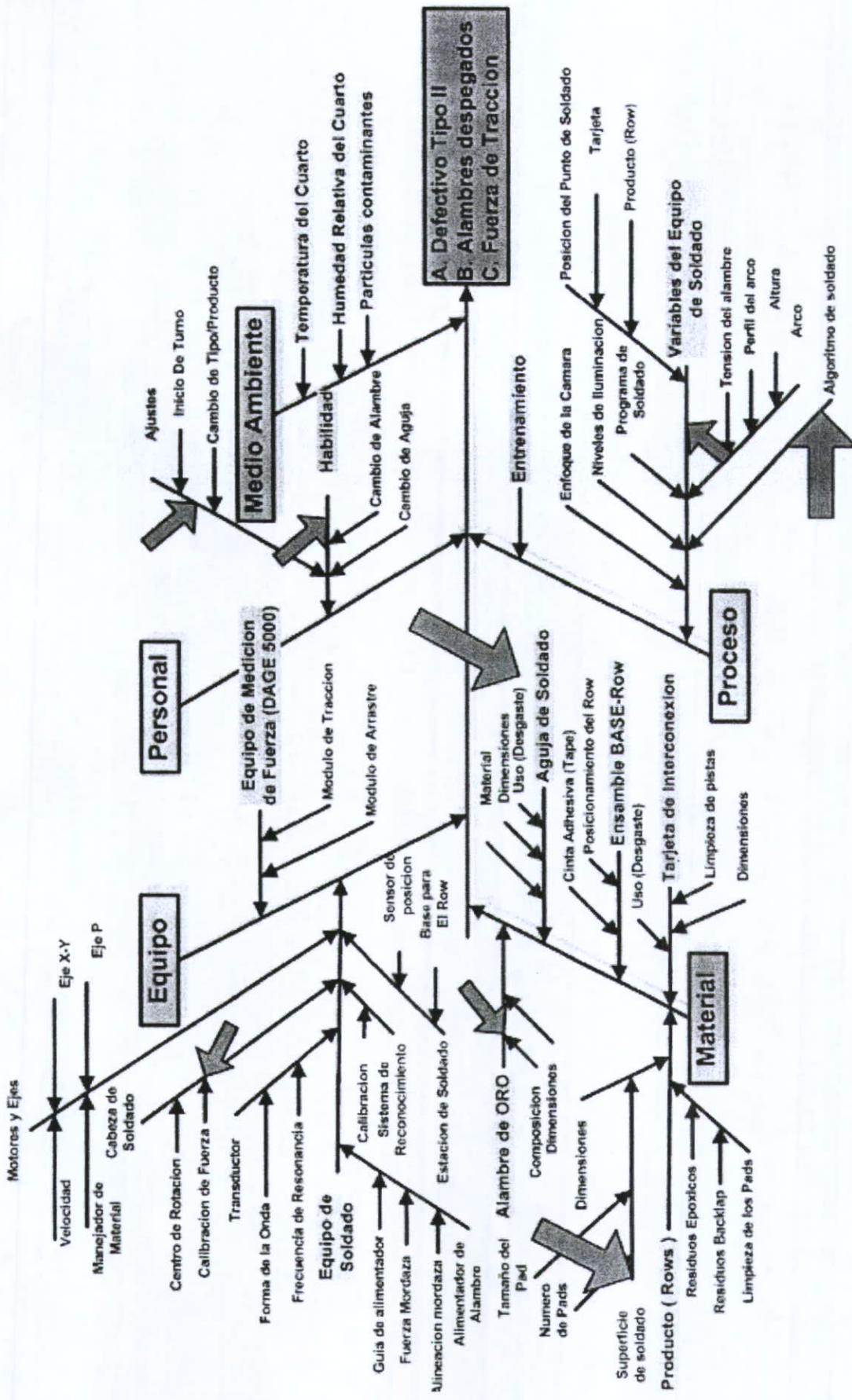
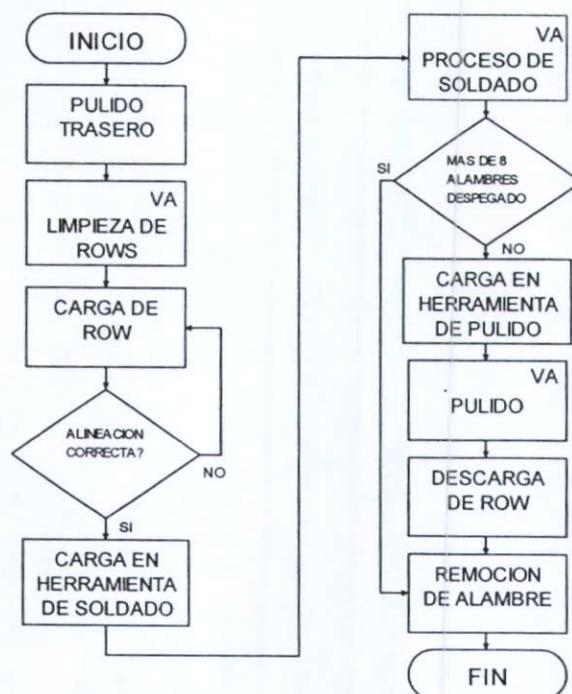


Figura 2. 2 Diagrama de Ishikawa para identificación de las variables del proceso

En el diagrama de causa-efecto obtenido se aprecia un numero considerable de variables (agrupadas en cada una de las categorías) pero también se señalan las variables más importantes (identificadas durante la practica del proceso) o con mas afectación a las variables de salida: El alambre que hace el contacto, los químicos de pulido, cuestiones referentes al personal, el herramental, las condiciones de la superficie de contacto o "Pads" y algunas otras.

## 2.2 Mapa del proceso y simplificación

La **Figura 2. 3** muestra el mapa del proceso a nivel local, donde será efectuado el proyecto de mejora.



**Figura 2. 3** Mapa del proceso

El cuadro con la leyenda "PROCESO DE SOLDADO" es el proceso identificado como clave en este proyecto y que será el proceso a mejorar. El resto de los cuadros muestran los procesos contiguos al proceso de soldado, y también se identifican los que son de valor agregado (VA), esto es, los que realizan una transformación al producto.

## 2.3 Matriz causa-efecto para identificación de variables críticas

Los objetivos de crear una matriz causa-efecto son los siguientes:

- Aplicar el conocimiento adquirido por experiencia del grupo en eliminar entradas y salidas poco significativas antes de que se designe un sistema de medición.
- Proveer un procedimiento lógico para la eliminación de variables de proceso para consideraciones posteriores.

Basados en el mapa del proceso y el diagrama causa-efecto, se identifican tanto las variables de salida como las de entrada de cada proceso. Estas son primeramente listadas y luego ponderadas en base a factores, los cuales ayudan a segregar la afectación de una variable con respecto a la otra. La ponderación de las variables de salida es definida por el cliente, y la de las variables de entrada la define el equipo de trabajo. La forma de elegir un valor u otro es simple, si una variable de entrada no tiene efecto sobre la de salida, se le pone el valor de cero, y por el contrario, si el equipo considera que la variable tiene una alta influencia, le pone el valor de nueve. La escala de factores se muestra en la **Tabla 2. 1**

sin valor	0
valor bajo	1
valor medio	4
valor alto	9

**Tabla 2. 1** Factores de ponderación para la matriz Causa- Efecto

La **Tabla 2. 2** muestra la matriz causa-efecto, ya ponderada y ordenada para cada variable de entrada en forma descendente y su relación con las ya conocidas variables de salida del proceso. Para efectos prácticos solo se muestra la parte alta de la matriz, donde se observan las variables con mayor afectación o variables nivel A, y parte las variables secundarias o nivel B.

### Matriz C & E ( Causa & Efecto )

sin valor	0	<b>HITACHI</b> Inspire the Next	Programa:	Wire Bonding	Op.	Wire Bonding
valor bajo	1		Responsable:	Carlos Sandoval	Equip #	Todos
valor medio	4		Equipo / Proceso:	H&K Mod. BJ820	Pagina	1 de 1
valor alto	9					

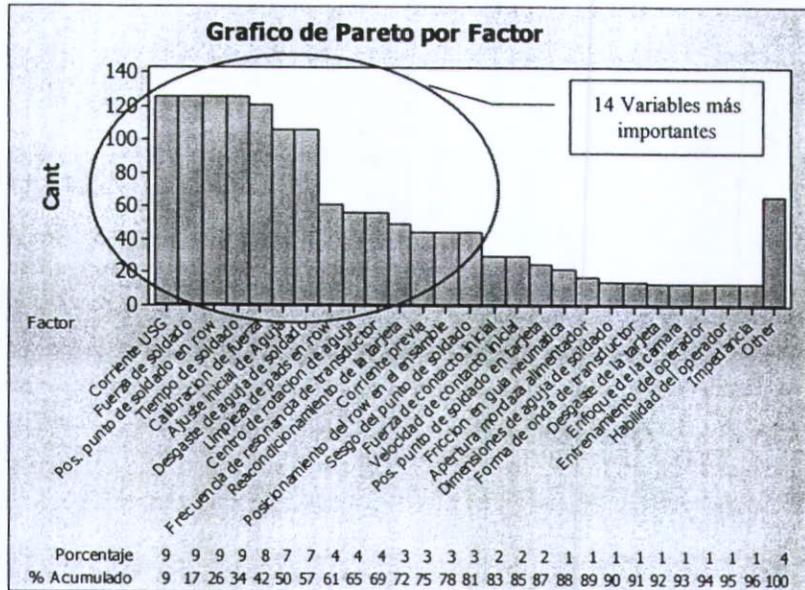
		Dependiente			
<b>Categoría</b>	Independiente	Dependiente	A. Defectivo Tipo II	B. Alambres despegados	C. Fuerza de Traccion
	<b>Ponderacion del cliente</b>		9	1	4

Categoría	Descripción	A. Defectivo Tipo II	B. Alambres despegados	C. Fuerza de Traccion	Total
Proceso	25 Corriente USG	9	9	9	126
Proceso	27 Fuerza de soldado	9	9	9	126
Proceso	28 Tiempo de soldado	9	9	9	126
Proceso	38 Pos. punto de soldado en row	9	9	9	126
Equipo	6 Calibracion de fuerza	9	4	9	121
Material	44 Desgaste de aguja de soldado	9	9	4	106
Personal	54 Ajuste inicial de Aguja	9	9	4	106
Material	48 Limpieza de pads en row	4	9	4	61
Equipo	5 Centro de rotacion de aguja	4	4	4	56
Equipo	7 Frecuencia de resonancia de transductor	4	4	4	56
Proceso	40 Reacondicionamiento de la tarjeta	4	9	1	49
Proceso	24 Corriente previa	4	4	1	44
Proceso	41 Sesgo del punto de soldado	4	4	1	44
Material	53 Posicionamiento del row en el ensamble	4	4	1	44
Proceso	29 Fuerza de contacto inicial	14 Variables más importantes		4	29
Proceso	30 Velocidad de contacto inicial	14 Variables más importantes		4	29
Proceso	39 Pos. punto de soldado en tarjeta	0	9	4	25
Equipo	11 Friccion en guia neumatica	1	9	1	22
Equipo	14 Apertura mordaza alimentador	1	4	1	17
Equipo	8 Forma de onda de transductor	1	1	1	14
Material	43 Dimensiones de aguja de soldado	1	1	1	14
Proceso	22 Entrenamiento del operador	1	4	0	13
Proceso	23 Habilidad del operador	1	4	0	13
Proceso	26 Impedancia	1	4	0	13
Proceso	35 Enfoque de la camara	1	4	0	13
Proceso	36 Niveles de iluminacion	1	4	0	13
Material	49 Desgaste de la tarjeta	0	9	1	13
Equipo	13 Fuerza mordaza alimentador	1	1	0	10
Equipo	15 Alineacion mordaza	1	1	0	10
Proceso	37 Programa de soldado	1	1	0	10
Material	47 Dim sliders (numero y tamano de pads)	1	1	0	10
Equipo	4 Velocidad de motores de ejes	0	1	1	5
Equipo	16 Calibracion PRS	0	4	0	4
Material	50 Limpieza de las pistas de la tarjeta	0	4	0	4
Equipo	1 Manejador de material	0	0	0	0
Equipo	2 Eje P	0	0	0	0
Equipo	3 Ejes X-Y	0	0	0	0
Equipo	9 Estacion de soldado	0	0	0	0
Equipo	10 Base para el row	0	0	0	0
Equipo	12 Sensor de alambre	0	0	0	0
Equipo	17 Modulo de traccion	0	0	0	0
Equipo	18 Modulo de arrastre	0	0	0	0
Medio Ambiente	19 Temperatura del cuarto	0	0	0	0
Medio Ambiente	20 Humedad relativa del cuarto	0	0	0	0
Medio Ambiente	21 Particulas contaminantes	0	0	0	0
Proceso	31 Tension del alambre	0	0	0	0
Proceso	32 Perfil del arco	0	0	0	0
Proceso	33 Altura del arco	0	0	0	0
Proceso	34 Temperatura de soldado	0	0	0	0
Material	42 Material de aguja de soldado	0	0	0	0
Material	45 Composicion de alambre de oro	0	0	0	0
Material	46 Dimensiones de alambre de oro	0	0	0	0

**Tabla 2. 2** Matriz Causa – Efecto ponderada y ordenada

Por ultimo, las variables son mostradas en un grafico de Pareto (**Figura 2. 4**) donde se observan con mayor claridad los mas importantes, que en este caso fueron 14 y sobre los cuales se continuaran los análisis en las fases posteriores.



**Figura 2. 4** Pareto con las 14 variables más importantes resultantes de la ponderación de la matriz Causa- Efecto

## 2.4 Capacidad de los sistemas de medición

Se realizaron estudios a los sistemas de medición de las 2 principales variables de salida del proceso.

### 2.4.1 Defectivo tipo II

Como ya se explico anteriormente, el defectivo tipo 2 es cualquier residuo de alambre de oro ajeno al pad del slider y derivado de la operación de soldado al término de la misma, y que se genera por alguna inconsistencia en dicho proceso. Este problema se considera defecto debido a que es una condición no deseable por el cliente. Es por ello que se lleva a cabo una auditoria de forma sistemática con la finalidad controlar el residuo a niveles aceptables.

La auditoria consiste en la toma de 5 rows recién soldados de cada uno de los equipos en operación, repitiéndose este proceso cada hora. Los rows son enviados con los auditores de calidad, quienes llevan el control de las muestras y a través de un microscopio con una magnificación de 10X revisan cada uno de los sliders en los 5 rows son o no defectuosos en base al criterio mencionado anteriormente.

Para asegurar que el sistema de auditoria es confiable, se condujo un estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) por atributos. La Repetibilidad de un inspector significa que tanto repite su decisión una y otra vez en cuanto al criterio de aceptación o rechazo de la misma parte. En cambio la Reproducibilidad es que tanto un inspector esta de acuerdo con la decisión de otro.

Un R&R por atributos, tiene, entre otros, los siguientes objetivos:

- Evaluar los estándares de inspección en base a los requerimientos del cliente
- Determinar si los inspectores de los distintos turnos tienen los mismos criterios de lo que esta bien y lo que esta mal.
- Cuantificar la habilidad de los inspectores de repetir con precisión sus decisiones
- Identificar que tan bien los inspectores aciertan en relación a un estándar establecido.

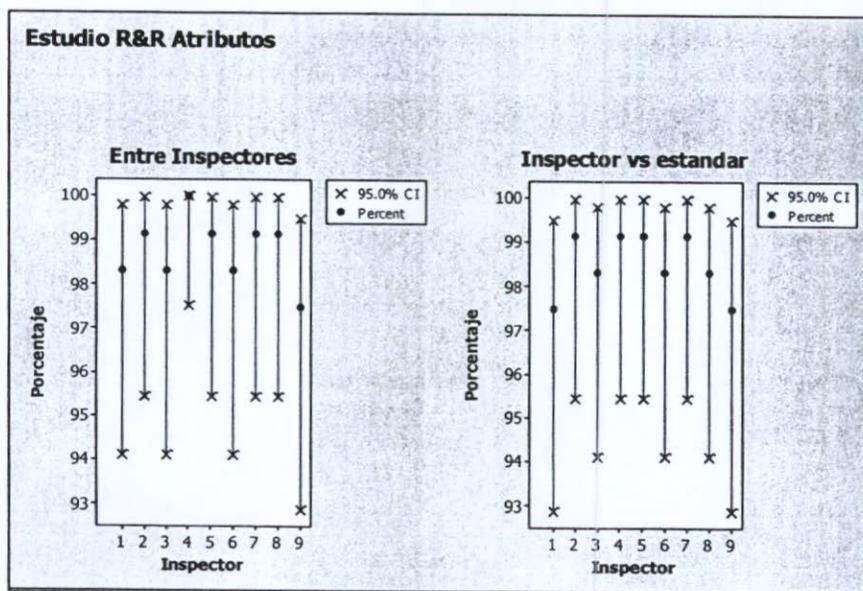


Figura 2. 5 Resultados de estudio de R&R por atributos para auditoria de defectivo tipo II

El estudio en este caso se aplicó a un total de nueve inspectores, con dos repeticiones cada uno, sobre 2 rows, conteniendo 60 sliders cada uno de ellos, algunos con defecto (residuo) y otros libres de defecto, siendo un total de 120 sliders a auditar en cada oportunidad. Los resultados se muestran de forma gráfica en la **Figura 2.5**

Los resultados se pueden separar en dos tipos de acuerdo entre inspectores, estos son:

1. El nivel de acuerdo que existe entre ellos y,
2. El nivel de acuerdo de los inspectores contra una referencia conocida de lo que puede ser un defecto, a la cual se le conoce como estándar o master.

Inspector	# Inspeccionados	# Aciertos	% de Aciertos	95 % IC
1	120	118	98.33	(94.11, 99.80)
2	120	119	99.17	(95.44, 99.98)
3	120	118	98.33	(94.11, 99.80)
4	120	120	100.00	(97.53, 100.00)
5	120	119	99.17	(95.44, 99.98)
6	120	118	98.33	(94.11, 99.80)
7	120	119	99.17	(95.44, 99.98)
8	120	119	99.17	(95.44, 99.98)
9	120	117	97.50	(92.87, 99.48)
<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>110</b>	<b>91.67</b>	<b>(85.21, 95.93)</b>

# Aciertos: Todos los juicios de los inspectores coinciden con los demás.

**Tabla 2.3** Evaluación de juicio de inspectores en acuerdo

Inspector	# Inspeccionados	# Aciertos	% de Aciertos	95 % IC
1	120	117	97.50	(92.87, 99.48)
2	120	119	99.17	(95.44, 99.98)
3	120	118	98.33	(94.11, 99.80)
4	120	119	99.17	(95.44, 99.98)
5	120	119	99.17	(95.44, 99.98)
6	120	118	98.33	(94.11, 99.80)
7	120	119	99.17	(95.44, 99.98)
8	120	118	98.33	(94.11, 99.80)
9	120	117	97.50	(92.87, 99.48)
<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>110</b>	<b>91.67</b>	<b>(85.21, 95.93)</b>

# Aciertos: todos los juicios de los inspectores coinciden con el estándar.

**Tabla 2.4** Evaluación de juicio de inspectores vs el estándar

La **Tabla 2. 3** muestra el nivel de aciertos individuales de cada inspector contra los demás y la **Tabla 2. 4** muestra el nivel de aciertos individuales de cada inspector contra el estándar.

Los resultados son satisfactorios para ambos casos, tanto entre inspectores como en relación al estándar, basado en las medias de los porcentajes que son superiores al 90%, lo cual indica que el sistema de medición es bueno.

Dado que los resultados obtenidos indican que se tiene un sistema de inspección confiable, se puede decir que los resultados de defectivo tipo II son reales, y basados en los gráficos mostrados cuando se explico la tendencia de los métricos, es necesario continuar con siguiente paso, que es la revisión del sistema de medición de métrico principal del proyecto, es decir, la fuerza de tracción.

#### *2.4.2 Fuerza de Tracción:*

En el caso de la fuerza de tracción, la variable a medir no es un atributo, sino un dato continuo, por lo que el R&R sirve para determinar que tanto de la variación observada es debida al sistema de medición utilizado y que tanto es debido a la variación entre partes. Para ello existen 2 tipos de estudios R&R según el tipo de prueba a realizar:

- El estudio R&R cruzado: donde cada parte puede ser medida múltiples veces por cada operador.
- El estudio R&R anidado: donde cada parte es medida únicamente por un operador, situación que normalmente se da cuando se trata de una prueba destructiva, como es el caso de la prueba de fuerza de tracción. En este tipo de prueba, la parte medida ya no puede ser reutilizada, por lo que se requiere, procurar la menor variación posible entre las partes a medir.

Finalmente, para llevar a cabo el estudio R&R, existen 2 métodos de análisis, el X-R y el ANOVA.

El método de X-R segrega la variación en 3 categorías: parte a parte, repetibilidad (variación debida al sistema de medición) y reproducibilidad (variación debida al operador). El método de ANOVA va un paso más allá y segrega la parte de reproducibilidad en un componente debido solo al operador y otro a la relación operador-parte.

Por lo anterior, el método de ANOVA es mas exacto que el X-R, y es el método utilizado en los estudios de R&R anidados.

El estudio R&R llevado a cabo tuvo las siguientes características:

- Se tomaron un total de 10 muestras, cada una de 4 rows
- A cada row se le despegaron 6 alambres obteniendo su valor promedio

Los resultados fueron obtenidos de acuerdo a los criterios establecidos con anterioridad y se muestran en la **Tabla 2. 5**

PIEZA	OPERADOR A		OPERADOR B	
	LECT 1	LECT 2	LECT 1	LECT 2
1	3.14	3.44	3.05	3.31
2	1.99	2.14	2.00	2.16
3	1.29	1.07	1.20	1.41
4	2.39	2.43	1.66	1.73
5	2.45	2.58	2.85	2.81
6	2.35	2.55	2.14	2.18
7	2.15	2.07	2.14	1.99
8	2.77	2.36	2.00	2.21
9	2.58	2.25	2.46	2.04
10	0.93	0.82	1.10	0.75

Lecturas en Gr. Fuerza

**Tabla 2. 5** Resultados para el estudio de R&R de fuerza de tracción

Posteriormente los datos fueron analizados en Minitab, (software para análisis estadístico), el cual arrojó los siguientes resultados:

### Estudio R&R – Anidado

#### ANOVA para Fuerza de Tracción

Fuente	DF	SS	MS	F	P
Operador	1	0.1622	0.162180	0.1763	0.680
Pieza (Operador)	18	16.5545	0.919693	35.7777	0.000
Repetibilidad	20	0.5141	0.025706		
Total	39	17.2308			

**Tabla 2. 6** Análisis de Varianza del R&R para Fuerza de Tracción

El valor de P del ANOVA indica la importancia en la variabilidad para cada componente del estudio, siendo las de mayor peso las que tienen valores de P menores a 0.05, por lo que en este estudio, la variabilidad es debida principalmente a las piezas.

