



UNIVERSIDAD PANAMERICANA CAMPUS GUADALAJARA

“PROYECTO PARA MEJORA DEL YIELD DE
RESISTENCIA DEL PROCESO DE PULIDO
DE CABEZAS LECTORAS VERTICAL LAP”

J. JESÚS NUÑO RUIZ

Tesis presentada para optar por el grado de Maestro en
Optimación 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., ENERO de 2011



UNIVERSIDAD PANAMERICANA
CAMPUS GUADALAJARA

Enero del 2011

ING. VÍCTOR JAVIER GONZÁLEZ BELMONTE
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE EXÁMENES DE GRADO
PRESENTE.

Me permito hacer de su conocimiento que J. JESUS NUÑO RUIZ, de la Maestría en Optimización de Sistemas Productivos, ha concluido satisfactoriamente su trabajo de titulación con la alternativa de TESIS, titulada:

"PROYECTO PARA MEJORA DEL YIELD DE RESISTENCIA DEL PROCESO DE PULIDO DE CABEZAS LECTORAS VERTICAL LAP"

Manifiesto que, después de haber sido 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. JOSÉ DE JESÚS GARCÍA PÉREZ
ASESOR DE TESIS



UNIVERSIDAD PANAMERICANA
CAMPUS GUADALAJARA

DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO

SR. J. JESUS NUÑO RUIZ

Presente.

En mi calidad de presidente de la Comisión de Exámenes de Grado, y después de haber analizado el trabajo de titulación presentado por usted en la alternativa de **TESIS**, titulada:

"PROYECTO PARA MEJORA DEL YIELD DE RESISTENCIA DEL PROCESO DE PULIDO DE CABEZAS LECTORAS VERTICAL LAP"

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

ING. VÍCTOR JAVIER GONZÁLEZ BELMONTE

PRESIDENTE DE LA COMISIÓN

AGRADECIMIENTOS

La culminación de una tesis es un proceso gratificante profesional y humanamente, al lograrse la aplicación de los conocimientos aprendidos en un estudio de nivel superior como es el caso de la presente Maestría de Optimación de Sistemas Productivos. En la culminación de tal proceso, el apoyo de personas e instituciones es fundamental para el del logro de tal alcance. Con ello y siendo el caso del presente trabajo, quiero agradecer infinitamente la continua y siempre atinada asesoría del Maestro José de Jesús García Pérez, de quien sin su invaluable, oportuna, orientada y detallada dirección el alcance de los objetivos de este trabajo no hubiese sido posible en su culminación.

Agradezco también las facilidades y el apoyo brindado por la Universidad Panamericana y la coordinación de la maestría, en especial al Maestro Miguel Ángel Moreno para el logro de este proceso de tesis. A Hitachigst México por la oportunidad de haber seleccionado un proceso de mejora en sus áreas de manufactura para la ejecución de este trabajo, que representa el tema central de esta tesis.

Finalmente gracias mi esposa Graciela y a mis hijos Jesús, Jorge e Isabel por el continuo e incansable soporte y entendimiento, para la terminación del trabajo, gracias siempre.