Fuente	Componente Variación	%Contribución (de Comp. Var.)
R&R total	0.025706	5.44
Repetibilidad	0.025706	5.44
Reproducibilidad	0.000000	0.00
Parte-a-Parte	0.446994	94.56
Variación Total	0.472700	100.00

**Tabla 2. 7** Componentes de la variación del R&R para Fuerza de Tracción

Esta sección del estudio nos dice que la variación total es debida en aprox. un 95 % a la variación que hay entre las piezas, y solo en un 5% al R&R. Este último a su vez, se debe a la repetibilidad de la medición, es decir, a la variación del equipo de medición, y no a los operadores.

Fuente	Desviación Estándar (DE)	Var. del Estudio (6 * DE)	% Var. Estudio (%VE)
R&R Total	0.160330	0.96198	23.32
Repetibilidad	0.160330	0.96198	23.32
Reproducibilidad	0.000000	0.00000	0.00
Parte-a-Parte	0.668576	4.01146	97.24
Variación Total	0.687532	4.12519	100.00

Numero de Categorías distintas = 5

**Tabla 2. 8** Variación total del R&R para Fuerza de Tracción

Por ultimo, esta sección muestra que la variación total del estudio representa un 23% de la variación total observada, lo cual indica que el sistema de medición es aceptable, por ser menor al 30%.

Todo lo anterior puede verse gráficamente en la **Figura 2. 6**, donde se muestran los gráficos de los componentes de la variación, rangos de los valores medidos, valores de fuerza por pieza, y por operador.

## R&R (Anidado) para Fuerza de Tracción

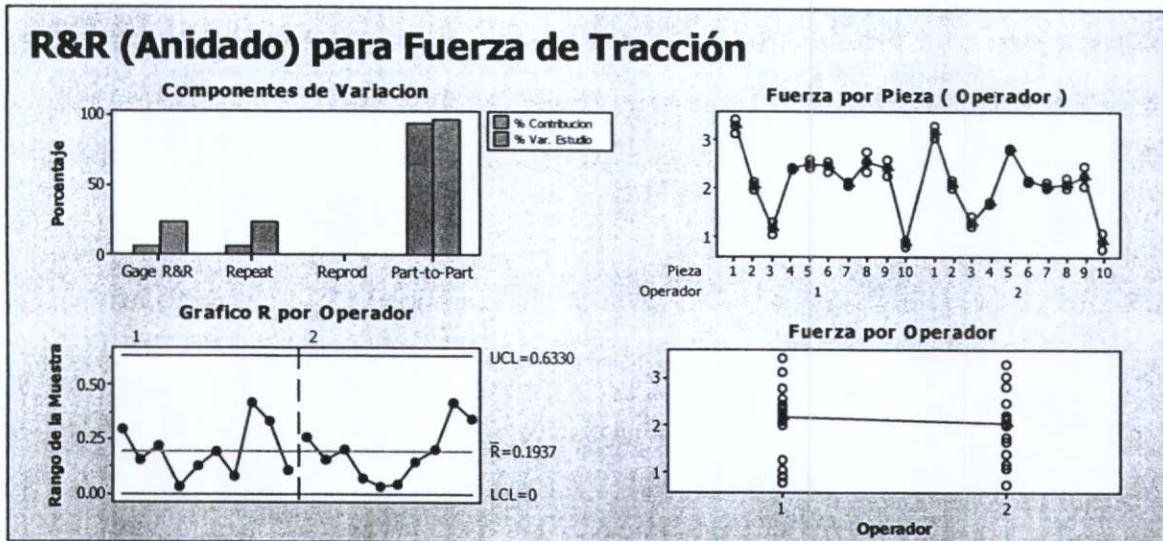


Figura 2. 6 Resultados de estudio de R&R para prueba de fuerza de tracción

En resumen, dado que la fuerza de tracción es el métrico principal del proyecto, resulta de suma importancia contar con la seguridad de que se esta midiendo de forma correcta, y que los datos arrojados son confiables. De aquí que los resultados obtenidos de este estudio y los del anterior dan la certeza de que no es necesario trabajar en la mejora del sistema de medición, sino que solo se necesita enfocar los recursos en las herramientas siguientes de la metodología sobre las variables de entrada ya determinadas por la matriz causa-efecto, que son: la aplicación del AMEF, las pruebas de hipótesis, y el diseño experimental, para finalmente obtener el proceso optimo y por ende la mejora de los métricos o variables de salida.

### 2.5 Sistema de recolección de datos

El sistema de recolección de datos es la estrategia que permite recabar toda la información necesaria para hacer un buen análisis de capacidad de proceso; para ello, la muestra de los datos tomados debe ser representativa y estratificada (por categorías). El primer paso es definir que tipo de datos se están analizando, que para el caso del defectivo tipo II se trata de atributos, ya que la información proporcionada es si la parte tiene o no defecto. Por lo anterior la recomendación es adquirir la mayor cantidad de datos posible (mínimo 100 por equipo), de tal forma se tomaron datos históricos durante dos meses (aproximadamente 100,000 datos), lo cual es una muestra bastante representativa.

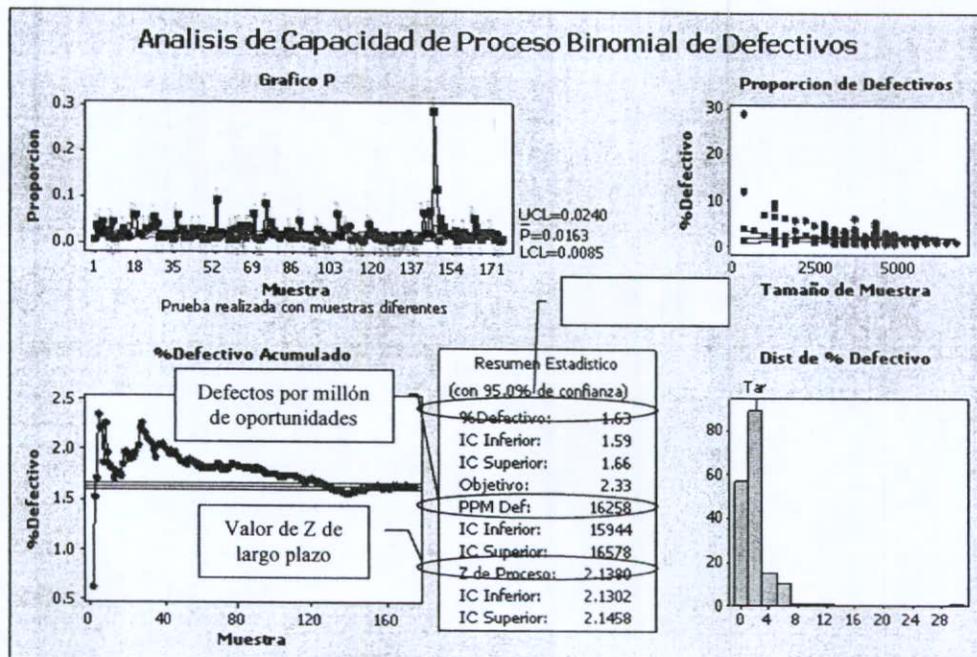
## 2.6 Capacidad del proceso

El estudio de capacidad del proceso nos permite, a través de estadísticos, entender y reportar los siguientes puntos:

- Crear los estadísticos que reporten que tan bien el proceso cumple con las especificaciones definidas por el cliente.
- Priorizar las fuentes potenciales del problema:
  - Variaciones de largo plazo (Z del proceso)
  - Variaciones de corto plazo (Sigma del proceso)
  - La capacidad del proceso (Cpk)

Como ya se menciona, el estudio que se presenta a continuación, esta basado en datos históricos de defectivo tipo II en un periodo de dos meses, cuantificándose para cada uno de los equipos, la cantidad de partes totales inspeccionadas y la cantidad de defectuosos por equipo por día.

El análisis de los datos se realiza en Minitab (software estadístico), el cual genera los resultados mostrados en la **Figura 2.7**



**Figura 2.7** Resultado del análisis de capacidad del proceso para defectivo tipo II

De la figura se pueden observar tres datos importantes:

1. El porcentaje de defectos histórico del proceso es de 1.63%, que es lo que se había obtenido también en la *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*
2. Dado que se analizaron datos históricos en una gran cantidad, se puede decir que la capacidad del proceso obtenida es a largo plazo, lo cual se presenta como el valor Z del proceso que es 2.13
3. La cantidad de defectos por millón de oportunidades, que es el equivalente al 1.63% de defectos elevado al millón de partes procesadas.

Debido a que los datos de proporciones de defectos no se distribuyen de forma normal sino que lo hacen de forma binomial, los resultados obtenidos en Minitab no muestran en este caso los valores de Cp ni Cpk de forma directa, es por ello que se emplea la calculadora de Seis Sigma (Six Sigma Calculator) mostrada en la **Figura 2. 8** donde se introduce como dato la cantidad de defectos por millón de oportunidades que es de 16258 (obtenido de Minitab), y la calculadora se encarga de generar el resto de los datos para completar el análisis.

**Figura 2. 8** Equivalencias de DPMO, yield, Cpk y nivel de sigma de los resultados mostrados en el estudio de capacidad del proceso

De la calculadora se pueden observar ahora tres nuevos datos importantes:

1. El valor de Sigma de corto plazo del proceso, que es como una fotografía del mismo en un instante dado, muestra un nivel de 3.63, el cual, de acuerdo a la tabla mostrada en el Apéndice C, indica que el proceso esta aun alejado del nivel ideal de un proceso seis sigma.

2. El yield o total de partes buenas resultantes del proceso que se obtiene al restar el 100% (o la unidad) menos la proporción de piezas defectuosas que son 0.0163 (1.63%), lo que da como resultado 0.9837 (98.37%).
3. El Cpk o índice de capacidad del proceso de 1.21, lo que se puede considerar marginal para el tipo de proceso en cuestión, lo anterior con respecto al valor ideal (superior a 1.5) [Manuales de BMG, 2005. Ver Referencias].

Recordando la relación entre el valor Sigma de corto plazo y el valor Z de largo plazo del proceso, el primero es el comportamiento del mismo durante un instante, la mayoría de las veces durante la toma de la muestra del estudio de capacidad, lo cual puede ser engañoso si no se toma en cuenta que los procesos varían en el tiempo, y es eso lo que hace que el valor de Z de largo plazo sea menor. Lo anterior cumple con la regla general que indica que Z normalmente tendrá un valor 1.5 veces menor que el valor de Sigma.

Sumarizando lo anterior, los resultados del estudio de capacidad del proceso indican que este tiene un valor Z de largo plazo de 2.13, un valor Sigma de corto plazo de 3.63, un Cpk de 1.21 y un yield de 0.9837 (98.37%).

En este capítulo, a diferencia del anterior, se definieron las variables de entrada que afectan a nuestros métricos (o variables de salida), dichas variables se agruparon por categorías, se ponderaron y seleccionaron solo las más importantes para un posterior análisis más exhaustivo. Además, se analizaron los sistemas de medición para los métricos principal y secundario, los cuales mostraron ser aceptables, y que garantizan que los datos que se obtienen de ellos son confiables. Por otro lado, el estudio de capacidad del proceso mostró que no es del todo satisfactorio, dado el nivel de Cpk obtenido, y esto sirve como base para comparar los resultados al final del proyecto y evaluar la mejora obtenida después de la optimización del proceso.

## **CAPITULO 3 – ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DEL PROCESO Y SU CORRELACIÓN**

En la tercera fase, análisis, el equipo analiza los datos de resultados actuales e históricos. Se desarrollan y comprueban hipótesis sobre posibles relaciones causa-efecto utilizando las herramientas estadísticas pertinentes. De esta forma se confirman los determinantes del proceso, es decir las variables clave de entrada o "pocos vitales" que afectan a las variables de respuesta del proceso.

### **3.1 Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF o en Ingles FMEA)**

El Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF o FMEA por sus siglas en Ingles) es la última de las herramientas de lluvia de ideas utilizadas en la metodología de Seis Sigma. Esta herramienta, además de servir para identificar variables críticas del proceso, sirve para generar acciones de mejora a mediano y largo plazo.

El AMEF fue desarrollado por primera vez en 1950 y fue ampliamente utilizado en la década de los 60's por la NASA durante el inicio de la carrera espacial. Posteriormente fue adoptado por la compañía Ford quien fue la primera en darle una aplicación de uso en los procesos industriales.

El AMEF se puede emplear para varios propósitos, por ejemplo, se puede usar en las fases iniciales del diseño de sistemas complejos, o para el de partes y componentes simples, o lo que constituye su uso más común, que son los procesos de producción o equipos y herramientas existentes.

El formato del AMEF se lleva a cabo de forma secuencial. Primero se analizan los pasos del proceso de forma general, y luego se describen los sub-sistemas que son analizados en detalle con la idea de identificar los procesos críticos. La idea principal del AMEF es documentar todo lo que se quiera saber sobre un determinado defecto, y es por ello que

debe ser re-evaluado de vez en cuando a medida que se mejoren las capacidades del proceso y que las prioridades impuestas por el cliente cambien.

Un AMEF es una matriz de datos que consta de una serie de columnas ordenadas de forma específica, y que se pueden agrupar en dos secciones principales:

1. Evaluación inicial: evalúa las condiciones iniciales del proceso
2. Acciones e historial: describe las actividades para reducir la ocurrencia de las fallas y aumentar su detección.

### *3.1.1 AMEF - Parte 1. Evaluación Inicial*

La sección de la evaluación inicial sirve para identificar las variables de entrada críticas enfocándose en los efectos cuando dichas variables no son controladas.

Las partes (o columnas) que componen esta sección se describen a continuación:

1. Función del proceso: son los pasos del proceso a ser analizados en el AMEF, y son las variables identificadas como más importantes resultantes de la matriz causa – efecto.
2. Modo potencial de falla: describe todas las maneras como el proceso puede llegar a fallar o no cumplir los requerimientos de diseño.
3. Efectos potenciales de falla: son los que describen como son afectados los requerimientos del cliente o las salidas del proceso.
4. Severidad: se utiliza para cuantificar el efecto de la falla y es una escala de 1 a 10, siendo 10 el valor más severo.
5. Causa potencial del modo de falla: es toda causa concebible que puede originar el modo de falla.
6. Ocurrencia: es la probabilidad de que ocurra una causa en específico y que esta origine la falla. También se mide en una escala de 1 a 10
7. Controles actuales de proceso: son métodos que pueden ya sea prevenir la ocurrencia del modo de falla o al menos detectarla a tiempo.

8. Detección: es la habilidad del sistema de control para detectar el modo de falla antes de que termine de ser procesada, esta se mide en una escala de 10 a 1, es decir, a la inversa de las otras dos.
9. El NRP o Número de Riesgo Potencial: es el producto de la severidad, la ocurrencia y la detección y sirve para definir cuales modos de falla son los de mayor prioridad.

### 3.1.2 AMEF - Parte 2. Acciones e historial

La sección de acciones e historial sirve para generar y darle seguimiento a las acciones para la mejora del proceso.

Las columnas que conforman esta sección son las siguientes:

1. Acciones recomendadas: son la base del AMEF, y deben estar enfocadas ya sea en reducir la ocurrencia o incrementar la detección del modo de falla.
2. Responsabilidad: en esta se designa al miembro del equipo o fuera de el, quien será responsable del cierre de la acción, definiendo además la fecha de su cierre.
3. Acciones tomadas: se refiere a las acciones que ya fueron cerradas.
4. Recalculo de NRP: en base al resultado de las acciones cerradas, se deben recalcular la severidad, la ocurrencia y la detección para ver si es necesario implementar nuevas acciones.

En base a todo lo anterior, con la ayuda del equipo de trabajo, se llevo a cabo el AMEF del proyecto, el cual se observa en la **Tabla 3. 1**

## Proceso / Producto -- Analisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)

Preparado por: Carlos Sandoval  
 Fecha de Org. AMEF: 07/01/07 (Rev) A

Nombre del Proceso: Proceso de Soldado con equipos H&K  
 Responsable: Carlos Sandoval

Página: \_\_\_ de \_\_\_  
 Fecha: \_\_\_ de \_\_\_ de \_\_\_

Paso del Proceso	Modo Potencial de Falla	Efecto Potencial de Falla	Causas (Problema(s) / Mecanismo(s) de Falla)	O C U	Control de Proceso Actuales	D M P	A R P	Acciones Recomendadas	Responsable y Fecha de Cierre	Resultados de Acciones					
										A	S	O	C		
USG	Muy Bajo	Soldado debil	Calibración de USG (Torque y Opresor)	2	MP cambio de opresor cada mes	6	96	Calibrar torque anualmente, verificar si el ajuste es correcto	Mantenimiento	Inclusion en MP	8	1	4	32	
		Falla de soldado	Calibración de USG (Torque y Opresor)	9	Prueba de fuerza de tracción	3	216	Incluir en Pruebas de Hipotesis	Mantenimiento	Inclusion en MP	8	1	4	32	
	Muy Alto	Muy ajustado	Calibración de USG (Torque y Opresor)	9	Prueba de fuerza de tracción	3	216	Calibrar torque anualmente, verificar si el ajuste es correcto	Mantenimiento	Inclusion en MP	8	1	4	32	
		Soldadura quebrada	Calibración de USG (Torque y Opresor)	9	Prueba de fuerza de tracción, auditoria de defectivo tipo II	3	216	Calibrar torque anualmente, verificar si el ajuste es correcto	Mantenimiento	Inclusion en MP	8	1	4	32	
Fuerza	Muy Baja	Soldado debil	Calibración de USG (Torque y Opresor)	2	MP cambio de opresor cada mes	6	96	Calibrar torque anualmente, verificar si el ajuste es correcto	Mantenimiento	Inclusion en MP	8	1	4	32	
		Falla de soldado	Calibración de USG (Torque y Opresor)	9	Prueba de fuerza de tracción, auditoria de defectivo tipo II	3	216	Incluir en Pruebas de Hipotesis	Mantenimiento	Inclusion en MP	8	1	4	32	
	Muy Alta	Muy ajustado	Calibración de fuerza	6	MP calibración de fuerza	7	210	Revisar calibración de fuerza cada falla de soldado	Mantenimiento	Inclusion en procedimiento de operacion	5	6	3	90	
		Soldadura quebrada	Calibración de fuerza	6	MP calibración de fuerza	7	210	Revisar calibración de fuerza cada falla de soldado	Mantenimiento	Inclusion en procedimiento de operacion	5	6	3	90	
	Row sucio	Soldado debil	Calibración de fuerza	6	Prueba de fuerza de tracción, auditoria de defectivo tipo II	2	10	Incluir en Pruebas de Hipotesis							
		Falla de soldado	Calibración de fuerza	6	Prueba de fuerza de tracción, auditoria de defectivo tipo II	2	10	Incluir en Pruebas de Hipotesis							
	Soldado inconsistente	Soldado debil	Calibración de fuerza	6	Prueba de fuerza de tracción, auditoria de defectivo tipo II	2	10	Incluir en Pruebas de Hipotesis							
		Falla de soldado	Calibración de fuerza	6	Prueba de fuerza de tracción, auditoria de defectivo tipo II	2	10	Incluir en Pruebas de Hipotesis							
	Fuera del ped	Soldado debil	Factor de USG alto	Falta de proceso de limpieza	7	Sin controles de proceso	4	198	Incluir en Pruebas de Hipotesis	Manufactura	Inclusion en procedimiento de operacion	5	7	2	70
		Falla de soldado	Factor de USG alto	Proceso de limpieza insuficiente	7	Sin controles de proceso	3	105	Incluir en Pruebas de Hipotesis	Manufactura	Inclusion en procedimiento de operacion	5	7	2	70
Cerca de la cinta adhesiva	Soldado debil	Factor de USG alto	Factor de USG alto	4	Contador de desgaste de aguja	5	100	Revisar deformación de alambre soldado	Manufactura	Inclusion en procedimiento de operacion					
	Falla de soldado	Factor de USG alto	Factor de USG alto	4	Contador de desgaste de aguja	5	100	Revisar deformación de alambre soldado	Manufactura	Inclusion en procedimiento de operacion					
Tarjeta no reacondicionada	Soldado debil	Alneacion incorrecta	Alneacion incorrecta	7	Instrucciones de operacion	6	210	Incluir en Pruebas de Hipotesis	Manufactura						
	Falla de soldado	Alneacion incorrecta	Herramental sobado	5	Sin controles de proceso	2	50	Incluir en Pruebas de Hipotesis	Manufactura						
Reacondicionamiento pobre	Soldado debil	Alneacion incorrecta	Carga incorrecta en X	6	Auditoria de alineacion en X	2	60								
	Falla de soldado	Alneacion incorrecta	Herramental sucio	7	Sin controles de proceso	2	60								
Pistas faltantes, falta de soldado excesivo	Soldado debil	Alneacion incorrecta	Alneacion incorrecta	6	Sin controles de proceso	2	60	Implementar limpieza en MP	Mantenimiento	Reentrenamiento	5	7	2	70	
	Falla de soldado	Alneacion incorrecta	Alneacion incorrecta	6	Sin controles de proceso	2	60	Implementar limpieza en MP	Mantenimiento	Reentrenamiento	5	7	2	70	
Muy corto	Soldado debil	Alneacion incorrecta	Proceso no realizado	6	Sin controles de proceso	2	60								
	Falla de soldado	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
Muy largo	Soldado debil	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
	Falla de soldado	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
Fuera de centro de rotacion	Soldado debil	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
	Falla de soldado	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
Desalineado en eje X	Soldado debil	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
	Falla de soldado	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
Desalineado en eje Y	Soldado debil	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
	Falla de soldado	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
Desalineado en ejes X y Y	Soldado debil	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
	Falla de soldado	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
Tiempo de soldado	Soldado debil	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
	Falla de soldado	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
Centro de rotacion de la aguja	Soldado debil	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
	Falla de soldado	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
Posicion del row en el ensamble	Soldado debil	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
	Falla de soldado	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
Desalineado en eje X	Soldado debil	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
	Falla de soldado	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
Desalineado en eje Y	Soldado debil	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
	Falla de soldado	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
Desalineado en ejes X y Y	Soldado debil	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								
	Falla de soldado	Alneacion incorrecta	Capillado insuficiente	5	Sin controles de proceso	2	60								

Tabla 3. 1 Analisis de Modo y Efecto de Falla para el proceso de soldado (wire bond)

En el AMEF anterior se puede observar que los valores de NRP para los modos de falla van desde cantidades muy pequeñas hasta algunas superiores a 200, siendo las más pequeñas de menor afectación y las más grandes las de mayor.

Para tomar la decisión de cuales serian los modos potenciales de falla a considerar y continuar con el proceso de discriminación, se consideran los modos con los valores mas elevados de NRP, proponiendo una acción, un responsable y una fecha de cierre para cada uno de ellos. Posteriormente, y conforme las acciones fueron cerradas, se hizo un recalcu de los NRP para dichos modos de falla observándose una reducción de los valores originales en todos los casos. Los mecanismos de falla que fueron cerrados de esta forma se muestran en la *Tabla 3. 2*

Paso del Proceso	Modo Potencial de Falla	Efecto Potencial de Falla	Frecuencia	Causa(s) Potencial(es) / Mecanismo(s) de Falla	D.C.S.	Controles de Proceso Actuales	D.S.T.	R.A.P.	Acciones Recomendadas	Responsable y Fecha de Cierre	Resultados de Acciones				
											Acciones Tomadas	A	C	D	R
USG	Muy Bajo	Soldado debil	8	Calibracion de USG (Torque y Opresor)	2	MP cambio de opresor cada mes	6	96	Calibrar torque anualmente, verificar si el ajuste es correcto	Mantenimiento	Inclusion en MP	8	1	4	32
		Falta de soldado													
	Muy apiastado														
	Soldadura quebrada														
Fuerza	Muy Baja	Soldado debil	5	Calibracion de fuerza	6	MP calibracion de fuerza	7	210	Revisar calibracion de fuerza cada falla de soldado	Mantenimiento	Inclusion en procedimiento de operacion	5	6	3	90
		Falta de soldado													
Desgaste de aguja de soldado	Soldado inconsistente	Soldado debil	5	Factor de USG alto	4	Contador de desgaste de aguja	5	100	Revisar deformacion de alambre soldado	Manufactura	Inclusion en procedimiento de operacion	5	3	4	60
Posiciones de punto de soldado	Cerca de la cinta adhesiva	Soldado debil	5	Herramental sucio	7	Inspeccion visual	4	140	Implementar limpieza en MP	Mantenimiento	Reentrenamiento	5	7	2	70
							3	105							
Reacondicionamiento de tarjeta	Racondicionamiento pobre	Falta de soldado	5	Balero dañado / resortes desgastados	4	MP Semanal	5	100	Reforzar practicas de mantenimiento	Mantenimiento	Reentrenamiento	5	3	5	75
Centro de rotacion de la aguja	Fuera de centro de rotacion	Falta de soldado	4	Calibracion incorrecta	4	MP Diario	4	64	Revisar punto de soldado despues de calibracion	Mantenimiento	Inclusion en procedimiento de operacion	4	3	4	48

**Tabla 3. 2** Acciones y recalcu de NRP sobre mecanismos de falla fáciles de implementar o con valores elevados

Cabe mencionar que para este proyecto también se establecieron acciones para los mecanismos de falla con valores bajos y algunos otros donde era sencillo implementar nuevos controles. Estos también se muestran en la *Tabla 3. 2*

Para los mecanismos de falla donde no fue posible implementar acciones y reducir los NRP, se mantuvieron sus valores originales y controles existentes, siendo considerados como candidatos para el siguiente proceso de discriminación: las pruebas de hipótesis.

### 3.2 Desarrollo y pruebas de hipótesis

Las pruebas de hipótesis son una forma de responder a una pregunta práctica de forma estadística, esto es, tomar decisiones en base a datos.

Una hipótesis es un enunciado hecho sobre un parámetro poblacional y esta basada en dos elementos:

La hipótesis nula, conocida como  $H_0$ , y que es lo que se asume acerca del parámetro poblacional. Lo que es lo mismo, es un enunciado de no efecto o no diferencia sobre una situación actual. La hipótesis nula es la base para la evaluación estadística, ya que es esta la que se rechaza o se falla en rechazar basados en los datos obtenidos.

La hipótesis alterna, conocida como  $H_a$ , es el enunciado acerca del parámetro de la población que se quiere probar mediante una evidencia suficientemente fuerte. La hipótesis alterna es aceptada cuando la hipótesis nula es rechazada.

Una clara analogía de las pruebas de hipótesis son las bases del sistema judicial norteamericano, donde el acusado es inocente hasta que no se le demuestre lo contrario, o lo que es lo mismo,  $H_0$  se asume como cierto hasta que  $H_a$  no demuestre suficientes pruebas para desmentirlo.

De lo anterior se definen dos posibles errores que se pueden cometer:

1. Error Tipo I (o riesgo alfa): es el riesgo de rechazar la hipótesis nula cuando esta es verdadera, y también se le conoce como riesgo del productor.
2. Error Tipo II (o riesgo beta): es el riesgo de aceptar la hipótesis nula cuando esta es falsa, y también se le conoce como el riesgo del consumidor.

El proceso para ejecutar las pruebas de hipótesis se puede describir como sigue:

1. Enunciar la pregunta practica
2. Enunciar la pregunta de forma estadística, usando  $H_0$  y  $H_a$ 
  - a. Enunciar las hipótesis nula y alterna
  - b. Seleccionar la prueba estadística adecuada según el tipo de variable

- c. Seleccionar el nivel de confianza de la prueba (conocido como alfa)
  - d. Seleccionar el poder de la prueba y calcular el tamaño de muestra
  - e. Obtener las muestras, recolectar datos y hacer el análisis
3. Enunciar la conclusión estadística
  4. Enunciar la conclusión práctica

F330 S

Una vez explicada la teoría de las pruebas de hipótesis, podemos pasar a la planeación y la ejecución de las mismas, las cuales se describen a continuación:

Volviendo al paso anterior del AMEF, hubo variables sobre las que se recomendaron acciones y fueron cerradas, pero hubo otras cuyos efectos sobre las variables de salida serán evaluadas mediante pruebas de hipótesis.

A continuación se muestra la **Tabla 3. 3** con las variables identificadas como candidatas a evaluar mediante pruebas de hipótesis, donde fueron identificadas por tipo de variable y les fueron definidos los niveles de experimentación para las pruebas.

X's Potenciales	Unidad	Tipo de Var.	Categ	Niveles para la Tarjeta			Niveles para el Row		
				-	+	0	-	+	0
Fuerza	cN	Continua	Controlable	50% Nom	150% Nom	Nom	50% Nom	150% Nom	Nom
USG	mA	Continua		50% Nom	150% Nom	Nom	50% Nom	150% Nom	Nom
Tiempo	sec	Continua		50% Nom	150% Nom	Nom	50% Nom	150% Nom	Nom
Posiciones de soldado		Atributo					Hacia el sensor	Hacia la cinta	Centrado
Posicion del row	mm	Continua				*	-150 um	+150 um	Nom
Limpieza del Row		Atributo					Sin lavar	Lavados	
Reacondicionam. pistas		Atributo		Sin Aplanar	Aplanado				

*Nota: Nom es el valor Nominal del proceso*

**Tabla 3. 3** Tabla de pruebas de hipótesis que muestra las 7 variables de entrada potenciales y sus niveles de experimentación tanto para la tarjeta como para el row

Con base en los tipos de variables disponibles tanto de entrada como de salida, el siguiente paso es definir el tipo de prueba de hipótesis a realizar, ya que estas varían dependiendo de la combinación de estas variables, por ejemplo, cuando tanto la variable de entrada como la de salida son continuas, la prueba a realizar es un ANOVA (análisis de varianza), y si ambas son atributos, la prueba que se debe llevar a cabo es un ANOM (análisis de medias), de ahí los valores mostrados en la **Tabla 3. 4**

X's Potenciales	Unidad	Tipo de Var.	Y		
			Alambres despegados Cantidad ATRIBUTO	Fuerza de traccion gfF CONTINUA	Deformacion um CONTINUA
Fuerza	cN	Continua	ANOM	ANOVA	ANOVA
USG	mA	Continua	ANOM	ANOVA	ANOVA
Tiempo	sec	Continua	ANOM	ANOVA	ANOVA
Posiciones de soldado		Atributo	ANOM	ANOVA	ANOVA
Posicion del row	mm	Continua	ANOM	ANOVA	ANOVA
Limpieza del Row		Atributo	2 Proporciones	Prueba - F	Prueba - F
Reacondicionam. pistas		Atributo	2 Proporciones	Prueba - F	Prueba - F

**Tabla 3. 4** Tabla que describe el tipo de prueba de hipótesis a ejecutar en base a los tipos de variable tanto de entrada (X's) como de salida (Y's)

El siguiente paso consiste en el cálculo del tamaño de muestra y el poder de la prueba. Ambos son de suma importancia para el éxito de las pruebas ya que de no ser calculadas correctamente, se corre el grave riesgo de cometer alguno de los errores mencionados anteriormente, ya sea el error tipo I o el tipo II.

El calculo del tamaño de muestra se hace a través de Minitab, asumiendo un valor de alfa = 0.5 y un valor de beta = 0.8 (que son valores estándar para este tipo de estadísticos, ref. Manuales BMG, 2005), y estimando los valores de las proporciones 1 y 2 como 0.8 y 0.7 respectivamente, al ingresar estos datos, el resultado obtenido por Minitab es que se requiere un tamaño de muestra de 294 cabezas lectoras para cada prueba de hipótesis.

La **Tabla 3. 5** muestra tanto la definición en lenguaje estadístico como los valores utilizados en cada una de las pruebas a realizar, además de mostrar los tamaños de muestra y poder de prueba calculados.

X	PH	Y			Prop. 1	Prop 2	Tamaño Muestra	Poder Prueba
		Alambres Despegados	Fuerza de Traccion	Deformacion				
1.1 Fuerza Tarjeta	Ho	P1=P2=P3	x1=x2=x3	x1=x2=x3	0.8	0.7	294	0.8
	Ha	P1<P2<P3	x1<x2<x3	x1<x2<x3				
1.2 Fuerza Row	Ho	P1=P2=P3	x1=x2=x3	x1=x2=x3	0.8	0.7	294	0.8
	Ha	P1<P2<P3	x1<x2<x3	x1<x2<x3				
2.1 USG Tarjeta	Ho	P1=P2=P3	x1=x2=x3	x1=x2=x3	0.8	0.7	294	0.8
	Ha	P1<P2<P3	x1<x2<x3	x1<x2<x3				
2.2 USG Row	Ho	P1=P2=P3	x1=x2=x3	x1=x2=x3	0.8	0.7	294	0.8
	Ha	P1<P2<P3	x1<x2<x3	x1<x2<x3				
3.1 Tiempo Tarjeta	Ho	P1=P2=P3	x1=x2=x3	x1=x2=x3	0.8	0.7	294	0.8
	Ha	P1<P2<P3	x1<x2<x3	x1<x2<x3				
3.2 Tiempo Row	Ho	P1=P2=P3	x1=x2=x3	x1=x2=x3	0.8	0.7	294	0.8
	Ha	P1<P2<P3	x1<x2<x3	x1<x2<x3				
4.1 Posiciones soldado Row	Ho	P1=P2=P3	x1=x2=x3	x1=x2=x3	0.8	0.7	294	0.8
	Ha	P1<P2<P3	x1<x2<x3	x1<x2<x3				
5.1 Posicion del row Row	Ho	P1=P2=P3	x1=x2=x3	x1=x2=x3	0.8	0.7	294	0.8
	Ha	P1<P2<P3	x1<x2<x3	x1<x2<x3				
6.1 Limpieza Row	Ho	P1=P2	x1=x2	x1=x2	0.8	0.7	294	0.8
	Ha	P1<P2	x1<x2	x1<x2				
7.1 Reacondicionamiento Tarjeta	Ho	P1=P2	x1=x2	x1=x2	0.8	0.7	294	0.8
	Ha	P1<P2	x1<x2	x1<x2				

**Tabla 3. 5** Tabla que muestra el detalle de las pruebas de hipótesis definidas

Finalmente, para cada una de las variables se llevo a cabo la ejecución de las pruebas, tanto en el row como en la tarjeta utilizando 5 rows en cada una de ellas, que equivalen a 300 cabezas (sliders), cantidad que cumple con el tamaño de muestra requerido de 294.

### 3.2.1 Resultados de pruebas de hipótesis

Para verificar los resultados de las pruebas de hipótesis, y dada la facilidad con la que se pueden apreciar a simple vista, se escogió como variable de salida, los alambres despegados en el row, siendo la forma más sencilla de comprobar si el cambio de nivel de una variable afecta o no al proceso.

Los gráficos de la **Tabla 3. 6** son el resultado obtenido de Minitab y para cada nivel definido muestran la proporción de alambres despegados, lo cual se interpreta de la siguiente forma:

- Si los puntos que representan a cada nivel se encuentran dentro de los límites, significa que no afectan estadísticamente la variable de salida, pero si alguno esta fuera de los mismos, este si tendrá un efecto sobre la variable de salida, ya sea de forma positiva o negativa.
- Entre mayor proporción muestre un nivel sobre la variable de salida, peor será su condición para el proceso de soldado, y viceversa.

A continuación se muestran los resultados de las pruebas en forma grafica.

<p style="text-align: center;"><b>Fuerza en Row</b> Alfa = 0.05</p>	<p style="text-align: center;"><b>USG en Row</b> Alfa = 0.05</p>
<p>La fuerza en el row mostró que tiene afectación sobre la variable de salida en cualquier nivel</p>	<p>El USG en el row mostró que tiene afectación sobre la variable de salida en cualquier nivel</p>
<p style="text-align: center;"><b>Tiempo en Row</b> Alfa = 0.05</p>	<p style="text-align: center;"><b>Posiciones de soldado en Row</b> Alfa = 0.05</p>
<p>El tiempo de soldado en el row no tiene una afectación sobre la variable de salida en ninguno de sus niveles, aunque muestra una tendencia opuesta en el nivel alto</p>	<p>Las posiciones de soldado en el row no muestran afectación alguna sobre la variable de salida en ninguno de sus niveles</p>
<p style="text-align: center;"><b>Posición de Row</b> Alfa = 0.05</p>	<p style="text-align: center;"><b>Limpieza de Row</b> Alfa = 0.05</p>
<p>La posición del row en la cinta adhesiva no mostró afectación sobre la variable de salida</p>	<p>La limpieza en el row mostró que tiene afectación opuesta sobre la variable de salida en sus dos niveles</p>

**Tabla 3. 6** Resultados gráficos de las pruebas de hipótesis sobre la variable de salida de alambres despegados

### 3.2.2. Conclusiones de Pruebas de hipótesis

En base a estas pruebas, se puede concluir que las variables de entrada con mas peso sobre las de salida, son la Fuerza de soldado, la corriente de USG y la limpieza del material, y dado que la limpieza es un proceso ya existente, no hay necesidad de incluirlo en la experimentación, puesto que, al estar vigente, solo se requiere garantizar su correcta ejecución. Por otro lado, el tiempo de soldado no se manifestó como una variable con afectación a la salida del proceso, pero servirá en la experimentación como medio de control para las dos variables a considerar, que son Fuerza de soldado y USG.

### 3.3 Plan para diseño de experimentos

Un experimento es una prueba o serie de pruebas donde se proponen cambios a las variables de entrada de un proceso y se observan los efectos en ciertas variables de salida deseadas. El propósito final de la metodología de Seis Sigma es la obtención de un modelo  $Y=f(x)$  que describa matemáticamente el comportamiento del proceso, y una de las formas de obtenerlo es a través de la ejecución de un diseño de experimentos.

La optimización del proceso de soldado comienza con la previa discriminación de todas las variables de entrada definidas en un principio y la obtención de unas cuantas que son las que afectan en mayor proporción a las variables de salida del proceso. La experimentación con estas variables es la clave para llegar a un proceso óptimo, y como resultado de la aplicación de las herramientas vistas en los capítulos anteriores, se ha llegado a un total de tres variables importantes, que son las que se consideraran para nuestra experimentación.

Las tres variables corresponden directamente al proceso de soldado como tal y son parámetros ajustables mediante el software que controla al equipo. Dichos parámetros son: la potencia del generador de ultrasonido (conocido como USG por sus siglas en ingles), la fuerza aplicada sobre la aguja de soldado, y el tiempo de aplicación del ultrasonido.

## CAPITULO 4 – MEJORA DE LAS CONDICIONES DEL PROCESO

En la fase de mejora el equipo trata de determinar la relación causa-efecto (relación matemática entre las variables de entrada y la variable de respuesta que interese) para predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso. Por último se determina el rango operacional de los parámetros o variables de entrada del proceso.

### 4.1 Diseño y ejecución del experimento

Como parte de este proceso, el diseño de experimentos en X's significativas, representa la evaluación del impacto de cada una de ellas, tanto de forma individual como de sus interacciones, y su peso sobre las variables de salida.

El enfoque de este capítulo se centraliza en optimizar dichas X's a través de un DOE dentro del proceso de soldado basados en las variables críticas obtenidas hasta ahora y como resultado de las herramientas estadísticas empleadas en los capítulos anteriores.

#### 4.1.1 Parámetros Actuales del Proceso

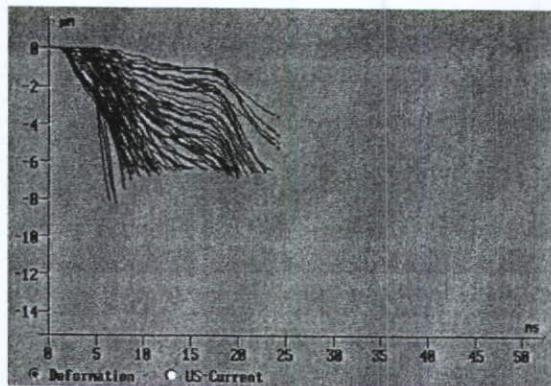
Los valores de los parámetros originales del proceso fueron creados a partir de los ya existentes en los equipos de soldado K&S, siendo estos aplicados en un solo periodo de tiempo (o una sola fase). La **Tabla 4. 1** muestra los valores del programa original.

<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>(1 Fase)</b>
USG 1	<i>m-amp</i>	35
Fuerza 1	<i>c-newtons</i>	15
Tiempo	<i>m-seg</i>	25
Modo de Control	----	Deformación
Valor Limite	----	27% (diámetro de alambre)
Valor Limite Físico	<i>um</i>	6.86

**Tabla 4. 1** Parámetros de proceso iniciales del equipo H&K BJ820 utilizando un programa con una sola fase de soldado (similar al equipo K&S)

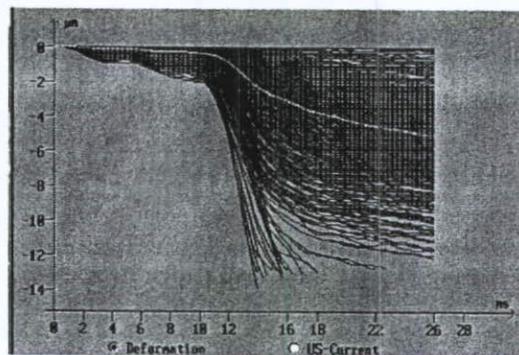
Durante este capítulo se mostrarán gráficos de una de las principales herramientas con las que cuenta el equipo H&K, que son las gráficas de deformación de alambre, y que nos servirán como referencia para determinar el nivel de adhesión del alambre (medido a su vez como fuerza de tracción).

La **Figura 4. 1** muestra la variabilidad del proceso entre alambres en términos de deformación con el programa original de una fase, alcanzándose el límite en algunos casos en menor tiempo que en otros.



**Figura 4. 1** Grafico de deformación del programa de una fase (el ciclo de soldado para cuando se alcanzan  $-0.0068$  mm)

Este fenómeno de alta dispersión (**Figura 4. 2**) también es observado cuando el modo de control es cambiado a un tiempo fijo de 25m-sec.



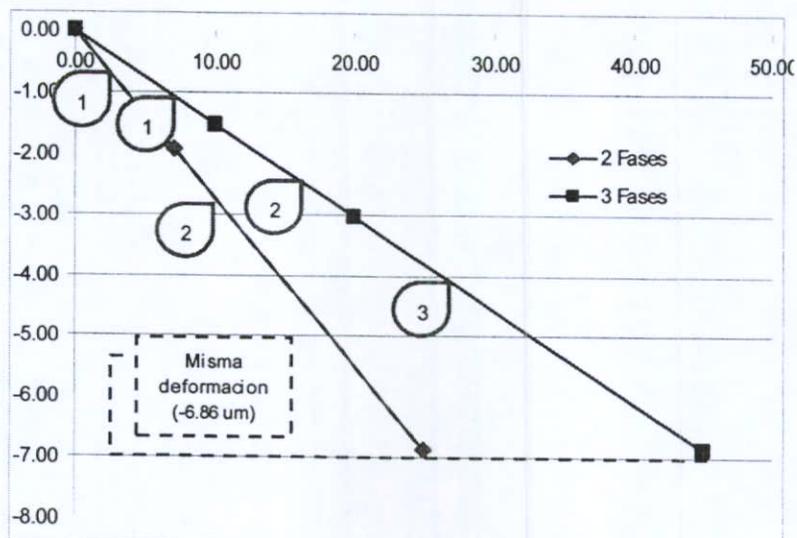
**Figura 4. 2** Grafico de deformación del programa de una fase (mostrando una alta variación en términos del patrón de deformación de diferentes alambres)

Es en estos términos, que se requiere una optimización del proceso con el objetivo de minimizar las variaciones.