J. Jesús Nuño Ruiz.

Enero 2011

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
La metodología DMAMC.....	6
CAPITULO 1 – DEFINICIÓN DEL PROYECTO.....	8
1.1 Alcance del proyecto y validación del problema.....	8
1.1.1 Alcance.....	9
1.2 Definición del problema.....	9
1.2.1 Definición.....	11
1.2.2 Baseline o línea base.....	11
1.3 Métricos del proyecto.....	13
1.4 Objetivo del proyecto.....	15
CAPITULO 2 – MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DEL PROYECTO.....	18
2.1 Identificación de salidas del proceso.....	18
2.2 Mapa del proceso y simplificación.....	21
2.3 Matriz causa-efecto para identificación de variables críticas.....	21
2.4 Capacidad de los sistemas de medición.....	22
2.5 Sistema de recolección de datos.....	27
2.6 Capacidad del proceso.....	32
CAPITULO 3 – ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DEL PROCESO Y SU CORRELACIÓN.....	38
3.1 Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF o en Ingles FMEA).....	38
3.1.1 AMEF - Parte 1. Evaluación Inicial.....	39
3.1.2 AMEF - Parte 2. Acciones e historial.....	40
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.....	61
3.3 Plan para diseño de experimentos.....	62
CAPITULO 4 – MEJORA DE LAS CONDICIONES DEL PROCESO.....	64
4.1 Diseño y ejecución del experimento.....	66
4.1.1 Pre- experimentación.....	66
4.2 Obtención del modelo matemático del proceso.....	75
4.3 Validación del modelo.....	77
CAPITULO 5 – CONTROL DEL PROCESO.....	81
5.1 Optimización e implementación.....	81
5.2 Control de las variables independientes y monitoreo de las dependientes.....	89
5.2.1 Gráficos de control y de monitoreo.....	94
5.2.2 Auditorias.....	101
5.3 Cierre del proyecto.....	101
5.3.1 Resultados Financieros.....	104
CAPITULO 6 – CONCLUSIONES.....	105
6.1 Conclusiones generales.....	105
6.2 Trabajo futuro.....	106
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	108
REFERENCIAS.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 0. 1. La tecnología de las cabezas lectoras ha evolucionado. La era moderna de estas puede ubicarse en los años 80 con la aparición de los sistemas inductivos “Thin gap”, En los 90, los elementos semiconductores MR, como elementos sensores de lectura y escritura, permitieron incrementar de manera sustancial la densidad de área de un disco duro. Hoy en día, con anchos de pista de un disco duro inferiores a una micra, las cabezas lectoras con sensores GMR permiten ofrecer posibilidades de densidades de área mayores a 10 gigabytes/pulg ²	2
Figura 0. 2. Etapas del proceso de fabricación de cabezas lectoras Fab 1.	4
Figura 0. 3. Pasos de implementación de la metodología “DMAMC”	7
Figura 1. 1 Tendencia semanal del proceso de vertical Lap en el periodo entre Julio 02 y Agosto 26 del 2006, sobre la cual se calcula la línea base del proyecto de esta tesis, igual al promedio del la desviación estándar diaria del proceso en el período = 7.5 ohms.	11
Figura 1. 2 Esquema general de una cabeza magnética sobre un disco duro, con la representación de parámetros mecánicos fundamentales. Los más de estos son controlados y afectados en el proceso de Vertical Lap y serán métricos de consecuencia del proceso, en adición al del métrico primario de Rc resistencia del elemento MR.	14
Figura 1. 3 Tendencia del métrico secundario, re trabajo de pulido. Se indica en el grafico el punto del inicio del estudio de las actividades de optimación por medio de la metodología DMAMC.	15
Figura 2. 1 PEPSU del proceso de soldado	18
Figura 2. 2 Diagrama de Ishikawa para identificación de las variables del proceso.....	19
Figura 2. 3 . Mapa del proceso a nivel local	20
Figura 2. 4 Resultados del análisis de varianza y gage R&R del sistema de medición de resistencia del equipo de pulido de Vertical Lap.....	26
Figura 2. 5 Sumario gráfico del estudio de capacidad del sistema de medición de Resistencia de equipos de pulido. La mayor variación del sistema proviene de la variación de parte a parte, concluyendo que se tiene un sistema de medición confiable para la ejecución de las siguientes etapas de análisis y mejora de este proyecto.	27
Figura 2. 6 Se presenta proceso de colección de datos, el cuál es una etapa de la metodología DMAMC en el análisis de los factores o X’s críticas del proceso en estudio [1].....	27
Figura 2. 7 Matriz de correlación que relaciona Rc métrico primario contra de los factores (X) descritos en la matriz de causa y efecto.	30
Figura 2. 8 Pruebas de proporciones para los factores X9 y X14, en su relación con el métrico secundario re trabajo de pulido, 0.10.	32
Figura 2. 9 Esquema general de la conformación de la capacidad de proceso de largo plazo a partir de los resultados de capacidad de corto plazo.	35
Figura 2. 10 Estudio de capacidad de proceso para el métrico de resistencia Rc de Vertical Lap, donde se calcula la condición inicial del proceso antes de la ejecución de las actividades de mejora por medio del proyecto.	36
Figura 3. 1. Proceso de simplificación de factores de variación a través de las fases MAMC, la etapa de pruebas de hipótesis se constituye como una parte medular en la simplificación de factores.	43
Figura 3. 2. Diagrama de flujo para la generación y análisis de pruebas de hipótesis.	44
Figura 3. 3. Esquema del fenómeno de holgura en el montaje de un aro de pulido de Vertical lap que termina como un corto-circuito.....	46
Figura 3. 4. Esquema para contención de holgura de alambre utilizado para la ejecución de la prueba de hipótesis sobre holgura de Lambaré y su efecto sobre de resistencia del elemento.	46
Figura 3. 5. Resultados de la prueba de Igualdad de Varianzas para la holgura de alambre de soldado ultrasónico.....	47
Figura 3. 6. Prueba de normalidad y Mann Whitney para igualdad de medianas de resistencia para de la validación del efecto de holgura de alambre sobre la desviación estándar de resistencia del elemento.....	48
Figura 3. 7. Prueba t para perdida de contactos de pulido validando el efecto de prevención de holgura en el proceso de Vertical Lap.	49