#### 4.1.2 Experimentación

Como ya se explico anteriormente, la optimización del proceso de soldado se lleva a cabo mediante un diseño de experimentos. Las variables a considerar en el mismo son: Potencia de USG, Fuerza y Tiempo, pero ahora con la inclusión de fases de soldado adicionales. La variable de respuesta es, como ya se explico también, la deformación del alambre, la cual puede ser monitoreada por los gráficos que genera el equipo, y que a su vez puede correlacionarse con la fuerza de tracción, que es otra variable de respuesta.

Para este estudio, se variaron los valores establecidos en el programa original, siendo estos controlados por partes a través de diferentes fases de soldado. Lo anterior como una solución lógica basada en la física de los procesos de soldado ultrasónico, donde se argumenta que la deformación es mayor al inicio, y menor al final, por lo que los valores de Potencia de USG, Fuerza y Tiempo pueden ser incrementados de modo progresivo con la idea de obtener un patrón lineal de deformación, y lo mas importante, repetible para todos los alambres.



**Figura 4. 3** Representación esquemática de los dos perfiles de programación propuestos, basados en dos o tres fases de aplicación de parámetros de soldado

Por lo anterior, y basados en esta propuesta, se proponen dos diferentes alternativas: un programa con dos fases y con un tiempo igual al del programa original (25 m-seg) y otro programa con tres fases y un tiempo mayor (cercano al doble de tiempo). Estas propuestas se plantean gráficamente en la **Figura 4. 3**

Como puede observarse, en ambos casos, el objetivo de deformación permanece en 27% del diámetro del alambre (-6.86 um), al igual que el proceso original.

## 4.2 Obtención del modelo matemático del proceso

### 4.2.1 Programa de dos fases

Como se explico anteriormente y basados tanto en la experiencia como en las pruebas de hipótesis realizadas, se eligió un rango de valores para USG (10,20) y fuerza (20,30) en un periodo de tiempo fijo de 7 milisegundos para la primera fase, con un objetivo de profundidad de deformación de aprox. 2 micras.

Lo anterior se tradujo a un experimento factorial completo  $2^k$  con 1 replica, donde se generaron 8 corridas experimentales, el modo de control fue por tiempo con un valor fijo de 7 milisegundos. Para este efecto se designaron los grupos A1, A2, A3 y A4 con las combinaciones de estos valores. Para cada grupo se procesaron 2 rows, 8 en total que son equivalentes a 672 alambres soldados, y los resultados de deformación promedio para cada combinación y su replica se pueden observar en la **Tabla 4. 2**

	<b>Grupo A1</b>	<b>GrupoA2</b>	<b>Grupo A3</b>	<b>Grupo A4</b>
<b>USG</b>	10	10	20	20
<b>FUERZA</b>	20	30	20	30
<b>DEF1</b>	2	3.5	2.9	4.2
<b>DEF2</b>	1.8	3.9	2.6	4.7

**Tabla 4. 2** Combinaciones de valores para USG y Fuerza categorizados por grupos y sus resultados de deformación para la primera fase en el programa de dos fases

Posteriormente los datos fueron analizados en Minitab, el cual genero el Análisis de Varianza que se muestra en la **Tabla 4. 3**

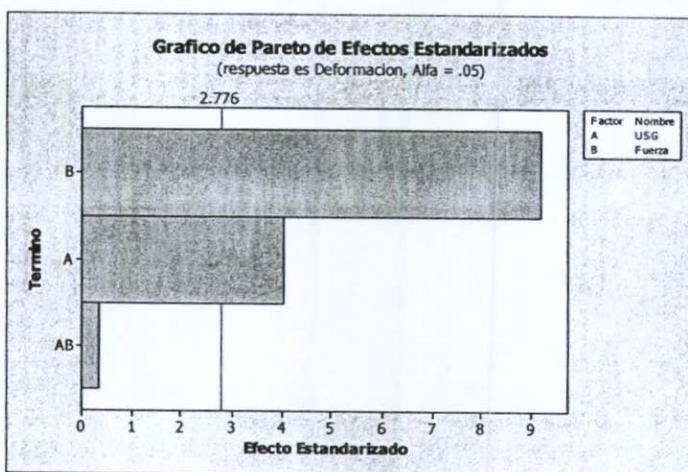
### ANOVA para Deformación

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Efectos Principales	2	7.20063	7.20063	3.60031	50.31	0.001
Interacciones 2 vías	1	0.00781	0.00781	0.00781	0.11	0.758
Error Residual	4	0.28625	0.28625	0.07156		
Error Puro	4	0.28625	0.28625	0.07156		
Total	7	7.49469				

**Tabla 4. 3** Análisis de Varianza para la variable de salida de la primera fase en el programa de dos fases

El valor de P del ANOVA indica la importancia en la variabilidad para cada componente del estudio, siendo los de mayor peso los que tienen valores de P menores a 0.05, que en este caso son los efectos principales, por lo que la interacción entre los dos efectos puede ser descartada.

Lo anterior también se puede observar gráficamente en la **Figura 4. 4** donde ambas variables, USG y Fuerza tienen gran afectación de forma individual sobre la deformación, mas no así la interacción de ambas, por lo que esta se puede eliminar del modelo obteniendo así el modelo reducido de esta fase.

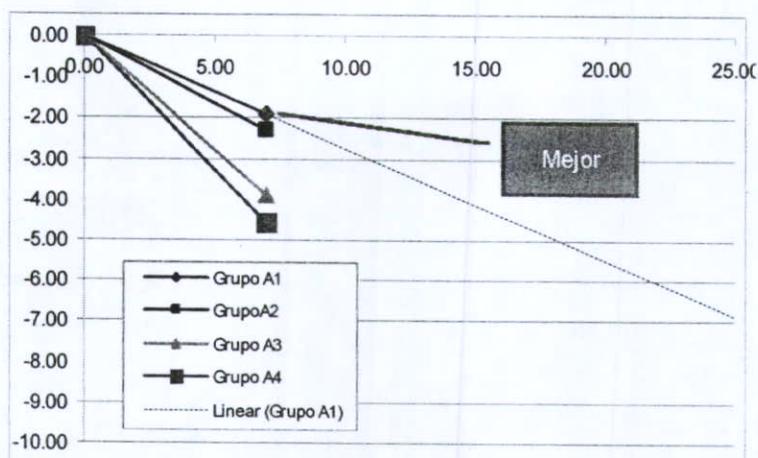


**Figura 4. 4** Gráfico de pareto de efectos sobre la variable de salida de la primera fase en el programa de dos fases

De lo anterior, el modelo matemático de la primera fase de este programa queda como:

$$\text{Deformación} = -2.3062 + \text{USG} (0.0762) + \text{Fuerza} (0.1737) \quad [\text{Ec. 4. 1}]$$

Y utilizando esta formula, es decir, sustituyendo las variables de USG y Fuerza por los datos originales, la mejor combinación para la fase uno es alcanzada por el grupo A1, lo cual puede verse en la **Figura 4. 5**



**Figura 4. 5** Resultados de deformación para la primera de las dos fases con tiempo fijo de 7 milisegundos y diferentes combinaciones de USG y Fuerza. El objetivo optimo fue alcanzado por el grupo A1 (USG=10m-amp, Fuerza=20 c-N)

Para la definición de la segunda fase, se considero un rango de valores diferente a los utilizados en la primera fase: USG (20,30) y Fuerza (20,30) asignando en esta ocasión los nombres B1, B2, B3 y B4 a los grupos, esta vez con el objetivo final de profundidad de deformación de 6.86 micras.

Al igual que en la fase anterior y con otro  $2^k$  con 1 replica, se proceso la misma cantidad de rows partiendo de la primera fase con los valores alcanzados por el grupo A1. Los resultados de deformación promedio se alcanzaron sobre un tiempo total fijo en esta ocasión de 25 milisegundos, observándose los resultados en la **Tabla 4. 4**

	Grupo A1	Grupo B1	Grupo B2	Grupo B3	Grupo B4
USG	10	20	20	30	30
FUERZA	20	20	30	20	30
DEF1	2	6.6	7.5	8.2	8.7
DEF2	1.8	6.9	8	8.5	8.9

**Tabla 4. 4** Combinaciones de valores para USG y Fuerza categorizados por grupos y sus resultados de deformación para la segunda fase en el programa de dos fases

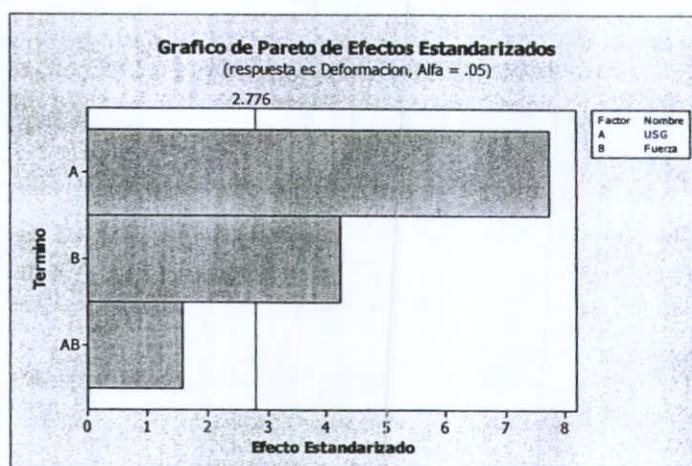
Al introducir ahora estos datos de deformación al Minitab, el Análisis de Varianza de la **Tabla 4. 5** muestra que los valores de P menores a 0.05 son nuevamente los efectos principales, por lo que la interacción entre los dos efectos se descarta nuevamente.

#### ANOVA para Deformación

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Efectos Principales	2	4.56250	4.56250	2.28125	38.83	0.002
Interacciones 2 vías	1	0.15125	0.15125	0.15125	2.57	0.184
Error Residual	4	0.23500	0.23500	0.05875		
Error Puro	4	0.23500	0.23500	0.05875		
Total	7	4.94875				

**Tabla 4. 5** Análisis de Varianza para la variable de salida de la segunda fase en el programa de dos fases

Lo anterior también se puede observar de forma grafica en la **Figura 4. 6**.

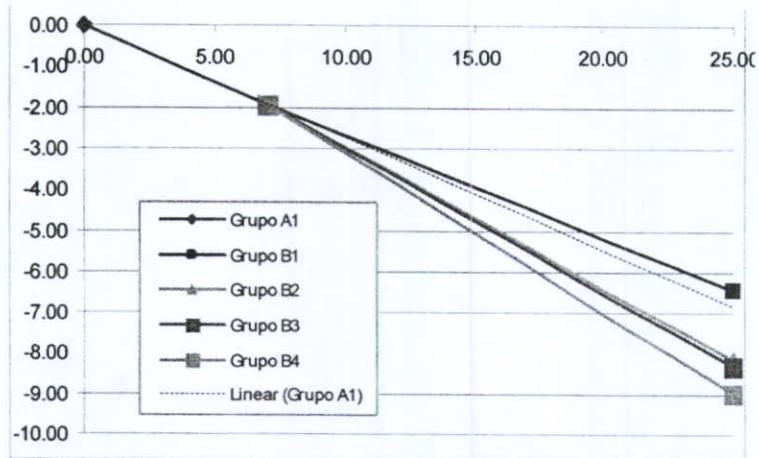


**Figura 4. 6** Grafico de pareto de efectos sobre la variable de salida de la segunda fase en el programa de dos fases

De lo anterior, y basados en los coeficientes arrojados por el software, el modelo matemático reducido de la segunda fase del programa de soldado queda como:

$$\text{Deformación} = 2.7875 + \text{USG} (0.1325) + \text{Fuerza} (0.0725) \quad [\text{Ec. 4. 2}]$$

Y utilizando esta formula, es decir, sustituyendo las variables de USG y Fuerza por los datos originales, la mejor combinación para la fase dos es alcanzada por el grupo B1, lo cual puede verse en la **Figura 4. 7**



**Figura 4. 7** Resultados de deformación para la segunda de las dos fases en el intervalo de tiempo de 7 a 25 milisegundos, con diferentes combinaciones de USG y Fuerza. El objetivo optimo fue alcanzado por el grupo B1 (USG=20m-amp, Fuerza=20 c-N)

Finalmente, podemos concluir que la mejor combinación para alcanzar la deformación del alambre buscada (deformación=6.86) en un tiempo fijo de 25 msec es la de los grupos A1 para la primera fase y B1 para la segunda.

#### 4.2.2 Programa de tres fases

De forma similar al procedimiento usado para el desarrollo y optimización del programa de dos fases, se realizo el mismo proceso ahora para los tres segmentos posibles en un periodo de tiempo total de 45 milisegundos. Esta vez, para la fase uno se eligió un rango de valores para USG (10,15) y fuerza (15,20) en un periodo de tiempo de 10 milisegundos, teniendo el mismo objetivo de profundidad de deformación de aprox. 2 micras.

Para el experimento factorial completo  $2^k$  con 1 replica, de nuevo se designaron los grupos A1, A2, A3 y A4 con las combinaciones de los valores mencionados anteriormente. Para cada grupo se corrieron 8 rows, para los cuales se observan los resultados de deformación promedio para cada combinación y su replica en la **Tabla 4. 6**

	<b>Grupo A1</b>	<b>Grupo A2</b>	<b>Grupo A3</b>	<b>Grupo A4</b>
<b>USG</b>	10	10	15	15
<b>FUERZA</b>	15	20	15	20
<b>DEF1</b>	2.1	2.8	3.3	4.4
<b>DEF2</b>	1.7	2.5	3.8	4.6

**Tabla 4. 6** Combinaciones de valores para USG y Fuerza categorizados por grupos y sus resultados de deformación para la primera fase en el programa de tres fases

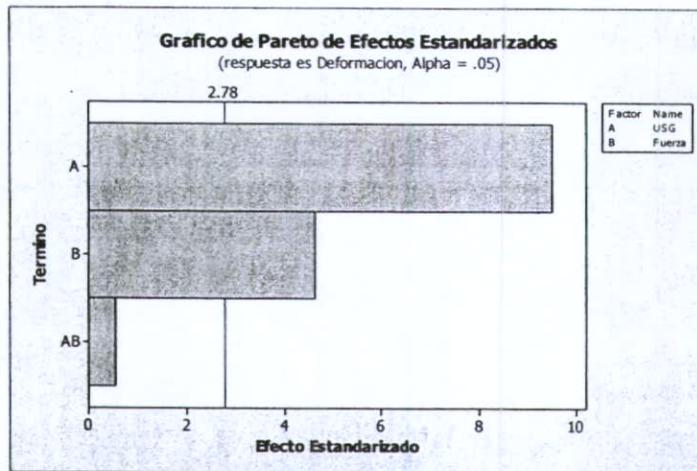
Al introducir ahora estos datos de deformación al Minitab, el Análisis de Varianza de la **Tabla 4. 7** muestra que los valores de P menores a 0.05 son nuevamente los efectos principales, por lo que la interacción entre los dos efectos se descarta nuevamente.

#### **ANOVA para Deformación**

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Efectos Principales	2	7.57000	7.57000	3.78500	56.07	0.001
Interacciones 2 vías	1	0.02000	0.02000	0.02000	0.30	0.615
Error Residual	4	0.27000	0.27000	0.06750		
Error Puro	4	0.27000	0.27000	0.06750		
Total	7	7.86000				

**Tabla 4. 7** Análisis de Varianza para la variable de salida de la primera fase en el programa de tres fases

Lo anterior se observa también gráficamente en la **Figura 4. 8** donde la interacción de ambas variables se elimina del modelo obteniendo así el modelo reducido.

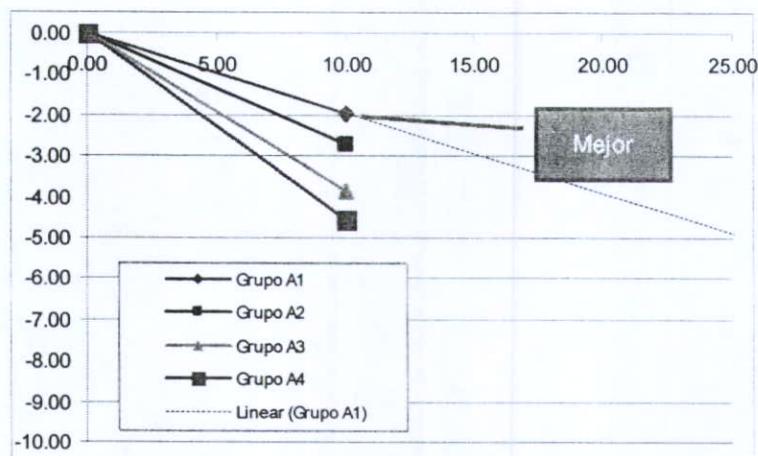


**Figura 4. 8** Gráfico de pareto de efectos sobre la variable de salida de la primera fase en el programa de tres fases

De modo que el modelo matemático de la primera fase de este programa queda como:

$$\text{Deformación} = -4.2 + \text{USG} (0.35) + \text{Fuerza} (0.17) \quad [\text{Ec. 4. 3}]$$

En esta ocasión, al sustituir las variables de USG y Fuerza por los datos originales, la mejor combinación para la fase uno es alcanzada nuevamente por el grupo A1, lo cual se puede observar en la **Figura 4. 9**



**Figura 4. 9** Resultados de deformación para la primera de las tres fases con tiempo fijo de 10 milisegundos y diferentes combinaciones de USG y Fuerza. El objetivo óptimo fue alcanzado por el grupo A1 (USG=10m-amp, Fuerza=15 c-N)

La diferencia principal entre los programas de dos y de tres fases radica en que la segunda fase fue dividida en dos, esto es, la fase intermedia con un objetivo de

deformación de aproximadamente 3 micras y la fase tres con el mismo objetivo final que los programas anteriores, es decir, 6.86 micras.

Para la fase intermedia se considero un rango de valores de USG (15,20) y Fuerza (20,25) asignando los nombres B1, B2, B3 y B4 a los grupos, con el objetivo final de profundidad de deformación de 3 micras.

El experimento 2<sup>k</sup> con 1 replica, partió de la primera fase con los valores alcanzados por el grupo A1. Los resultados de deformación promedio se alcanzaron sobre un tiempo total fijo en esta ocasión de 20 milisegundos, observándose los resultados en la **Tabla 4. 8**

	<b>Grupo A1</b>	<b>Grupo B1</b>	<b>Grupo B2</b>	<b>Grupo B3</b>	<b>Grupo B4</b>
<b>USG</b>	10	15	15	20	20
<b>FUERZA</b>	15	20	25	20	25
<b>DEF1</b>	2.1	2.8	3.5	3.9	4.9
<b>DEF2</b>	1.7	3.1	3.2	4.1	4.7

**Tabla 4. 8** Combinaciones de valores para USG y Fuerza categorizados por grupos y sus resultados de deformación para la segunda fase en el programa de tres fases

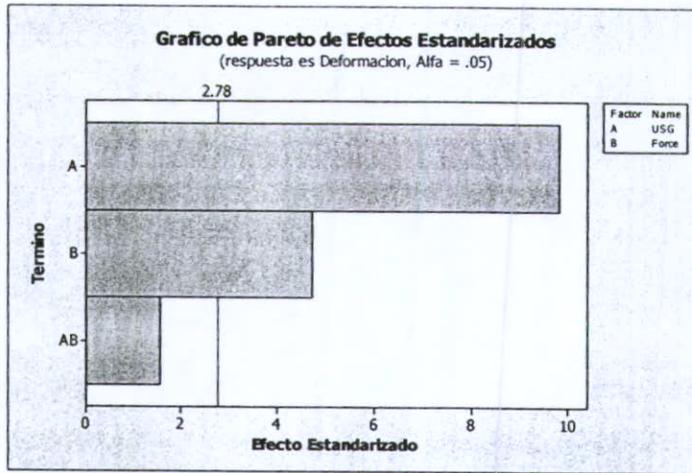
Al introducir ahora estos datos de deformación al Minitab, el Análisis de Varianza de la **Tabla 4. 9** muestra que los valores de P menores a 0.05 de nuevo son los efectos principales, por lo que la interacción entre los dos efectos se descarta nuevamente.

**ANOVA para Deformación**

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Efectos Principales	2	3.84500	3.84500	1.92250	59.15	0.001
Interacciones 2 vías	1	0.08000	0.08000	0.08000	2.46	0.192
Error Residual	4	0.13000	0.13000	0.03250		
Error Puro	4	0.13000	0.13000	0.03250		
Total	7	4.05500				

**Tabla 4. 9** Análisis de Varianza para la variable de salida de la segunda fase en el programa de tres fases

Lo anterior se observa también de forma grafica en la **Figura 4. 10**.

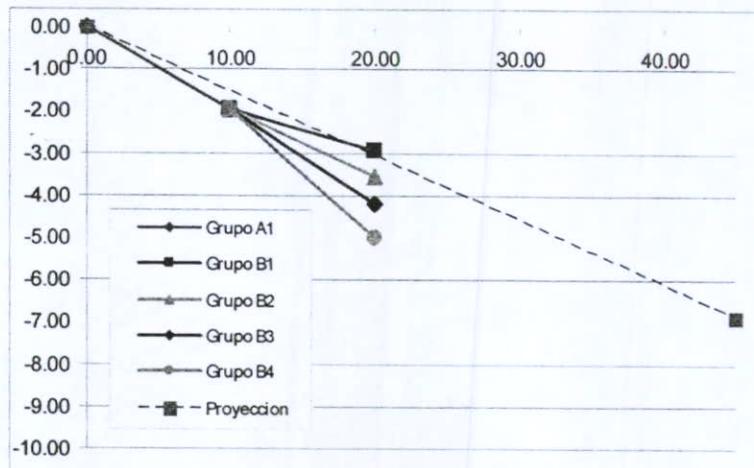


**Figura 4. 10** Grafico de pareto de efectos sobre la variable de salida de la segunda fase en el programa de tres fases

De lo anterior, y basados en los coeficientes arrojados por el software, el modelo matemático de la segunda fase del programa de soldado queda como:

$$\text{Deformación} = -3.3 + \text{USG} (0.25) + \text{Fuerza} (0.12) \quad [\text{Ec. 4. 4}]$$

Y utilizando esta formula, es decir, sustituyendo las variables de USG y Fuerza por los datos originales, la mejor combinación para la fase dos es alcanzada por el grupo B1, lo cual puede verse en la **Figura 4. 11**



**Figura 4. 11** Resultados de deformación para la segunda de las tres fases en el intervalo de tiempo de 10 a 20 milisegundos, con diferentes combinaciones de USG y Fuerza. El objetivo optimo fue alcanzado por el grupo B1 (USG=15m-amp, Fuerza=20 c-N)

Finalmente, para la tercera y ultima fase, se considero el rango de valores para USG (20,25) y Fuerza (25,30) asignando en esta ocasión los nombres C1, C2, C3 y C4 a los grupos, esta vez con el objetivo final de profundidad de deformación de 6.86 micras.