Figura 3. 8. Prueba de análisis de varianza para Rc de cuerdo al tipo de herramental de soldado ultrasónico usado en el proceso	50
Figura 3. 9. Prueba de proporciones para variación de contactos por el punto de soldado virtual en el proceso de soldado ultrasónico de Wire Bond. No es posible establecer una diferencia entre los grupos analizados.	51
Figura 3. 10. Esquema de fuerzas en el proceso de pulido de Vertical Lap y el efecto esperado de desplazamiento por baja adhesividad de la cinta de pulido.	52
Figura 3. 11. Análisis para la distribución de la perdida de contactos a través del proceso de Vertical Lap. ..	52
Figura 3. 12. Prueba de igualdad para perdida de contactos en pulido en función de la adhesividad de la cinta de pulido.	53
Figura 3. 13. Análisis de igualdad de varianzas por equipo de pulido de Vertical Lap.....	54
Figura 3. 14. Valor de Rc por canal control, equipo de pulido de vertical lap 855.	55
Figura 3. 15. Análisis de Pareto sobre las condiciones de falla en los equipos de Vertical Lap en el control de Rc por canal de pulido.	56
Figura 3. 16. Componentes elementales del sistema de pulido y componentes de fuerza ejercidos sobre alambre de soldado.....	58
Figura 3. 17. Prueba de normalidad para la distribución de delta de contactos eléctricos en pulido.	59
Figura 3. 18. Prueba de igualdad de varianzas y de igualdad de medianas para el delta de disponibilidad de contactos	60
Figura 3. 19. Esquematación del diseño de experimentos propuesto para la optimización de los factores significativos encontrados en el proceso.	62
Figura 4. 1. Representación general de un proceso o sistema, usado en la de determinación del modelo del diseño de experimentos a ejecutar.	64
Figura 4. 2. Modelo de experimentación para el proceso de wire Bond y Vertical lap.....	69
Figura 4. 3. Figura que representa la variación del factor X16 (tipo de tarjeta) con el espaciado entre pistas de soldad de acuerdo al tipo de tarjeta, incrementado el espaciado de 75 a 150.	67
Figura 4. 4. Prueba Anom para la proporción de contactos eléctricos en proceso de vertical lap por diseño de tarjeta de soldado.	68
Figura 4. 5. Sumario de resultados del experimento factorial para optimización de variables de soldado para control de desviación de estándar de resistencia en proceso de pulido de Vertical Lap.....	70
Figura 4. 6. y Figura 4. 7. Análisis multi - vari para el factor herramental de soldado (X3) en función de los puntos de operación del equipo de soldado de ultrasónico.....	70
Figura 4. 8. y Figura 4. 9. Análisis multi - vari para el factor tipo de tarjeta (X16) de soldado en función de los puntos de operación del equipo de soldado de ultrasónico.....	71
Figura 4. 10. Grafico multi - vari para Rc en función del tipo de nido de soldado y tipo de tarjeta de soldado.	72
Figura 4. 11. y Figura 4. 12. Gráficos de medias de desempeño por condición experimental para las variables de salida de desviación estándar de Rc y % de contactos eléctricos en pulido.	74
Figura 4. 13. Grafico de interacciones para diseño de experimentos para Y1 desviación estándar de Rc.....	75
Figura 4. 14. Modelo de optimización para el diseño de experimentos, incluyendo las respuestas Y1,Y2,Y3 desviación estándar de Rc, % de retrabajo y % de contactos eléctricos perdidos en proceso de pulido de vertical lap respectivamente.	78
Figura 5. 1 Grafico de cajas para la desviación Estándar de Rc, en función de las condiciones de los grupos de prueba.	82
Figura 5. 2 Resultados de análisis de varianza para prueba final de proceso donde (1) Condiciones optimas sin prevención de cortos, (2) Condiciones óptimas + prevención de cortos, (3) Proceso normal + prevención de cortos.	83
Figura 5. 3 Resultados de prueba de proporciones para la media de contactos perdidos en el proceso de pulido, donde (1) Condiciones óptimas sin prevención de cortos, (2) Condiciones óptimas + prevención de cortos, (3) Proceso normal + prevención de cortos.	84
Figura 5. 4 Resultados de prueba de proporciones para la media de contactos eléctricos al inicio de pulido donde: (1) Condiciones optimas sin prevención de cortos, (2) Condiciones óptimas + prevención de cortos, (3) Proceso normal + prevención de cortos.	85
Figura 5. 5 Resultados del análisis de regresión para los resultados de la desviación estándar de Rc en función de % contactos eléctricos iniciales	86

Figura 5. 6 Resultados del análisis de regresión para los resultados de la desviación estándar de Rc. % contactos eléctricos finales (fig. 5.5).	86
Figura 5. 7 Resultados del análisis de regresión para los resultados de la desviación estándar de Rc. Porcentaje de pérdida de contactos en pulido (fig. 5.6).	87
Figura 5. 8 Esquema representativo de elementos integrales (no siendo los únicos) de un plan de control de procesos.	90
Figura 5. 9 Casos de variación en procesos en función del tiempo, las distribuciones a lado izquierdo de la figura representale aso de un proceso donde sólo existen variaciones inherentes del proceso, las distribuciones de proceso en lado derecho de la figura representan el caso de un proceso que se encuentra sujeto a fuentes de variación especial.	95
Figura 5. 10 Diagrama de decisión para la selección de un gráfico de Control.	98
Figura 5. 11 Carta de control X-R para el porcentaje de contactos eléctricos perdidos a través del proceso de Vertical Lap.	99
Figura 5. 12 Tendencia del métrico primario desviación estándar de Rc durante la ejecución del proyecto.	103
Figura 5. 13 Tendencia de los niveles de retrabado de pulido en las 38 emanas de ejecución del proyecto.	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Factores de ponderación para la matriz Causa- Efecto.....	21
Tabla 2. 2 Matriz Causa – Efecto ponderada y ordenada.....	22
Tabla 2. 3 Tabla sumario de valores aceptados para los métricos de capacidad los sistemas de medición de variables continuas.....	23
Tabla 3. 1 Análisis de Modo y Efecto de Falla para el proceso de soldado (wire bond).....	41
Tabla 4. 1 Tabla sumario de los factores de estudio por medio del diseño de experimentos de Wire Bond Vertical lap.....	69
Tabla 4. 2 Sumario de resultados del experimento factorial para optimización de variables de soldado para retrabado de pulido de Vertical Lap.....	73
Tabla 4. 3 Sumario de resultados del experimento factorial para optimización de variables de soldado para el % de contactos eléctricos disponibles en Vertical Lap.....	73
Tabla 4. 4 Sumario de análisis de Varianza para desviación estándar de Rc.....	76
Tabla 5. 1 Tabla sumario de los factores de estudio por medio del diseño de experimentos de Wire Bond Vertical lap.....	81
Tabla 5. 2 Tabla sumario para el análisis de mejor ajuste de modelo lineal en función de las variables de disponibilidad de contactos donde (1) % de contactos eléctricos iniciales, (2) % contactos finales y (3) % de contactos perdidos en pulido.....	87
Tabla 5. 3 Resultados del modelo para desviación estándar de Rc a partir de las variables identificadas en el análisis de regresión para el mejor ajuste de modelo.....	88
Tabla 5. 4 Plan de control para el proceso de Vertical Lap.....	93
Tabla 5. 5 Condiciones de procesos típicas de desempeño de procesos.....	95
Tabla 5. 6 Elementos auditables por parte del proceso de auditoría del sistema de calidad.....	101
Tabla 5. 7 Ahorros por reducción en pérdida de resistencia, total anualizado año 2007 (en miles de dólares).	104