Al igual que en el segmento anterior y con otro  $2^k$  con 1 replica, se proceso la misma cantidad de rows partiendo de la segunda fase con los valores alcanzados por el grupo B1. Los resultados de deformación promedio se alcanzaron sobre el tiempo total fijo de 45 milisegundos, observándose los resultados en la **Tabla 4. 10**

	<b>Grupo A1</b>	<b>Grupo B1</b>	<b>Grupo C1</b>	<b>Grupo C2</b>	<b>Grupo C3</b>	<b>Grupo C4</b>
<b>USG</b>	10	15	20	20	25	25
<b>FUERZA</b>	15	20	25	30	25	30
<b>DEF1</b>	2.1	2.8	5.2	6.3	7.8	8.7
<b>DEF2</b>	1.7	3.1	5.7	6.8	7.5	8.3

**Tabla 4. 10** Combinaciones de valores para USG y Fuerza categorizados por grupos y sus resultados de deformación para la tercera fase en el programa de tres fases

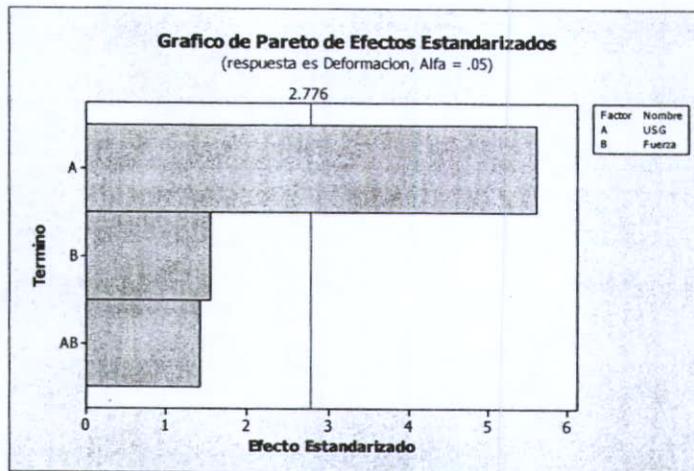
Al introducir y analizar en Minitab los datos de deformación obtenidos, se observa en el Análisis de Varianza de la **Tabla 4. 11** que los valores de P menores a 0.05 de nuevo son los efectos principales, por lo que de entrada la interacción entre los dos efectos queda descartada.

#### ANOVA para Deformación

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Efectos Principales	2	9.2725	9.2725	4.6363	16.94	0.011
Interacciones 2 vías	1	0.5513	0.5513	0.5513	2.01	0.229
Error Residual	4	1.0950	1.0950	0.2737		
Error Puro	4	1.0950	1.0950	0.2738		
Total	7	10.9188				

**Tabla 4. 11** Análisis de Varianza para la variable de salida de la tercera fase en el programa de tres fases

Sin embargo, al revisar el resultado en el grafico de pareto (**Figura 4. 12**) se observa que la única variable significativa de los dos efectos principales es el USG, por lo que además de la interacción, también la Fuerza se descarta del modelo.



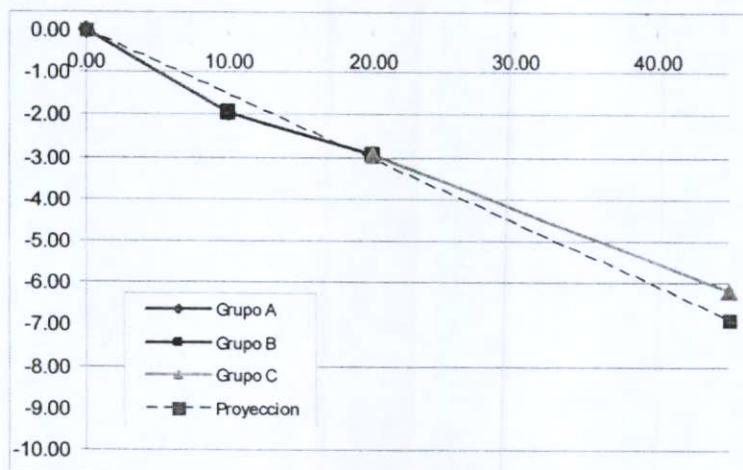
**Figura 4. 12** Gráfico de pareto de efectos sobre la variable de salida de la tercera fase en el programa de tres fases

Por lo anterior, el modelo matemático de la tercera y última fase de este programa queda como:

$$\text{Deformación} = -2.3 + \text{USG} (0.415) \quad [\text{Ec. 4. 5}]$$

Y en esta ocasión, al sustituir la variable USG por los valores originales, la mejor combinación para la fase tres es alcanzada, como se mostró en la **Tabla 4. 10** por el grupo C2.

Por ultimo, la combinación final de las tres fases, se muestra en la **Figura 4. 13**

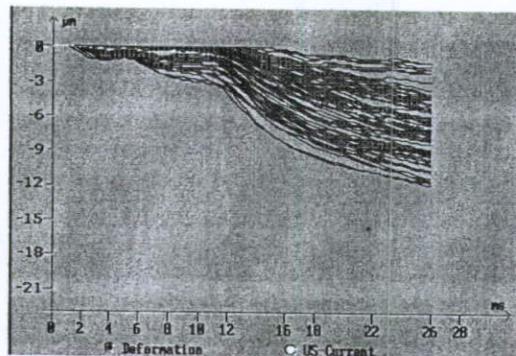


**Figura 4. 13** Resultados de deformación para el programa de tres fases utilizando diferentes combinaciones de USG y Fuerza entre las distintas fases. El objetivo óptimo fue alcanzado con una variación de aproximadamente 10%

En base a lo anterior se puede concluir que los tres factores seleccionados para este diseño experimental fueron los correctos, ya que los modelos matemáticos obtenidos para todas las fases explicaron de forma muy certera el comportamiento físico de la deformación del alambre. Por otro lado, el software estadístico permitió la obtención de un modelo reducido que mediante ecuaciones de primer grado explican el comportamiento de la variable de salida en razón de las variables de entrada. Finalmente, la idea de lograr la profundidad de la deformación mediante un programa seccionado en fases ayudo a reducir la variabilidad que se tenía originalmente, y esto se vera en el siguiente apartado.

### 4.3 Validación del modelo

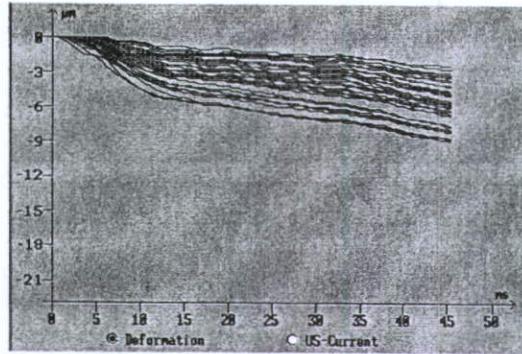
Para validar el modelo obtenido, se soldaron varios rows con los nuevos programas de soldado obtenidos, La **Figura 4. 14** muestra el perfil de deformación generado por el equipo para el programa de dos fases.



**Figura 4. 14** Grafico de deformación para el programa de dos fases, el cual muestra un patrón repetible entre los diferentes alambres

De lo anterior se puede concluir que el patrón de deformación obtenido con las dos fases es mejor que el que se obtiene con el proceso original (programa de una fase).

De la misma forma que con el programa de dos fases, los rows procesados con el programa de tres fases muestran una dispersión aun menor ( **Figura 4. 15** ).



**Figura 4. 15** Grafico de deformación para el programa de 3 fases, el cual muestra un patrón muy repetible entre los diferentes alambres

Basados en esta información, se puede concluir de forma preliminar que la variación en la deformación experimenta una reducción con el programa de dos fases y se muestra aun menor con el programa de tres fases, por lo que este ultimo aparenta ser el mas adecuado para este proceso. Lo anterior habrá de ser validado en el siguiente capitulo en la sección 5.1 Optimización e implementación.

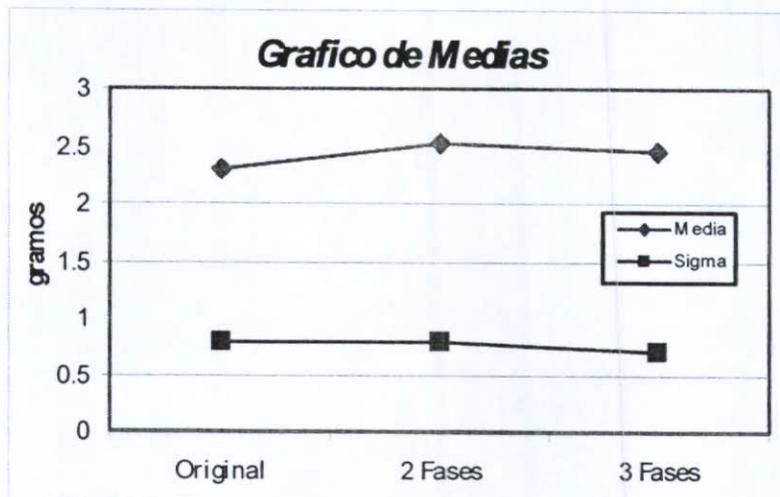
## CAPITULO 5 – CONTROL DEL PROCESO

La última fase, control, consiste en diseñar y documentar los controles necesarios para asegurar que lo conseguido mediante el proyecto Seis Sigma se mantenga una vez que se hayan implantado los cambios.

### 5.1 Optimización e implementación

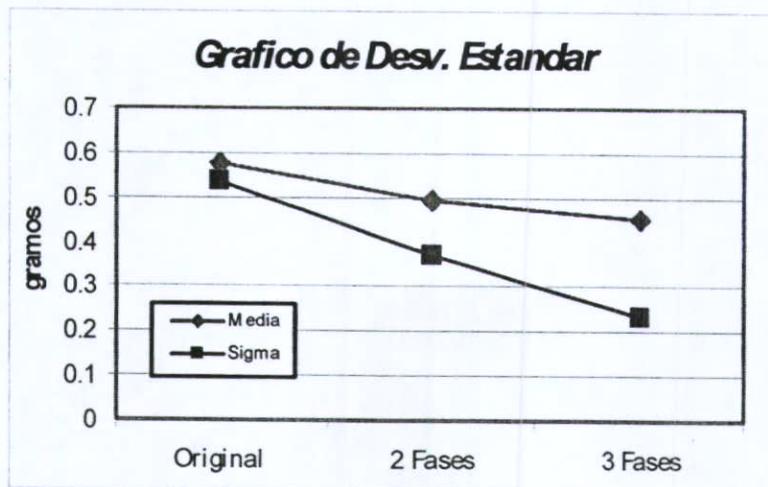
#### 5.1.1 Comparación con datos de Fuerza de Tracción

Una vez terminada la evaluación de los programas de dos y tres fases de soldado, la siguiente actividad es comparar las distribuciones de fuerza de tracción entre estos y el programa original. De esta manera, y utilizando los mismos datos que se usaron para generar los gráficos de deformación, la **Figura 5. 1** muestra los valores de media y desviación estándar de las medias, y la **Figura 5. 2** muestra la de desviación estándar de medias y desviaciones estándar tanto para el programa original como para los dos programas obtenidos mediante la experimentación.



**Figura 5. 1** Gráfico de media y desviación estándar de medias donde se muestra el programa original (1 fase) comparado con los programas de 2 y 3 fases propuestos

Del grafico anterior se puede observar que no hay diferencia significativa entre los tres programas, lo cual indica que los programas propuestos no causaron degradación alguna.



**Figura 5. 2** Grafico de media y desviación estándar de sigmas donde se muestra el programa original (1 fase) comparado con los programas de 2 y 3 fases propuestos

Aquí se puede observar una notable mejora alcanzada por el programa de 3 fases en términos de variación (sigma).

Por lo anterior se puede concluir que los valores de medias de fuerza de tracción no son afectadas por el uso de programas con diferentes fases de soldado (que se mantienen dentro de los parámetros establecidos), y que, por otro lado para el caso de las sigmas, la variabilidad se ve reducida en los programas con dos y tres fases en comparación con el programa original, lo cual indica que los programas obtenidos en el proceso de optimización realmente tienen un efecto positivo en el proceso a nivel global, siendo el programa de tres fases el mas recomendable para el desempeño optimo del proceso.

## 5.2 Control de las variables independientes y monitoreo de las dependientes

El éxito de un proyecto de Seis Sigma se mide a largo plazo, es decir, en base a los ahorros que se generan de forma permanente. Una vez concluida la fase de control, los métricos financieros de los proyectos son monitoreados durante al menos tres meses, y validados al final de este periodo. Es por esto que la fase de control es de gran

importancia ya que se enfoca en sistematizar e institucionalizar las mejoras, es decir, hacerlas permanentes.

El control de las variables tanto de entrada como de salida se formaliza de manera oficial a través de un documento conocido como Plan de Control.

El Plan de Control es un resumen de todas las actividades de control para el proceso en cuestión, y por ende es una herramienta que ayuda a identificar huecos en el sistema de control, por esto es que es un documento dinámico, que debe estar actualizando de forma continua.

El Plan de Control se crea principalmente en base al AMEF, y es por esto que contiene muchos de sus elementos. A continuación se describen los más importantes:

- **Paso del proceso:** Tal y como se describió en el mapa del proceso, es la operación donde se localiza la(s) variable(s) a controlar.
- **Variable que se controla:** Es la variable ya sea de entrada o de salida que se pretende controlar en el plan, aquí se incluyen solo las más importantes del AMEF.
- **Tipo de variable, si es de entrada o de salida:** Aquí se define si la variable es una salida del proceso (Y) o una entrada (X).
- **Requerimientos o límites de especificación:** En esta columna se describen ya sea los objetivos de las variables de salida o las tolerancias en las de entrada.
- **Métodos de medición:** Se especifica que proceso o equipo lleva a cabo la medición.
- **Tamaño de muestra:** Aquí se especifica el tamaño de muestra utilizado para el control o monitoreo de las variables.
- **Frecuencia de muestreo:** Esta columna es complementaria a la anterior y describe la periodicidad de la toma de muestras.
- **Métodos de control:** Esta es una de las partes más importante del plan de control ya que describe de que manera se van a controlar las variables, puede ser con gráficos de control, automatización, dispositivos a prueba de errores, etc.
- **Regla de decisión o acción correctiva:** Es la otra parte medular del plan de control, ya que aquí se especifican tanto los planes a seguir como los responsables en caso de que el proceso salga de control.



En el plan de control de la **Tabla 5. 1** se muestran tanto las variables de entrada como de salida del proceso. Las variables de salida (o dependientes) son controladas a través de los sistemas de auditoria ampliamente explicados el inicio del presente proyecto y las situaciones fuera de control se corrigen a partir de los planes de reacción (OCAP's) los cuales se muestran a detalle en la sección de apéndices de este trabajo.

El control de las variables de entrada (o independientes) se explica mas adelante en este capitulo.

### *5.2.1 Hojas de verificación a nivel operador y mantenimiento*

Dentro de los controles establecidos para las variables de entrada se aprovecharon los procedimientos ya existentes y simplemente se agregaron acciones a ejecutar de forma periódica. Estos procedimientos son: el sistema de auditorias de calidad, el manual de mantenimientos preventivos, y las hojas de verificación del operador.

En el sistema de auditorias de calidad se instituyeron acciones como la de-certificación de operadores (lógicamente un operador debe estar certificado para llevar a cabo su operación) cuando estos no llevan a cabo acciones importantes de su área de responsabilidad, como son los cambios de aguja por desgaste (mantenimiento del equipo), desviaciones a la operación del equipo basadas en procedimientos, envío de muestras de auditoria en tiempo y forma, etc.

En el manual de mantenimientos preventivos se instituyeron acciones para el personal de mantenimiento, las cuales son de suma importancia para el control del proceso, por lo que se deben realizar en base a lo especificado. Las acciones corresponden a la inclusión de actividades identificadas como importantes desde el AMEF en los mantenimientos preventivos ya establecidos, algunas de las acciones son: revisión de parámetros de soldado (de acuerdo a lo obtenido en la experimentación), revisión de punto de soldado en el row, calibración de fuerza, revisión de niveles de iluminación, calibración de posiciones de soldado y algunas otras.

Finalmente se diseñaron hojas de verificación del operador para los casos del cambio de aguja de soldado, registro de muestras de auditoria, cambio de tarjetas desgastadas, y revisión tanto de posiciones de soldado como de utilización del programa (receta) correcto según el producto en curso.

### 5.2.2 Gráficos de control y de monitoreo

Los gráficos de control forman parte de la teoría del Control Estadístico de Proceso (CEP), mejor conocida en ingles por sus siglas SPC (Statistical Process Control) y desarrollada por el Dr. Walter Shewhart de los laboratorios Bell en 1924.

La idea principal del CEP es que todos los procesos, a lo largo del tiempo presentan cierta variación, la cual consta de dos componentes:

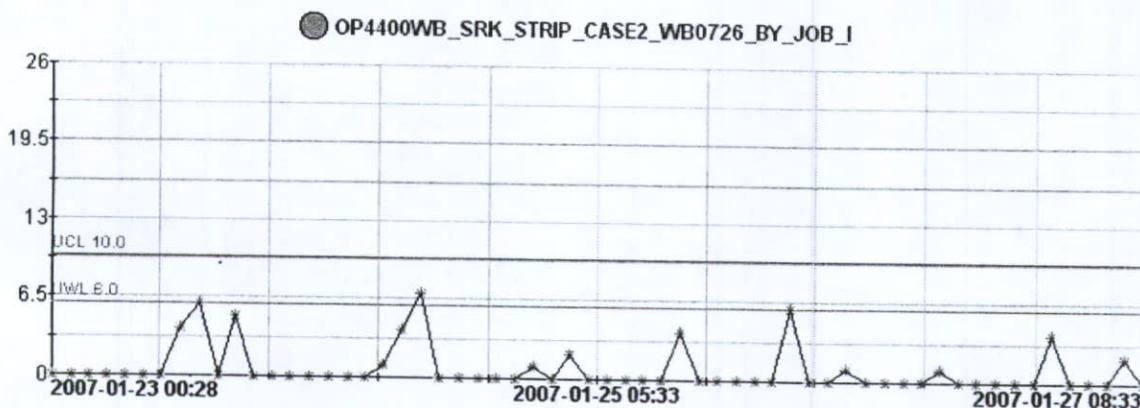
- Un componente estable, que es inherente al proceso, el cual se conoce como variación aleatoria.
- Un componente intermitente atribuido a causas asignables y que puede ser descubierto y eliminado del proceso.

El objetivo del CEP no es decirnos como mejorar el proceso actual, sino que mas bien sirve para indicarnos cuando algo ha cambiado con respecto al tiempo. De ahí su importancia en esta fase, ya que sabiendo cual es el comportamiento normal de un proceso, si se detecta que este se sale de sus límites, es posible reaccionar y regresarlo a la normalidad.

Una diferencia importante que establece la filosofía de Seis Sigma es la aplicación de los gráficos de control a las variables de entrada y no a las de salida. Esto tiene una razón de ser, pues al aplicar CEP a una variable de salida, esta se esta simplemente monitoreando y cuando hay un problema, el tiempo de respuesta puede ser largo. En cambio, cuando se conoce la  $y=f(x)$  y se sabe cuales variables de entrada (las X's) afectan directamente la salida (las Y's), se pueden implementar gráficos de control sobre las entradas, y al mismo tiempo, seguir monitoreando las salidas, de manera que si el proceso sale de control, resulta mucho mas rápido actuar sobre la variable de entrada para estabilizar la salida.

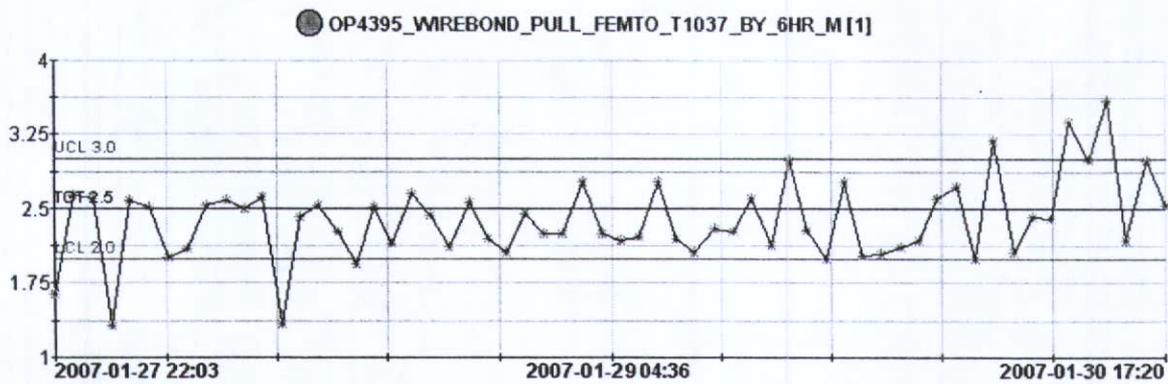
En base a lo anterior, y para llevar a cabo tanto el control de la variable de entrada como el monitoreo de la salida, se diseñaron para este propósito, dos cartas en el sistema utilizado en Hitachi Global Storage Technologies llamado WebSPC. Este sistema permite acceder en tiempo real tanto a las personas que introducen datos a las cartas como a las que las monitorean a través de una pagina Web.