INTRODUCCIÓN

El mundo de los últimos tiempos se ha caracterizado por ser una época de transformaciones e implementaciones tecnológicas constantes. Todas ellas movidas por el afán del hombre de hacerse de los medios necesarios que hagan su vida más productiva, prospera y eficiente. La humanidad, siempre ha buscado transformar y aprovechar todo lo que al alcance tiene y a la par, desarrollar los elementos, que le permitan lograr dicho objetivo. Estos son los fundamentos característicos que han permitido al género humano alcanzar su actual grado de desarrollo.

Signo de tal desarrollo y de nuestros tiempos; resulta ser la industria de la electrónica. Nacida en los años posteriores a la segunda guerra mundial, ha experimentado un vertiginoso crecimiento en los años recientes. Hoy en día es una industria que representa miles de millones de dólares, a lo largo de todo el Mundo; significándose sin cuestionamiento, en el motor de avance fundamental de nuestra era, pues soporta la creación de otros ámbitos humanos de una forma ya prácticamente inseparable: la salud, la educación, la investigación científica, la alimentación, el arte, etc. Ligada a éste crecimiento, siendo parte del mismo unas veces, y convirtiéndose en motor de desarrollo propio en otras, la industria de los sistemas de almacenamiento de información; es en nuestros días una parte clave de tal desarrollo.

En éste entorno, en 1956, un grupo de ingenieros trabajando para la empresa IBM con sede en San José, California en los Estados Unidos, desarrollaba el primer sistema de almacenamiento de información: El RAMAC 305 (Random Access Method of Accounting and Control) que tenía la capacidad de almacenar 5 millones de caracteres (5 megabytes) de información en 50 discos de 24 pulgadas de diámetro cada uno. Sistemas como estos, dieron al mundo un primer acceso a la optimización de tareas comunes por computadora. Esta innovación hizo posible el uso de computadoras para reservaciones de avión, sistemas bancarios entre otros.

A través de 50 años de evolución continua, impulsada de forma importante por la creciente necesidad de supercomputadoras para la "Internet", y de la creación de sistemas de computo (personales o profesionales) capaces de manejar programas cada

vez más complejos; así pues las demandas de discos duros para computadora pueda alcanzar cantidades que superan los 200 millones de unidades por año [1].