La primera carta es diseñada sobre la salida del proceso, es decir, el Monitoreo del Defectivo tipo II a nivel equipo. Aquí se grafica la cantidad de partes defectuosas encontradas como resultado de la inspección visual de la muestra tomada cada hora en cada uno de los equipos de soldado durante su operación normal. La **Figura 5. 3** muestra una carta típica donde 6 es el límite superior de advertencia a 3 veces la desviación estándar de la media de defectos histórica, y 10 es el valor definido por el cliente como especificación.

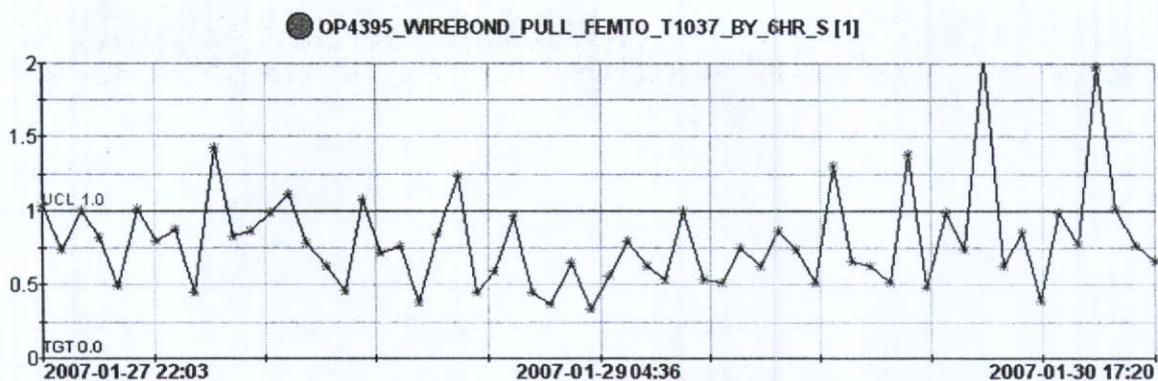


**Figura 5. 3** Carta de monitoreo de defectivo tipo II por equipo de soldado

La segunda carta es diseñada sobre la variable de entrada identificada como más importante, que es el Control de Fuerza de tracción a nivel equipo. Esta carta se divide en dos, pues se trata de una carta de Medias y Sigmas ( **Figura 5. 4** y **Figura 5. 5** ), las cuales el operador del equipo Dage 5000 alimenta de datos en forma manual, posterior a la medición de fuerza de tracción de 12 alambres probados a lo largo de 2 rows para cada equipo de soldado cada 6 horas y, que como vimos anteriormente, los datos de media y sigma se obtienen de forma directa gracias al equipo de prueba.

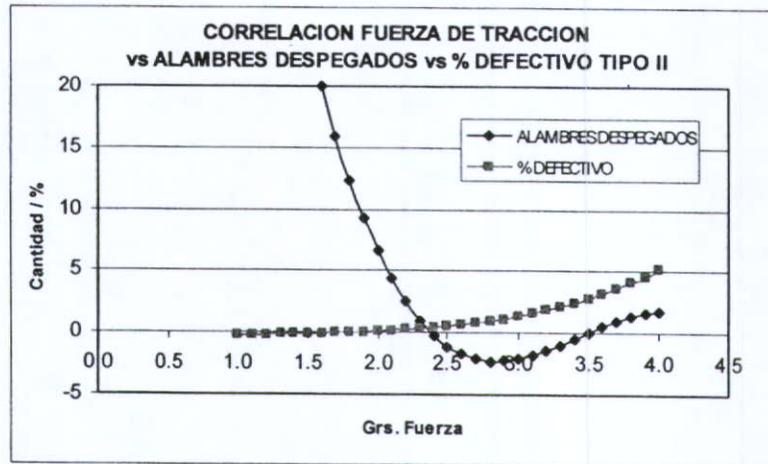


**Figura 5. 4** Carta de control de media de fuerza de tracción por equipo de soldado



**Figura 5. 5** Carta de control de desviación estándar de fuerza de tracción por equipo de soldado

Para llegar a los valores de operación del objetivo y los límites de control definidos en las cartas de Media y Sigma, fue necesario hacer una correlación entre los valores de fuerza de tracción correspondientes a los niveles óptimos tanto de defectivo tipo II como de alambres despegados definidos al inicio de este proyecto. Dicha correlación se logro tomando datos de las tres variables mencionadas a la salida del proceso mientras se modificaban los valores de ultrasonido, fuerza y tiempo a la entrada en un rango amplio. El resultado de lo anterior se puede apreciar en la **Figura 5. 6** donde se observa que el valor optimo de fuerza para el menor nivel de alambres despegados y de defectivo tipo II (intersección de ambas curvas) es aprox. 2.5 gramos, el cual es el utilizado como valor objetivo en la grafica de medias, y para el grafico de sigmas, se tomo como referencia el valor de 1 gramo en base a la variabilidad observada durante la toma de las muestras.



**Figura 5. 6** Grafico que muestra la correlación entra la fuerza de tracción correspondiente al mínimo de alambres despegados y defectivo tipo II

Gracias a esta correlación es posible controlar una variable de salida en función de otra, que a su vez depende directamente de las principales variables de entrada del proceso y de las cuales, se conoce su afectación a través del modelo matemático desarrollado durante el presente trabajo.

### 5.2.3 Auditorias

El aseguramiento de la ejecución del plan de control, al igual que el resto de los procedimientos de manufactura en Hitachi Global Storage Technologies se lleva a cabo mediante el sistema de calidad, y de forma mas especifica, mediante el sistema de auditorias de calidad al proceso de manufactura en sus diferentes áreas: Manufactura, Mantenimiento, Ingeniería y Calidad. Este sistema define el procedimiento y las responsabilidades de la aplicación de las auditorias en el desempeño de las actividades de documentación y ejecución procedimientos en las áreas de manufactura, y su propósito es verificar que la ejecución del proceso se cumpla y que la generación del desperdicio se encuentre en un mínimo aceptable, debido a las variaciones aleatorias de la manufactura.

Estas auditorias permiten detectar las desviaciones que pudieran afectar la calidad del proceso y del producto y que derivan en la toma de acciones correctivas y preventivas a fin de tener un proceso controlado. Las desviaciones pueden ser de ejecución por falta de

apego a procedimientos atribuibles a Manufactura, y desviaciones de Ingeniería debido a que la documentación no sea de acuerdo a la ejecución y se requiera una modificación a los procedimientos para igualar los documentos con la ejecución del proceso.

La **Tabla 5. 2** muestra los elementos auditables del proceso para cada una de las áreas mencionadas.

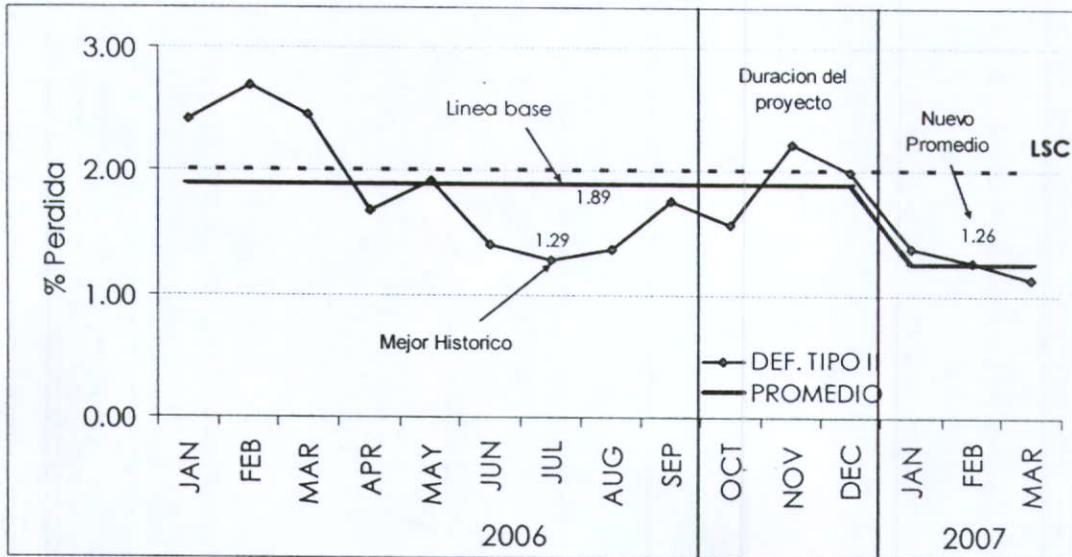
Manufactura	Mantenimiento	Ingeniería	Calidad
1.- Personal certificado 2.- Equipo y herramienta 3.- Ejecución de NCP's 4.- Ejecución de cláusulas del MPI's 5.- SPC/OCAPS 6.- Hojas de verificación 7.- Practicas de cuarto limpio 8.- Procedimientos ESD	1.- Calendario mantenimiento 2.- Registro del mantenimiento 3.- Equipo de Protección 4.- Revisión del equipo 5.- Etiquetas de calibración	1.- Procedimientos vigentes 2.- Formatos dados de alta 3.- Identificación de formatos 4.- Implantación del proceso de los MPI's y NCP's	1.- Actividades de ACS's, de acuerdo a MPI's y Documentos 2.- Certificaciones de MPI y Documentos vigentes

**Tabla 5. 2** Elementos auditables por parte del proceso de auditoria del sistema de calidad

### 5.3 Cierre del proyecto

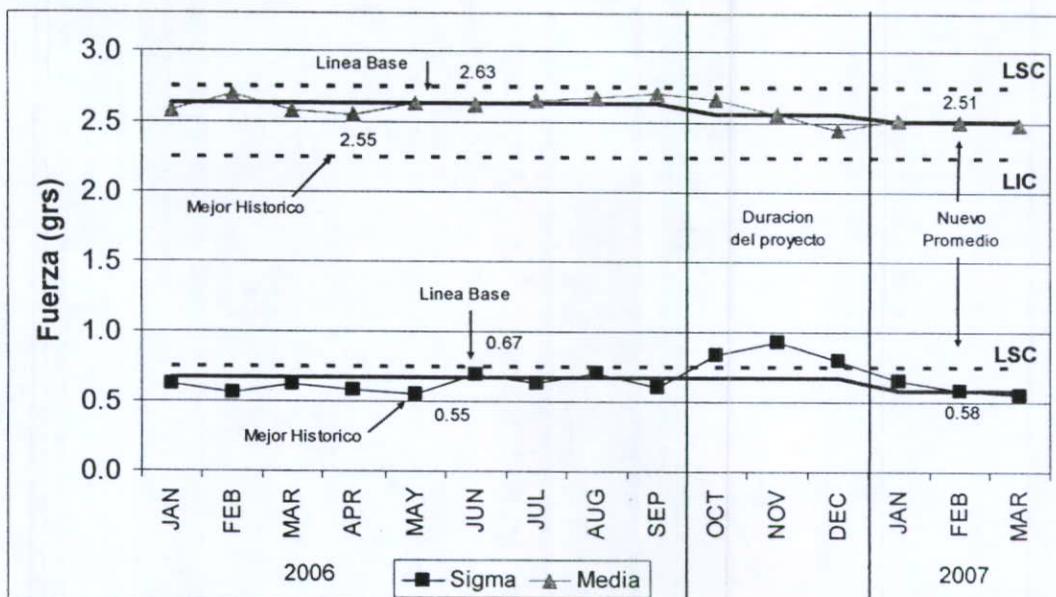
Después de tres meses de haber concluido el proyecto, se muestran las tendencias al inicio del 2007 para cada uno de los métricos, observándose lo siguiente:

- Defectivo tipo II: En la figura **Figura 5. 7** se aprecia la tendencia de este métrico durante el 2006 (antes y durante el proyecto de mejora) y los tres primeros meses del 2007 (después del cierre del proyecto); aquí podemos observar una mejora en la línea base de un 33%.



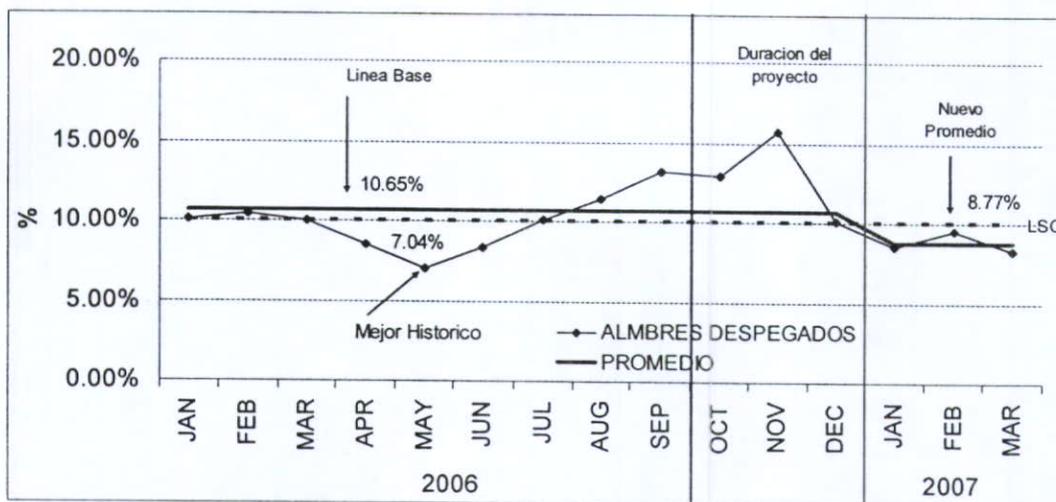
**Figura 5. 7** Tendencia de defectivo tipo II posterior al cierre del proyecto

- Fuerza de tracción: De igual manera que en el métrico anterior, en la **Figura 5. 8** se muestra la tendencia antes y después del cierre del proyecto. En la grafica de medias se observa una mejora al acercarse la media de los últimos 3 meses al valor objetivo; además, en la grafica de sigma se aprecia una mejora del 13%. Cabe mencionar que este último resultado corresponde al enfoque principal de este proyecto, que es la reducción de la variabilidad.



**Figura 5. 8** Tendencia de fuerza de tracción posterior al cierre del proyecto

- Alambres despegados (o re-trabajos): En la **Figura 5. 9** se muestra igualmente el “antes” y “después” del cierre del proyecto apreciándose una mejora del 17%, resultado que denota que al reducir la variación entre alambres se logra un comportamiento mas estable durante el proceso de pulido, como se muestra.



**Figura 5. 9** Tendencia de alambres despegados posterior al cierre del proyecto

### 5.3.1 Resultados Financieros

Los resultados observados en los gráficos anteriores se pueden traducir en ahorros financieros, cuyo cálculo será realizado en base a un millón de unidades producidas (sliders); cabe mencionar que para este propósito se utilizaran solamente los métricos de defectivo tipo II y alambres despegados, los cuales pueden ser cuantificados fácilmente; la fuerza de tracción representa una medición directa del proceso de soldado. Los resultados financieros se explican a continuación:

- Defectivo Tipo II.** En la **Tabla 5. 3** se muestran el porcentaje de pérdida antes y después de la mejora, con un delta de 0.63%; considerando un costo de un millón, doscientos mil dólares por cada millón de unidades producidas, el ahorro por mejorar el defectivo tipo II se traduce entonces en siete mil quinientos sesenta dólares.

<b>Defectivo Tipo II</b>	<b>Antes</b>	<b>Despues</b>	<b>Delta</b>
		1.89%	1.26%
Costo de 1.0% de perdida de producto (1'000,000 unidades)		\$ 1,200,000.00	Dolares
<b>Ahorro por mejorar el defectivo</b>			<b>\$ 7,560.00</b>

**Tabla 5. 3** Ahorros en defectivo tipo II por cada millón de sliders

- **Alambres Despegados.** En la **Tabla 5. 4** se puede observar el porcentaje de alambres despegados (re-trabajos) antes y después de la mejora con una reducción del 1.88%. Al igual que con el defectivo tipo II se usara como base la producción de un millón de unidades (sliders) y considerando un costo de producción de cincuenta centavos de dólar por unidad, esta diferencia se traduce en un ahorro por mejorar la productividad de nueve mil cuatrocientos dólares por millón de unidades.

<b>Alambres despegados</b>	<b>Antes</b>	<b>Despues</b>	<b>Delta</b>
		10.65%	8.77%
Produccion diaria x celda		1000	Rows/celda*dia
Celdas		15	celdas
Produccion total (antes de la mejora)		15000	Rows/dia
Costo produccion 1 slider		0.5	
Costo produccion 1 row (60 sliders)		30	
Costo produccion 1'000,000 sliders (sin retrabajos)		\$ 500,000.00	
Costo produccion 1'000,000 sliders (con 10.65% de retrabajos)		\$ 553,250.00	
Costo produccion 1'000,000 sliders (con 8.77% de retrabajos)		\$ 543,850.00	
<b>Ahorro por mejorar la productividad</b>		<b>\$ 9,400.00</b>	

**Tabla 5. 4** Ahorros en alambres despegados (productividad)

En resumen, al sumar los ahorros de defectivo tipo II y de alambres despegados, este proyecto aporta un ahorro total de dieciséis mil novecientos sesenta dólares por millón de unidades producidas. Considerando una producción anual de 50 millones de unidades (el promedio del 2004, 2005 y 2006) el ahorro anual esperado para el 2007 es de ochocientos cuarenta y ocho mil dólares, lo que justifica de manera mas que suficiente el presente proyecto.

Por ultimo, al cuantificar los resultados financieros obtenidos al final del periodo de validación del proyecto (meses de Enero a Marzo de 2007), estos ascendieron a doscientos doce mil dólares, cifra mucho mayor al objetivo inicial planteado de cincuenta

mil dólares, que es lo que normalmente se plantea para un proyecto de mejora de 6 sigma. En la **Tabla 5. 5** se muestra un resumen de las mejoras obtenidas al final del proyecto para cada uno de los métricos definidos, observándose las mejoras explicadas con anterioridad.

<b>Metrico</b>	<b>Descripcion</b>	<b>U/M</b>	<b>Linea Base</b>	<b>Resultado</b>	<b>Mejora</b>
Principal a	Fuerza de traccion media	Fuerza (grs)	2.63	2.51	0.12
Principal b	Fuerza de traccion desv. estandar	Fuerza (grs)	0.67	0.58	0.09
Secundario	Defectivo tipo II	%	1.89	1.26	0.63
Consecuencial	Alambres despegados	%	10.65	8.77	1.88
Financiero	Ahorros en perdidas y productividad	USD	50,000	212,000	-162,000

**Tabla 5. 5** Tabla que resume los resultados obtenidos al final del proyecto

## **CAPITULO 6 – CONCLUSIONES**

### **6.1 Conclusiones generales**

La industria de fabricación de discos duros ha sufrido una transformación increíble en los últimos 10 años. Se han logrado mejoras en las capacidades de almacenamiento de apenas unos cuantos Mega bites (Millones de Bites) a estar el día de hoy a punto de alcanzar capacidades de almacenamiento del orden de Tera bites (Trillones de bites) y eso sin considerar los tiempos de acceso y tamaños de las unidades que cada día se vuelve mas exigentes.

La manufactura de las cabezas magnéticas no puede ser la excepción, el tiempo de vida promedio de cada producto es de menos de 12 meses y se ejemplifica un poco en el presente trabajo. Partimos de un proceso de desarrollo a uno de medición y al mismo tiempo a uno de mejora, todo en un periodo no mayor a 3 meses. Esto hace que el proceso al mismo tiempo tenga que adaptarse a los nuevos productos de manera sencilla y rápida.

Por lo anterior, el presente trabajo explica las innovaciones y mejoras técnicas logradas en el proceso de soldado a partir del proceso original basado en equipos marca K&S hasta la puesta en marcha (mediante la homologación de la receta de soldado original) y la posterior optimización del proceso de los equipos H&K, basados en metodología de Seis Sigma.

Sobre la metodología de Seis sigma podemos concluir que es de gran utilidad ya que nos permite de una manera secuencial y sencilla, identificar y entender las variables que afectan a un proceso en un porcentaje considerable, culminando esto en la obtención de un modelo del proceso y el control de las variables mas importantes o criticas que lo afectan, y demostrando además ahorros sustanciales en los métricos financieros seleccionados.

En el presente trabajo se identificaron en un principio más de 50 variables, posteriormente se evaluaron y ponderaron hasta reducirse a 14, las cuales fueron analizadas de forma mas profunda, quedando solo 3 variables importantes, que fueron sobre las que se realizo la experimentación. Estas 3 variables (tiempo, fuerza y potencia de ultrasonido) y su relación con la variable de fuerza de tracción, fueron descritas a detalle. Se explico la problemática de la variabilidad del patrón de deformación utilizando los controles tanto de límite de tiempo como de deformación, todo esto gracias a los gráficos de deformación de alambre disponibles en el equipo.

Se propuso la idea de dividir el programa de soldado en fases tratando de controlar la variabilidad, estas fueron obtenidas de forma experimental y fueron corroboradas de forma practica, mostrando estabilidad en el valor medio de fuerza y una mejora en la variación (la sigma de medias y de sigmas se redujo de manera considerable, esto es mas del 50%), fenómeno que también fue observado en los gráficos de deformación.

Gracias a esto se logro la mejora en la distribución de la fuerza de tracción lo que nos permitió reducir los alambres despegados y mejorar el porcentaje de defectivo tipo II.

Al final se concluyo que la receta (programa) de 3 fases resulto ser la mas eficiente para controlar la variación entre alambres, y por ende, un proceso mas repetible y controlado.

Por ultimo, y en base a los resultados obtenidos y validados financieramente, se puede concluir que la hipótesis inicial planteada respecto a la efectividad de la metodología de Seis Sigma ha quedado demostrada con el presente proyecto.

## **6.2 Trabajo futuro**

Como cualquier otro proceso de la industria de la manufactura de los discos duros, el proceso de soldado ultrasónico se ve exigido de igual manera. Para una industria donde los tiempos de vida de los productos son menores a 12 meses, el cambio es lo único seguro.

Como oportunidades para futuros trabajos de investigación se mencionaran las siguientes:

a) Se propone evaluar el uso de un alambre con características mecánicas superiores al actual.

b) Se propone evaluar el uso de una aguja de soldado con una geometría diferente relativa al largo del soldado, con el propósito de reducir la probabilidad de daños a la superficie (Defecto Tipo I y II).

c) Una aguja de material diferente, ya que se sabe que existen materiales con mucho mayor durabilidad en cuanto al desgaste por fricción, y dado que el proceso es sensible a las variaciones de ancho de deformación definidas en este caso por desgaste de la aguja, el hecho de reducir la frecuencia de cambio de aguja puede ser de gran ayuda para la estabilidad del proceso.