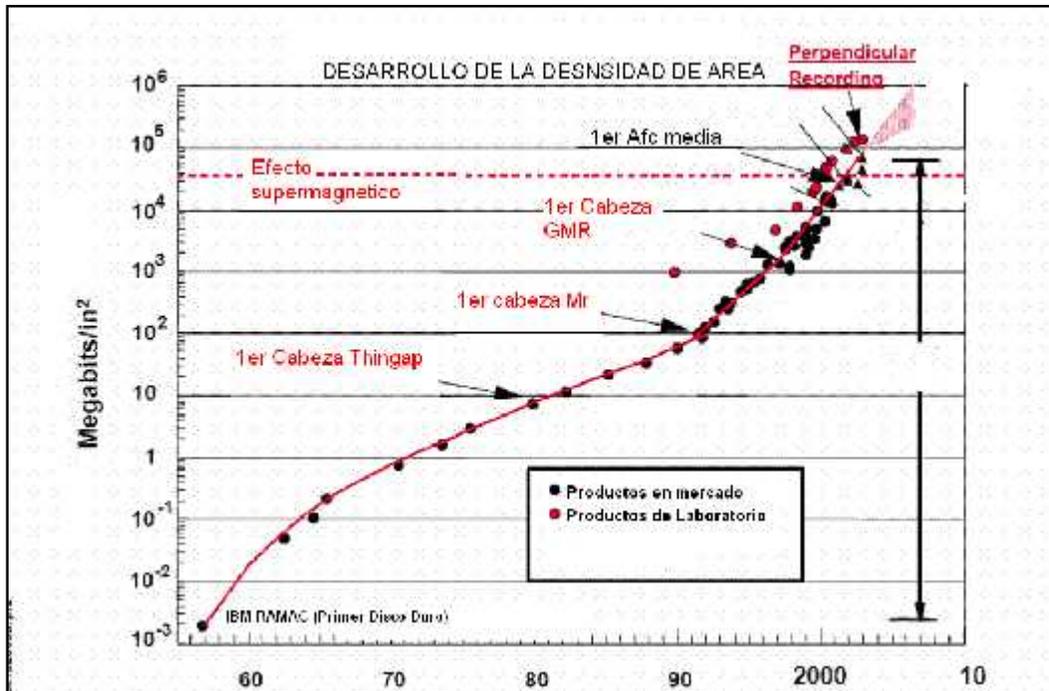


Figura 0. 1. La tecnología de las cabezas lectoras ha evolucionado. La era moderna de estas puede ubicarse en los años 80 con la aparición de los sistemas inductivos “Thin gap”, En los 90, los elementos semiconductores MR, como elementos sensores de lectura y escritura, permitieron incrementar de manera sustancial la densidad de área de un disco duro. Hoy en día, con anchos de pista de un disco duro inferiores a una micra, las cabezas lectoras con sensores GMR permiten ofrecer posibilidades de densidades de área mayores a 10 gigabytes/pulg².

Los discos duros magnéticos (HDD’s) continúan siendo una tecnología de almacenamiento de alto desempeño en términos del número de bytes procesados por año. Su éxito se basa en constante incremento de la demanda de capacidad de almacenamiento, aunada a una consistente reducción en el costo por megabyte almacenado a partir de ésta tecnología. La capacidad de estos sistemas desarrollados a partir de cabezas lectoras de alta tecnología (MR y GMR y TMR magneto resistivas y gigante magneto resistivas) continua creciendo y en los próximos años puede estimarse lleguen alcanzar una densidad de área de 40 Gbits/pulgada² como se muestra en la *Figura 0. 1.*

El proceso de fabricación de discos duros magnéticos (HDD), es subdividido en cuatro procesos de fabricación, que aunque ligados y dependientes entre sí, cada uno de estos requiere de tecnologías diferentes:

- Fabricación de Obleas.
- Fabricación de cabezas lectoras.
- Ensamble de las Suspensiones.
- Ensamble de discos duros.

El proceso de obleas, se encarga de la creación misma de la cabeza lectora. Los procesos de fabricación de las cabezas lectoras, dan forma a las cabezas de las obleas donde fueron generadas, estableciendo los parámetros mecánicos y eléctricos que le permitirán cumplir su función dentro de un disco duro. La etapa de ensamble de suspensiones une las cabezas a mecanismos de sujeción dinámica (suspensiones), que serán finalmente usados en las fabricas de ensamble de discos duros que en la parte final de la cadena del sistema de producción, dan vida a un sistema de almacenamiento de información, o en otras palabras un disco duro (HDD).

Contexto del proyecto.

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. Ello se traduce en la demanda constante de productos que puedan cumplir la expectativa de su mercado. Dicha transformación se pone de manifiesto en la continua necesidad de mejorar los equipos y procesos, con el fin de alcanzar los estándares que dicta la industria en un cambiante entorno, con un enfoque en mejorar continuamente en costos de producción, y eficiencia de fabricación o “yield”.

El presente proyecto analiza las fuentes de variación de un proceso integrante de la cadena de fabricación de cabezas magnéticas, o “Slider Fab”, ubicado en la etapa de Fabricación Fab 1.

El proceso de Fab, consiste de 3 áreas de fabricación:

- **Fab 1** (punto de ubicación de este proyecto), conformado por procesos de pulido y corte.
- **Harmony**, conformado por procesos foto químicos, responsables de la conformación aerodinámica de las cabezas lectoras.
- **Fab 2**, conformado por procesos de corte e inspección.