Todo esto como parte de futuros ciclos de mejora, utilizando para su desarrollo la metodología de Seis Sigma, cuya utilidad ha sido demostrada a lo largo del presente trabajo.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **ACS:** Auditoria de Calidad de Salida.
- **AMEF:** Análisis de Modo y Efecto de Falla.
- **ANOM (Analysis of Means):** Análisis de Medias. Es un análisis similar al ANOVA, mayormente utilizado cuando los datos son proporciones.
- **ANOVA (Analysis of Variance):** Análisis de Varianza. Es un análisis similar a la regresión y se usa para investigar y modelar la relación entre la variable de respuesta y una o más variables independientes.
- **Bite:** Palabra utilizada para describir un bloque de ocho dígitos binarios.
- **CEP o SPC:** Control Estadístico de Proceso, en inglés Statistical Process Control.
- **Champion:** Responsable de un área de producción y encargado de definir la viabilidad de un proyecto Seis Sigma.
- **Clamp:** Tenaza que sujeta el alambre de oro en la máquina de soldado.
- **CPK:** Es el índice de capacidad potencial del proceso definido como el mínimo entre CPU y CPL.
- **CPL:** Es el índice de capacidad potencial del proceso definido por la relación de (Media del proceso – Limite Inferior de Especificación) a (3 \* desv. estándar total).
- **CPU:** Es el índice de capacidad potencial del proceso definido por la relación de (Limite Superior de Especificación – Media del proceso) a (3 \* desv. estándar total).
- **DAGE 5000:** Marca y modelo del equipo para pruebas de fuerza de tracción utilizado en la línea de producción de cabezas magnéticas para discos duros en Hitachi Guadalajara.
- **Desviación Estándar:** Es la medida de dispersión de un grupo de datos que indica que tan alejados se encuentran en general del valor promedio.
- **DMAMC:** Siglas de Definir, Medir, Analizar Mejorar y Controlar, que son las fases de la metodología utilizada en los proyectos Seis Sigma.
- **DOE (Design of Experiments):** Diseño de experimentos. Define el modelo matemático de la relación de las variables de entrada con las de salida de un proceso.

- **Diagrama de Ishikawa:** (También conocido como diagrama de Pescado o de Causa - efecto) Tipo de diagrama que nos ilustra de manera clara la dependencia entre un juego de valores y otros.
- **Entitlement (Mejor nivel histórico):** Concepto clave de un proyecto Seis Sigma, y que significa el mejor desempeño histórico observado en el proceso en un periodo de tiempo.
- **ESD (Electro Static Discharge):** Descarga electrostática que puede dañar el material.
- **Fab:** Abreviación de Fabricación.
- **Fixture:** Dispositivo que tiene una función específica.
- **Fuerza de soldado:** Es la fuerza requerida para soldar un alambre.
- **Gramos-Fuerza:** Unidad de medición de fuerza.
- **H&K (Hesse & Knipps):** Compañía alemana fabricante de equipos de soldado ultrasónico.
- **Hipótesis:** es un enunciado hecho sobre un parámetro poblacional.
- **Hipótesis Nula (Ho):** es lo que se asume acerca del parámetro poblacional, o lo que es lo mismo, es un enunciado de no efecto o no diferencia sobre una situación actual.
- **Hipótesis Alternativa (Ha):** es el enunciado acerca del parámetro de la población que se quiere probar mediante una evidencia suficientemente fuerte.
- **IC (Intervalo de Confianza):** Concepto estadístico que consiste en un intervalo de valores alrededor de un parámetro muestral en el que, con una probabilidad o nivel de confianza determinado, se situará el parámetro poblacional a estimar.
- **Job:** Grupo de 24 rows unidos por el sistema de manufactura.
- **K&S (Kulicke & Soffa):** Compañía norteamericana fabricante de equipos de soldado ultrasónico.
- **Línea Base:** Promedio de medias de un proceso en donde sus variables de entrada operan sin ninguna restricción que nos permite conocer el comportamiento de largo plazo del proceso.
- **Media:** Medida de tendencia de central de un grupo de datos que representa su valor promedio y se obtiene de la suma de todos los valores de los datos dividido entre la cantidad de elementos del grupo.
- **Minitab:** Programa de computadora especializado en análisis estadístico.

- **MPI:** Manual de Procedimientos e Instrucciones.
- **Nanofabricacion:** Proceso de manufactura que nos permite manufacturar dispositivos con dimensiones de  $10E-6$  m o menores.
- **NCP:** Notificación de Cambio al Proceso.
- **Newton:** Unidad de medición de Fuerza.
- **Oblea:** También conocida como Wafer en ingles. Es un arreglo de 5" de diámetro en forma circular que contiene miles de cabezas magnéticas.
- **Oportunidad de mejora:** Es la diferencia entre el mejor nivel histórico y la línea base. El objetivo de un proyecto Seis Sigma es alcanzar una mejora de al menos el 70% de la diferencia entre el máximo histórico y la línea base.
- **OCAP: Out of Control Action Plan:** Plan de acción para situación Fuera de Control.
- **PAD:** Parte del slider que nos permite conectar el elemento de lectura y el de escritura al resto del disco duro. Cada slider contiene 4 y vienen agrupados en pares (Lectura y Escritura).
- **Potencia de ultrasonido o de soldado (USG):** Es la corriente eléctrica necesaria para lograr que el transductor oscile y logre soldar un alambre.
- **Pulido:** Proceso en el cual la superficie del row es desvastada mecánicamente hasta alcanzar el espesor deseado.
- **Quad:** Arreglo rectangular de "sliders" que se fabrica a partir de la oblea. Se obtienen 14 de una sola oblea de tamaño similar.
- **Receta de soldado:** Se le conoce así al programa que se crea en el equipo de soldado donde se especifican los parámetros para cada una de las variables de acuerdo al proceso utilizado.
- **Row:** Hilera de sliders (existen 2 opciones: con 44 y con 60 sliders).
- **R&R (Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad):** Es un estudio que sirve para determinar que tanto de la variación de un proceso se debe a la variación del sistema de medición. La parte de Repetibilidad es debida a la variación del instrumento de medición al medir una parte varias veces, y la parte de Reproducibilidad se debe a la variación de los operadores o inspectores.
- **Scrap:** Material Defectuoso.

- **Seis Sigma:** Metodología mediante la cual se implementan proyectos grupales de mejora con la finalidad de reducir la variabilidad y por ende los desperdicios tanto en los procesos de manufactura como de servicios.
- **Slider:** Nombre genérico que se le da a la cabeza magnética.
- **Tiempo de soldado:** Es el instante necesario para lograr soldar un alambre.
- **Transductor:** Dispositivo electromecánico que convierte los impulsos eléctricos en movimientos.
- **UCL (Upper Control Limit):** Limite superior de control en un grafico de control.
- **UWL (Upper Warning Limit):** Limite superior de advertencia en un grafico de control.
- **Valor Sigma del proceso:** Es el valor que refleja la variación de corto plazo del proceso, y refleja el numero de veces que la desviación estándar cabe entre la media del proceso y el valor de Sigma, que a su vez representa el total de defectos que el proceso genera si estos se pudieran acumular de un mismo lado de la curva de distribución normal.
- **Valor Z del proceso:** Es el valor que indica la variación del proceso a largo plazo y se define del mismo modo que el valor sigma, siendo 1.5 unidades menor.
- **Web:** Nombre genérico de la red mundial de Internet.
- **WebSPC (Statistical Process Control):** Control Estadístico de Proceso basado en una pagina Web.
- **Wedge:** Aguja que hace contacto con el material para transmitir ultrasonido y soldar la parte.
- **Wire Bonding:** Proceso de uso genérico en la industria que nos permite realizar una conexión entre 2 puntos mediante la aplicación de ultrasonido y el uso de un alambre de material conductivo.
- **Wire Pull Tester (Equipo para pruebas de tracción):** Equipo que sirve para realizar la prueba de ruptura de alambre, el cual consiste de dos partes importantes: 1) Un mecanismo para aplicar la fuerza en sentido vertical (de arriba hacia abajo) sobre el alambre utilizando una herramienta en forma de gancho; y 2) Un instrumento calibrado para medir la fuerza a la cual el alambre eventualmente se rompe.
- **Yield:** Porcentaje de piezas buenas en relación al total de piezas producidas.

## REFERENCIAS

### Libros

- [1]. Harman, G. (1997), *Wire Bonding in Microelectronics: Materials, Processes, Reliability, and Yield*, 2nd edition, McGraw-Hill Electronic Packaging and Interconnection Series.
- [2]. A. Harper (1970), *Handbook of Materials and Processes for Electronics*, McGraw-Hill, New York.
- [3]. Thomas Pyzdek (2003). *The Six Sigma Handbook*, Mc Graw Hill. USA
- [4]. Daniel T. Rooney, DeePak Nager, David Geiger, Dongkai Shanguan (2003), *Evaluation of wire bonding performance, process conditions, and metallurgical integrity of chip on board wire bonds*, Product Analysis Center, Flextronics Inc.

### Manuales

- [1]. BMG Corporation (2005), 6 Sigma / Lean, manuales de referencia.
- [2]. Hesse & Knipps (2006), *Hesse & Knipps BJ820 User Manual*.

### Paginas de Internet

- [1]. [www.gitconsulting.com](http://www.gitconsulting.com), Six Sigma Calculator.
- [2]. <http://extra.ivf.se/ngl/> Nordic Electronics Packaging Guideline, The Swedish Institute of Production Engineering Research.

## APÉNDICE A. EQUIPO DE SOLDADO HESSE & KNIPPS BJ820

### Área de trabajo

- 305 mm x 410 mm (12.3" x 16.14")

### Velocidad de Soldado

- Tiempo de ciclo por alambre 120 ms en base a un alambre de 1 milésima de pulgada de espesor y 1 mm de longitud antes de moverse al siguiente alambre.

### Distancia entre puntos a soldar

- Menor a 40  $\mu\text{m}$

### Espesores de alambre

- 12.5  $\mu\text{m}$  - 60  $\mu\text{m}$  (opcional hasta 85  $\mu\text{m}$ )

### Alambres

- Aluminio, Oro

### Cabeza de soldar

- 45° estándar
- Mecanismo en base a piezoeléctrico libre de desgaste

### Transductor de Ultrasonido

- 95 kHz

### Repetibilidad de Ejes

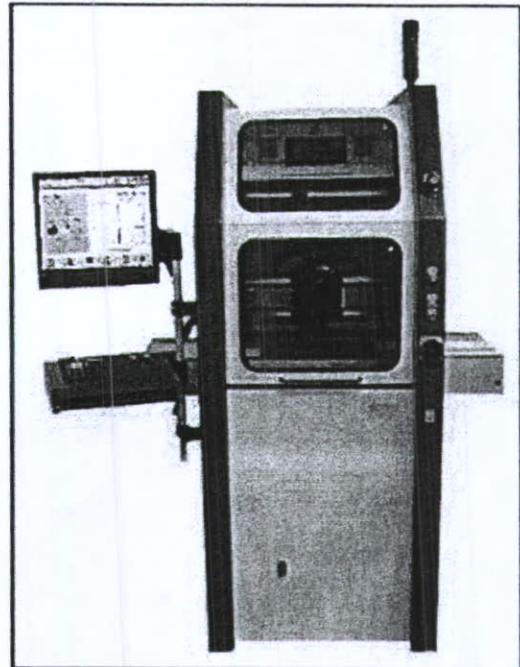
- 1  $\mu\text{m}$  a 3 sigma

### Cabeza de soldar con piezoeléctrico de estado sólido

- Longitud de cola, alimentación de alambre y apertura de mordaza programables
- Ajuste de mordaza de alambre multi-direccional
- Componentes libres de mantenimiento
- Fácil mantenimiento
- Reconocimiento inmediato de señal de contacto
- Preciso control de aplicación de fuerza en 1 cN (modo estático y dinámico)
- Rigidez mecánica: menor vibración, mayor velocidad y mejor calidad al soldar

### Software

- Portabilidad de programas
- Visualización grafica de conexiones enseñadas



- Visualización grafica de sistemas de referencia
- Contornos programables de arcos de alambre
- Biblioteca de parámetros
- Capacidad de agrupar y repetir
- Múltiples niveles de control de acceso de usuarios
- Cambio de programas en segundos

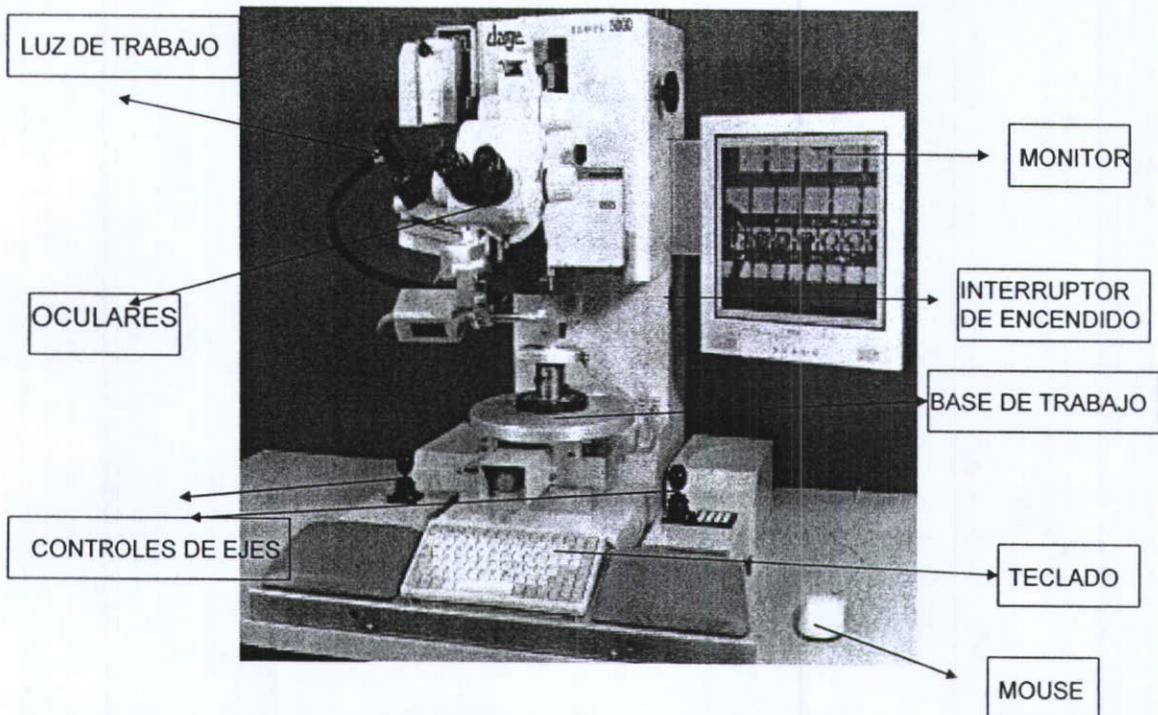
#### **Control de Calidad al Soldar**

- Monitoreo continuo de deformación de alambre y corriente del transductor con límites de control superior e inferior programables
- Secuenciador de soldado orientado a proceso con hasta tres intervalos

#### **Capacidades en-línea**

- Espacio requerido de equipo: 722 mm x 1250 mm (28,3" x 49,2")
- Controlador PLC integrado
- Puertos de entrada y salida SMEMA estándar
- Soporte para conectividad en red

## APÉNDICE B. EQUIPO PARA FUERZA DE TRACCION DAGE 5000



The DAGE-SERIES-5000 is a modular Multi-function Bond Tester, capable of meeting all pull and shear applications. This system can be configured as a simple wire pull tester, and upgraded to provide ball shear, die shear (hot & cold), cold bump pull and tweezer pull tests. The 5000 uses the Dage Frictionless Load Cartridge System (US Patent No US 6,237,422 B1), and Air Bearing technology, to ensure maximum accuracy, repeatability, and reproducibility.

- Wire Pull to 10Kg; Tweezer Pull/Peel to 5Kg; Ball Shear to 250g, Solder Ball Shear to 5Kg; and Die Shear to 100Kg. (Dependent on the system configuration)
- Each of the 8 standard test heads incorporate 4 default software selectable operating ranges, with a further six available on request
- Internal SPC software to provide basic analysis
- Fully ODBC compatible to exchange data with external Statistical Process Control systems
- System control is provided through an external PC running Windows 98. (Windows NT, optional)
- Additional options include Cold Bump Pull, Vectored Pull for CSP, and Autotesting for Fine Pitch Applications

- Standard workholders for most applications, custom workholders also available.

General	
Machine footprint	W (including joystick, excluding PC/monitor) 425mm
	D (including front arm rest) 730mm
	H 670mm
Weight	45kg
Power Supply	Switchable 100/110v, 220/240v Ac 50/50Hz
Pneumatic Supply (for machine)	4bar, 6mm OD/4mm ID plastic pipe
Vacuum Supply (for work holder)	min. 500mm Hg plastic pipe
International Certification	Complies with Military STD 883 for die shear and wire pull testing and ASTM specification for ball shear tests. Compliant with European CE Regulations - EMC Directive, Low voltage Directive, Mechanical Safety Directive
Monitor	VGA/SVGA
Optics	
Leica GZ6 and Stereo zoom 6	
Olympus SZ 3060	
WILD MZ8	
Nikon SMZ-1	
Axis	
X, Y axis accuracy	+10 microns over 50mm
X, Y axis repeatability	+5 microns over 50mm
X, Y axis resolution	< 1 micron
X, Y axis maximum speed	2mm/second
Y axis maximum force	100Kg
X axis maximum force	5Kg
Z axis travel	65mm
Z axis accuracy over full travel	+10 micron
Z axis accuracy over 2mm	+2 micron

Total step back accuracy of complete system for 250 gram shear cartridge over 25 micron of Z travel	+1 micron
Z axis resolution	+0.125 micron
Z axis maximum speed	7mm/second
Z axis maximum test speed	5mm/second
Z axis maximum force	10Kg pull at 5mm/second
Work holder working envelope	X 220mm Y 220mm Z 50mm

## APÉNDICE C. TABLA DE NIVELES SIGMA

**TABLA SIGMA**

Sigma	DPMO	YIELD	Sigma	DPMO	YIE L D
6	3.4	99.99956%	2.9	80,757	91.9%
5.9	5.4	99.99946%	2.8	96,801	90.3%
5.8	8.5	99.99915%	2.7	115,070	88.5%
5.7	13	99.99866%	2.6	135,666	86.4%
5.6	21	99.9979%	2.5	158,655	84.1%
5.5	32	99.9968%	2.4	184,060	81.6%
5.4	48	99.9952%	2.3	211,855	78.8%
5.3	72	99.9928%	2.2	241,964	75.8%
5.2	108	99.9892%	2.1	274,253	72.6%
5.1	159	99.984%	2	308,538	69.1%
5	233	99.977%	1.9	344,578	65.5%
4.9	337	99.966%	1.8	382,089	61.8%
4.8	483	99.952%	1.7	420,740	57.9%
4.7	667	99.931%	1.6	460,172	54.0%
4.6	968	99.90%	1.5	500,000	50.0%
4.5	1,350	99.87%	1.4	539,826	46.0%
4.4	1,866	99.81%	1.3	579,260	42.1%
4.3	2,555	99.74%	1.2	617,911	38.2%
4.2	3,467	99.65%	1.1	655,422	34.5%
4.1	4,661	99.53%	1	691,462	30.9%
4	6,210	99.38%	0.9	725,747	27.4%
3.9	8,198	99.18%	0.8	758,036	24.2%
3.8	10,724	98.9%	0.7	788,145	21.2%
3.7	13,903	98.6%	0.6	815,940	18.4%
3.6	17,864	98.2%	0.5	841,345	15.9%
3.5	22,750	97.7%	0.4	864,334	13.6%
3.4	28,716	97.1%	0.3	884,930	11.5%
3.3	35,930	96.4%	0.2	903,199	9.7%
3.2	44,565	95.5%	0.1	919,243	8.1%
3.1	54,799	94.5%			
3	66,807	93.3%			

## APÉNDICE D. ESCALAS DE SEVERIDAD, OCURRENCIA Y DETECCION UTILIZADAS EN EL AMEF

### Escala de Severidad

	<b>Severidad del Efecto</b>	<b>Calif.</b>
<b>Extrema</b>	Puede poner en peligro la maquina o el operador. Peligroso <b>sin</b> advertencia	10
	Puede poner en peligro la maquina o el operador. Peligroso <b>con</b> advertencia	9
<b>Alta</b>	Perturbación mayor a la línea de producción. Perdida de funciones primarias, 100% piezas inservibles	8
	Desempeño reducido de funciones primarias. El producto requiere segregación, algunas piezas inservibles	7
<b>Moderada</b>	Perturbación menor a la línea de producción. Algunas piezas inservibles. Perdida de funciones secundarias	6
	Perturbación menor a la línea de producción. 100% Retrabajo. Desempeño reducido de funciones secundarias.	5
	Defecto menor observado por la mayoría de los clientes. El producto requiere algún tipo de segregación y retrabajo	4
<b>Baja</b>	Articulo con falla de ensamble, acabado, chillido o cascabeleo. Algunos clientes pueden observar algún defecto menor.	3
	Los defectos pueden ser corregidos al momento Quizás algún cliente llegue a observar algún defecto menor.	2
<b>Cero</b>	No tiene efecto	1

## Escala de Ocurrencia

	Probabilidad de Ocurrencia	Índice de Falla	Capacidad (Cpk)	Calif.
<b>Muy Alta</b>	La falla es casi inevitable	1 en 2	< .33	10
		1 en 3	> .33	9
<b>Alta</b>	El proceso no esta bajo control estadístico. Procesos similares han experimentado problemas.	1 en 8	> .51	8
		1 en 20	> .67	7
<b>Moderada</b>	El proceso esta bajo control estadístico pero con fallas aisladas. Procesos previos han experimentado fallas ocasionales o condiciones fuera de control.	1 en 80	> .83	6
		1 en 400	> 1.00	5
		1 en 2000	> 1.17	4
<b>Baja</b>	El proceso esta bajo control estadístico.	1 en 15k	> 1.33	3
<b>Muy Baja</b>	El proceso esta bajo control estadístico. Solo hay fallas aisladas asociadas con procesos casi idénticos.	1 en 150k	> 1.50	2
<b>Remota</b>	La falla es improbable. No se conocen fallas asociadas con procesos casi idénticos.	1 en 1.5M	> 1.67	1

## Escala de Detección

	<b>Probabilidad de que el control detecte la falla</b>	<b>DPPM</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Calif.</b>
<b>Muy Baja</b>	No se conocen controles para detectar el modo de falla	100,000	1 en 10	10
<b>Baja</b>	Los controles tienen una remota posibilidad de detectar la falla	50,000	1 en 20	9
		20,000	1 en 50	8
<b>Moderada</b>	Los controles pueden detectar la existencia de una falla	10,000	1 en 100	7
		5,000	1 en 200	6
		2,000	1 en 500	5
<b>Alta</b>	Hay una buena posibilidad de que los controles detecten la existencia de una falla	1,000	1 en 1,000	4
		500	1 en 2,000	3
<b>Muy Alta</b>	El proceso detecta las fallas automáticamente.	200	1 en 5,000	2
	Casi es un hecho que los controles detecten la existencia de una falla	100	1 en 10,000	1

# APÉNDICE E. PLANES DE ACCIÓN PARA SITUACIONES FUERA DE CONTROL (OCAP'S)

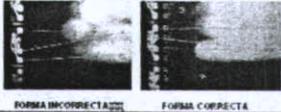
## Alambres Despegados (Manufactura)

Metrico de Proceso  
Condicion

Alambres Despegados  
Si el nivel de rnk de soldado en el equipo es  $\geq 7$  rows de retrabajo en una hora  
Si se presentan 3 rows consecutivos con alambres despegados en alguna parte del row  
Si la grafica de rnk sobrepasa el limite superior de control

Tabla de Analisis e Investigacion de Causa Raiz A

Acciones para Manufactura

Prioridad	Acciones de Investigacion	Procedimientos de Investigacion	Resultados de Investigacion	Acciones Adicionales	Verificacion de Acciones
	Revisar la alineación de la estacion de carga de los siguientes 3 rows en la pantalla de la soldadora, checando el enfoque (el row no debe verse borroso) y la inclinacion de los alambres virtuales.		Si la inclinacion de los alambres es adecuada y el row no se ve borroso	Ir a prioridad 2	
			Si los alambres de todos los rows estan inclinados o el row se ve borroso	Llamar a mantenimiento de fixtures para que revise la estacion de carga	Una vez liberada la estacion de carga, seleccionar la opcion Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar el equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio minimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a Tabla B, Prioridad 1
			Si solo algun row tiene alambres inclinados o se ve borroso	Enviar row a carga para descargarlo y volverlo a cargar correctamente	Llamar a mantenimiento de soldadoras e ir a Tabla B, Prioridad 1
2	Verificar correcta aplicacion de cinta en la estacion de tacking	Verificar que la cinta adhesiva aplicada sobre los alambres en la estacion de tacking no este desprendiendolos	La aplicacion es correcta	Ir a prioridad 3	
			La aplicacion es incorrecta	Llamar a mantenimiento de fixtures para que revise la estacion de tacking	Una vez liberada la estacion de tacking, seleccionar la opcion Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar el equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio minimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a Tabla B, Prioridad 1
3	Identificar si la causa del retrabajo es en el row o en la tarjeta en la inspeccion de soldado	Identificar si el mayor problema son los alambres sueltos (son los que se ven levantados que quedaron pegados a la tarjeta y se despegaron del row) o si el mayor problema son los alambres cortos (estos son los alambres que quedaron pegados al row y se despegaron de la tarjeta)	El problema es en la tarjeta (alambres cortos)	Llamar a mantenimiento de soldadoras	Ir a tabla B, Prioridad 18
			El problema es en el row (alambres sueltos)	Ir a prioridad 4	
4	Detener ingreso de nuevo material a equipo de soldado de WB y detectar los rows que no han completado su ciclo de pulido	Ver seccion de retrabajos del MPI 088-0163D de Pulido y Descarga	Los rows tienen menos de 2 ciclos de retrabajos	Llamar a mantenimiento de soldadoras	Ir a Tabla B, Prioridad 1
			Los rows tienen 2 ciclos de retrabajos o mas sin completar su pulido	Llamar a mantenimiento de soldadoras	Ir a Tabla B, Prioridad 9

## Alambres Despegados (Mantenimiento) – Parte 1

Metrico de Proceso  
Condicion

Alambres Despegados  
Si el problema no fue resuelto en tabla A

Tabla de Analisis e Investigacion de Causa Raiz B

Acciones para Mantenimiento

Prioridad	Acciones de Investigacion	Procedimientos de Investigacion	Resultados de Investigacion	Acciones Adicionales	Verificacion de Acciones
1	Asegúrese de la correcta alineacion del clamp y angulo del alambre con respecto a la punta de soldado (wedge).	Verificar visualmente que el clamp este a la distancia adecuada del wedge y que la altura sea de acuerdo al angulo del alambre	El clamp esta desalineado y la alimentacion del alambre es insuficiente	Alinear clamp y angulo del alambre segun se muestra en la forma FF1000911 y segun se describe en el manual de mantenimiento de Wire Bonder H&K BJ820 no. 53812MX	Seleccionar la opcion Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio minimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a prioridad 2
			Si esta alineado y el problema es en el row	Ir a Prioridad 2	
			Si esta alineado y el problema es en la tarjeta	Ir a Prioridad 18	
2	Revisar cables del transductor y apertura del clamp	Verificar que los cables del transductor no esten des-soldados, y verificar bajo el microscopio que la apertura del clamp sea de 2 a 4 veces el diametro del alambre	Uno o ambos cables estan des-soldados	Re-soldar el/los cables	Seleccionar la opcion Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio minimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a prioridad 3
			Los cables estan soldados	Ir a Prioridad 3	

## Alambres Despegados (Mantenimiento) – Parte 2

Prioridad	Acciones de Investigacion	Procedimientos de Investigacion	Resultados de Investigacion	Acciones Adicionales	Verificacion de Acciones
			La apertura del clamp es menor a 2 o mayor a 4 diámetros del alambre y la alimentación del alambre es insuficiente	Modificar el valor de apertura del clamp entre 60 y 80 % en el menú de ajuste. Si es fuera de este rango ajustar apertura mecánicamente	Alimentar alambre mediante la tecla WF y seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a prioridad 3
			La apertura del clamp esta entre 2 y 4 veces el diámetro del alambre	Ir a Prioridad 3	
3	Revisar vida de la punta de soldado	Revisar cantidad de alambres soldados con la punta actual en el menú de ajustes del equipo	La punta tiene mas de 40,000 soldados de vida	Ir a prioridad 4	
			La punta tiene menos de 40,000 soldados de vida	Realizar cambio de punta según se describe en el manual de mantenimiento de Wire Bonder H&K BJ820 no. 53812MX	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a prioridad 4
4	Revisar el que el punto de soldado real coincida con el virtual	Utilice el row que se este soldando en ese momento para verificar que la cruz virtual coincida con el nugget	La ubicación esta centrada conforme al punto virtual	Ir a prioridad 5	
			La ubicación esta mal con respecto al punto virtual	Efectuar calibración de geometría del wedge según se describe en el manual de mantenimiento de Wire Bonder H&K BJ820 no. 53812MX	Ir a Prioridad 5
5	Revisar que el punto de soldado este bien ubicado en el pad	El punto de soldado debe estar perfectamente centrado en el pad	El punto de soldado esta bien ubicado	Ir a prioridad 6	
			El punto de soldado esta mal ubicado	Recargar el programa master en base a procedimiento de restauración de programa	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a prioridad 6
6	Verifique que el punto de soldado sea consistente	Verifique 3 rows evaluando que el punto de soldado este en la misma posición en todos los pads a lo largo de los rows	Los puntos de soldado estan consistentemente bien en todos los rows	Ir a prioridad 7	
			Algunos puntos de soldado estan fuera del pad en todos los rows	Recargar el programa master en base a procedimiento de restauración de programa	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a prioridad 7
			Algunos puntos de soldado estan fuera del pad en algunos rows	Identificar fixtures con problema y separarlos para mantenimiento de fixture	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a prioridad 7
7	Realizar una inspección en el microscopio. Identificar si hay contaminación en la superficie de los pads del rows	Utilizando el microscopio buscar contaminación. Se presenta como manchas amarillo oscuro en los pads, y en algunos casos, con pequeñas manchas blancas tipo arco iris.	Si hay contaminación	Ir a Prioridad 8	
			Si no hay contaminación	Ir a Prioridad 10	
8	Determinar el nivel de contaminación de entrada en el material	Contabilizar el número de rows con contaminación	Si el job tiene menos de 7 rows contaminados	Ir a Prioridad 9	
			Si el job tiene mas de 7 rows contaminados	Separar el Job para envío como monitor de contaminación	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a prioridad 9
9	Checkar si los rows de retrabajo se pueden soldar en otra máquina	Tomar los 2 últimos rows de retrabajo de la soldadora y remover los alambres manualmente utilizando las pinzas. No lavar los rows ni mandarlos a la removedora de alambres. Cargar los rows en otra máquina que esté funcionando adecuadamente	Los rows fueron soldados	Ir a Prioridad 12	
			Los rows no pudieron ser soldados	Ir a Prioridad 10	
10	Tratar de soldar rows con varios ciclos de retrabajo moviendo el punto de soldado	Mover punto de Soldado	Los rows fueron soldados	Trabajar con el punto de soldado reacomodado de forma temporal mientras se soldan rows de retrabajo. Despues acomodar el punto de soldado a posición ideal	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a prioridad 11
			Los rows no pudieron ser soldados	Ir a Prioridad 11	
11	Tratar de soldar rows con un factor mas alto	Soldar rows con un factor mas alto como si fueran retrabajos.	Los rows fueron soldados	Regresar factor de soldado a nivel anterior	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no llamar a Ingeniero de Procesos
			Los rows no pudieron ser soldados	Llamar a Ing. De Procesos	Si así se determina, disponer los rows. (7742)

## Alambres Despegados (Mantenimiento) – Parte 3

12	Revisar que los parámetros de soldado en el row son los adecuados.	Referencias de los parámetros de soldado según formato FF1000866	Los parámetros de soldado están fuera del rango	Re-establecer parámetros de soldado en base a referencia	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a prioridad 15
			Los parámetros de soldado están dentro del rango	Ir a Prioridad 13	
13	Verificar la calibración de USG mediante la forma y amplitud de la curva	Referencias en el manual de mantenimiento de Wire Bonder H&K BJ820 no. 53812MX	La calibración es correcta	Ir a Prioridad 14	
			La calibración es incorrecta	Realizar Calibración	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a prioridad 14
14	Verificar que el nugget este normal (sin malformaciones)	Utilizando el microscopio ver forma del nugget	Si hay malformación en el nugget	Ir a Prioridad 15	
			Si el nugget esta normal	Ir a Prioridad 17	
15	Realizar limpieza de punta de soldado	Utilizar un cotonete con alcohol para realizar la limpieza de la punta de soldado y soldar un row	El row se pudo soldar	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a Prioridad 16	
			El row no se pudo soldar	Ir a Prioridad 16	
16	Checar el estado de la punta de soldado (wedge)	Remover la punta para revisarla en el microscopio	Buen estado	Reinstalar correctamente	Ir a prioridad 17
			Punta dañada	Reemplazar la punta según se describe en el manual de mantenimiento de Wire Bonder H&K BJ820 no. 53812MX	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a prioridad 17
17	Realizar Calibraciones del equipo	Hacer calibración de USG, Fuerza, Geometría del wedge y eje P según se describe en el manual de mantenimiento de Wire Bonder H&K BJ820 no. 53812MX	Las calibraciones fueron exitosas	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows.	
			Alguna de las calibraciones falló	Verificar causa de falla y reintentar hasta que las calibraciones sean completadas	
18	Analizar el tipo de falla en la tarjeta	Bajo el microscopio checar que el punto de soldado este centrado en las pistas y analizar si la falla es despegue o ruptura del nugget	Si el punto de soldado está movido	Centrar el punto de soldado en las pistas	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a prioridad 19
			Si hay ruptura o despegue de alambre	Ir a prioridad 19	
19	Verificar estado de las tarjetas	Con el microscopio buscar residuos de alambre o daños en las pistas ya sea que estén levantadas, tengan exposición de níquel o rayaduras severas	Si no hay problemas aparentes en las tarjetas	Ir a Prioridad 20	
			Si hay residuos que no estén aplanados	Llamar a Fixture para checar Aplanadora de Tarjetas	Una vez liberada la aplanadora de tarjetas, seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar el equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a Prioridad 21
			Si hay daño en las tarjetas	Llevar tarjetas a Fixture para reemplazarlas	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a prioridad 21
20	Verificar el ángulo de entrada del alambre a la wedge.	Debe entrar naturalmente a 45°, para evitar exceso de fricción.	Si entra a 45°	Ir a Prioridad 21	
			Si no entra a 45°	Ajustelo si es necesario, según descrito en el manual de mantenimientos de Wire Bonder H&K BJ820 no. 53812MX	Una vez hecho el ajuste, seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no ir a prioridad 22
21	Revisar que los parámetros de soldado en la tarjeta son los adecuados.	Referencias de los parámetros de soldado según formato FF1000866	Si el problema es despegue de alambre y el equipo tiene los parámetros de referencia	Incrementar factor de ultrasonido en la tarjeta	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no llamar a Ingeniero de Equipos
			Si el problema es ruptura de alambre y el equipo tiene los parámetros de referencia	Reducir factor de ultrasonido en la tarjeta	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no llamar a Ingeniero de Equipos
			El equipo tiene parámetros fuera de rango	Re-establecer parámetros de soldado en base a referencia	Seleccionar la opción Reset Heights en la ventana de Specify Position y re-arrancar equipo con 3 rows nuevos. El equipo será liberado si se cumple el criterio mínimo de alambres sueltos en los 3 rows. Si no llamar a Ingeniero de Equipos

# Defectivo Tipo II (Manufactura y Mantenimiento)

Metrico de Proceso  
Condicion

Condiciones Adicionales

Defectivo Tipo II (Cualquier residuo de alambre resultado de la op. Wire Bonding)  
2 de 3 puntos consecutivos por encima de UWL sliders con defectivo  
1 un punto por encima de UCL sliders con defectivo  
Las muestras de los 3 equipos de una celda fallan en el periodo de Inspección correspondiente  
Si el row es rwk, debe ser de primera vuelta, mandar a monitoreo y regresar al proceso

Tabla de Analisis e Investigacion de Causa Raiz C

Acciones para Manufactura Acciones para Mantenimiento

Prioridad	Acciones de Investigacion	Procedimientos de Investigacion	Resultados de Investigacion	Acciones Adicionales	Verificacion de Acciones
1	Detener el Equipo de Soldado con alto Defectivo Tipo 2	Dejar de alimentar el equipo de soldado y llamar a Ing. de Mantenimiento de Soldado		Ir a Prioridad 2	
2	Verificar si el wedge requiere de reemplazo por número de corridas.	Checar numero de corridas	El wedge no requiere cambio	Ir a Prioridad 3	
			El wedge requiere ser reemplazado	Lleve a cabo el cambio de wedge segun se describe en el manual de mantenimiento de Wire Bonder H&K BJ820 no. 53812MX	Realizar las calibraciones descritas y liberar el equipo con 3 rows nuevos, los cuales se desoldarán (sin pulir) inmediatamente para verificar el desempeño de la soldadora. El equipo será liberado si se tienen 3 o menos sliders con defectivo de entre los 3 rows y se monitoreará la siguiente muestra. Si continua el problema ir a prioridad 3
3	Verificar si en su mayoría, los residuos están mal ubicados.	El soldado no debe sobresalir en lo absoluto del pad	Los residuos están distribuidos en todos los rows y se encuentran en el centro del pad	Ir a Prioridad 8	
			Los residuos Si estan mal ubicados	Ir a Prioridad 4	
4	Revisar el que el soldado real coincida con el virtual	Utilizar el row que se este soldando en ese momento para verificar que la cruz virtual coincida con el nugget	La ubicacion esta centrada conforme al punto virtual	Ir a Prioridad 6	
			La ubicacion esta mal con respecto al punto virtual	Ir a Prioridad 5	
5	Realizar calibracion de geometria del wedge	Ejecutar procedimiento segun se describe en el manual de mantenimiento de Wire Bonder H&K BJ820 no. 53812MX	La ubicacion esta centrada conforme al punto virtual	Ir a Prioridad 6	
			La ubicacion sigue mal con respecto al punto virtual	Hacer calibracion del PRS segun se describe en el manual de mantenimiento de Wire Bonder H&K BJ820 no. 53812MX	Ir a Prioridad 6
6	Verificar que los puntos de soldado estén bien ubicados en el pad.	Soldar de 3 a 5 sliders y checar si el punto de soldado esta centrado	Los puntos de soldado estan bien ubicados en el pad	Ir a prioridad 7	
			Los puntos de soldado estan mal ubicados en el pad	Recargar el programa master en base a procedimiento de restauracion de programa	Ir a Prioridad 8
7	Verificar que el punto de soldado sea consistente	Verificar 3 rows evaluando que el punto de soldado este en la misma posicion en todos los pads a lo largo de los rows	Los puntos de soldado estan consistentemente bien en todos los rows	Ir a prioridad 8	
			Algunos puntos de soldado estan fuera del pad consistentemente en todos los rows	Recargar el programa master en base a procedimiento de restauracion de programa	Ir a Prioridad 8
			Los puntos de soldado son consistentes solo en algunos rows	Es probable que uno o varios fixtures esten sucios o defectuosos. Limpiar los fixtures y probar con 2 nuevas piezas. Si se repite la falla, el fixture debe ser reemplazado	Re-arrancar el equipo con 3 rows nuevos, los cuales se desoldarán (sin pulir) inmediatamente para verificar el desempeño de la soldadora. El equipo será liberado si se tienen 3 o menos sliders con defectivo de entre los 3 rows y se monitoreará la siguiente muestra. Si continua el problema ir a prioridad 8
8	Revisar que los parámetros de soldado en el equipo son los adecuados.	Referencias de los parametros segun Formato FF1000858	El equipo se encuentra dentro de parametros	Ir a prioridad 9	
			El equipo se encuentra fuera de parametros	Reducir factor en el row	Re-arrancar el equipo con 3 rows nuevos, los cuales se desoldarán (sin pulir) inmediatamente para verificar el desempeño de la soldadora. El equipo será liberado si se tienen 3 o menos sliders con defectivo de entre los 3 rows y se monitoreará la siguiente muestra. Si continua el problema ir a prioridad 9
9	Inspeccionar 3 rows nuevos recién soldados para revision del nugget	Realizar la inspeccion del nugget en un microscopio con 10X de magnificacion	Si el nugget se ve bien	Ir a Prioridad 10	
			Si el nugget se observa muy desgastado, liso y con una forma diferente	Lleve a cabo el cambio de wedge segun se describe en el manual de mantenimiento de Wire Bonder H&K BJ820 no. 53812MX	Realizar las calibraciones descritas y liberar el equipo con 3 rows nuevos, los cuales se desoldarán (sin pulir) inmediatamente para verificar el desempeño de la soldadora. El equipo será liberado si se tienen 3 o menos sliders con defectivo de entre los 3 rows y se monitoreará la siguiente muestra. Si continua el problema ir a prioridad 10
10	Revisar que la removedora de alambre esté funcionando correctamente.	Revisar que la cuña entre rápido y disminuya la velocidad antes de tocar el tape (Este caso en especial si las muestras de todos los equipos de una celda han fallado).	La removedora de alambre esta trabajando de forma correcta	Consultar al ing. de Equipos/procesos de Wire Bond	
			La removedora de alambre esta fallando		Re-arrancar el equipo con 3 rows nuevos, los cuales se desoldarán (sin pulir) inmediatamente para verificar el desempeño de la soldadora. El equipo será liberado si se tienen 3 o menos sliders con defectivo de entre los 3 rows y se monitoreará la siguiente muestra. Si continua el problema consultar al ing. de Equipos/procesos de wire bond

# Fuerza de Tracción (Manufactura y Mantenimiento)

Metrico de Proceso  
Condición

Fuerza de Tracción  
Cada cambio de punta de soldado  
1 punto o más fuera de los Límites de Especificación (Fuerza en gramos)

Tabla de Analisis e Investigacion de Causa Raiz D

Acciones para Manufactura    Acciones para Mantenimiento

Prioridad	Acciones de Investigacion	Procedimientos de Investigacion	Resultados de Investigacion	Acciones Adicionales	Verificacion de Acciones
1	Tomar muestra de 2 rows del equipo donde se realizo el cambio de punta o se realizo ajuste y llevarlos a la prueba de traccion	Montar cada uno de los rows en el equipo DAGE 5000 y hacer la prueba de fuerza de traccion en 6 puntos del row (2 alambres del extremo izq, 2 del centro y 2 del extremo derecho) y graficar los resultados en la carta de Medias de WebSPC para el Parametro PULLTEST y la op. 4395 WIREBOND FEMTO, o en su defecto en el formato FF1000094 llenando los datos requeridos en la parte posterior	La media o la sigma de la muestra salieron fuera de los límites	Ir a Prioridad 2	
			Ambos graficos de control salieron dentro de los límites		Libere el equipo
2	Incrementar o reducir el factor de USG en el row de acuerdo al caso en incrementos/ decrementos de 10% aprox. por cada 0.5 gramos	Esto se hace seleccionando la opcion de Factors en el menu de Settings, en la parte de US Factor Destination		Ir a Prioridad 1	



**TRES GENERACIONES  
A SU SERVICIO**



*Encuadernaciones*  
**LOPEZ**

8 de Julio No. 17 Tels. 3614-5948 y 3614-4171  
Zona Centro. Guadalajara, Jalisco; México

**ESTACIONAMIENTO ANEXO EXCLUSIVO PARA NUESTROS CLIENTES**

Email: [encuadernaciones\\_lopez@hotmail.com](mailto:encuadernaciones_lopez@hotmail.com)