Fab 1 a su vez, se divide en cuatro sub procesos, que se esquematizan en la *Figura 0. 2*

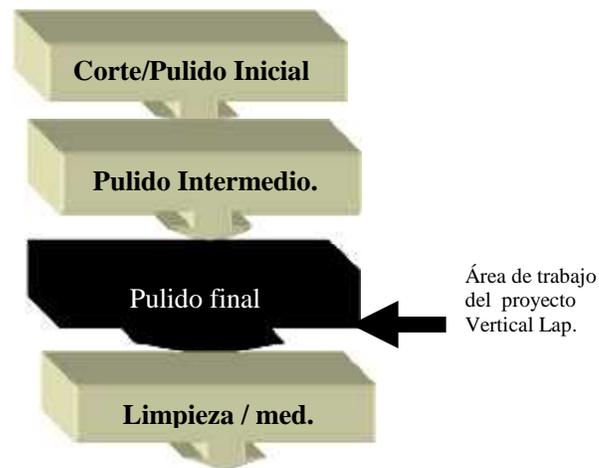


Figura 0. 2. *Etapas del proceso de fabricación de cabezas lectoras Fab 1.*

El presente trabajo ejemplifica lo anterior, concentrándose en un proyecto de mejora del proceso en la etapa de pulido final en Fab 1, o Vertical Lap (la etapa de proceso de este trabajo se indica en el esquema anterior).

Objetivos generales.

El proyecto se centra en la optimización del proceso de pulido y los objetivos planteados son:

- Por medio de la metodología DMAMC, se estudian y analizan las fuentes de variación del proceso de Vertical Lap, en un ambiente de manufactura, que afectan los resultados del control de resistencia en la fabricación de cabezas lectoras para discos duros, que logre minimizar la pérdida de scrap por resistencia eléctrica del elemento por debajo de un objetivo límite de 6%.

- Los resultados y conclusiones del proyecto se llevan a la práctica, quedando documentados dentro del plan del control del proceso de Vertical Lap.

El proyecto se encontrará dividido en cinco capítulos.

En el **Capítulo I** se realiza una Definición del problema y se establece el alcance y las áreas de enfoque del problema al definirse los métricos primarios, secundarios y de consecuencia del proceso.

En el **Capítulo II** se realiza la etapa de Medición, donde se identifican los factores probables que intervienen en la variabilidad del proceso respecto de la variable salida, Resistencia del proceso, se ejecuta el estudio del sistema de medición de Resistencia, fundamental para el control del proceso y se ejecuta un estudio de capacidad del proceso.

En el **Capítulo III** se ejecuta la etapa de Análisis, mediante el uso de pruebas de hipótesis, se estudiarán los factores o X's críticas del proceso en relación con el control del parámetro resistencia, según se identifican en la etapa de medición, para terminar identificando los factores fundamentales del proceso sobre los cuales se procederá a la ejecución de mejoras de proceso.

En el **Capítulo IV**, Mejora, el equipo determinará la relación causa-efecto (relación matemática entre las variables de entrada y la variable de respuesta Resistencia en el caso del proyecto) 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.

En el **Capítulo V**, Control, en función de las conclusiones obtenidas en las fases de Análisis y Mejora, se concluirá con los cambios requeridos al sistema de control del proceso de Vertical Lap, realizándose también la actualización del plan del control de proceso, llevando las mejoras y recomendaciones obtenidas a través del proyecto, a su documentación para que sean llevadas a la práctica por el equipo de manufactura responsable de la fabricación del proceso.

Para finalizar en el capítulo VI, se documentan las conclusiones y recomendaciones finales del proyecto.

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. 3* muestra los pasos necesarios de una manera grafica.

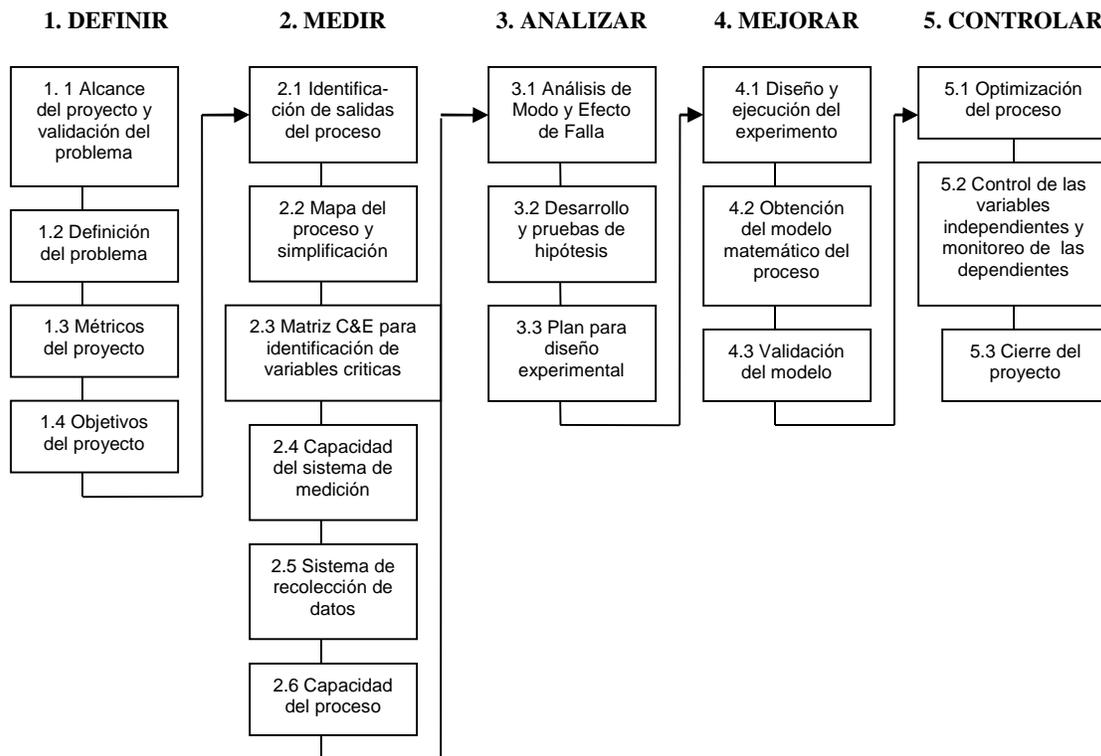


Figura 0. 3. Pasos de implementación de la metodología “DMAMC”

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

1.1 Alcance del proyecto y validación del problema

El proceso de Vertical Lap, en el que se circunscribe el trabajo, resulta ser una evolución de los sistemas de pulido para cabezas lectoras, en medios abrasivos a base de diamante. El trabajo de desarrollo de Vertical Lap, se centro en una optimización del control sobre el parámetro de resistencia eléctrica del elemento magneto resistivo (Rc) de la cabeza, el cuál es determinante para su desempeño, y el cuál; en esta parte del proceso de fabricación, determina una pérdida significativa de “scrap” al tenerse material fuera de la especificación del producto.

Año	Nombre del Proceso	Pasos de Proceso	Sigma de Rc (ohm) / % scrap por resistencia.	Cambio en el proceso
1997	Abs Lap	1	> 15 → 20 %	Proceso inicial de pulido para la fabricación de cabezas lectoras.
1999	Kiss Lap	2	~ 15 → 15%	Se incluye una etapa de pulido final.
2002	Xifp Lap	2	13 → 13%	Disminución la dimensión de partícula diamante 0.75um a 0.175 um.
2004	SRK Lap PPL	3	10 → 10%	Se agrega una etapa de pulido final.
2005	Wire Bond SRK LAP	4	8 → 8%	Se agrega proceso de soldado ultrasónico al control de pulido.
2006	Vertical Lap	3	< 6 → <= 5%	Se elimina proceso Kiss Lap y se utiliza partícula de diamante a 0.15 um.

Tabla 1. 1. Sumario histórico de los cambios de proceso ejecutados en los sistemas de pulido en el proceso de fabricación de cabezas lectoras.

En la *Tabla 1. 1* es mostrado un sumario de los cambios de proceso ejecutados en los sistemas de pulido para cabezas lectoras en Fab1 Hitachi, y las pérdidas por “scrap” típicas de estos procesos una vez en manufactura. Es de destacar, que una gran parte de los esfuerzos de desarrollo en los procesos de fabricación de cabezas lectoras, se ha establecido en los procesos de pulido, al ser la resistencia, como ya se ha mencionado una los factores mayores de pérdida de “scrap” dentro del proceso integral de fabricación de estas.

1.1.1 Alcance

El Alcance del proyecto, se centra en el uso de la metodología DMAMC para la optimación de las variables del proceso de pulido Vertical Lap sobre el control el parámetro de resistencia eléctrica del elemento MR, y que afectan la dispersión y desviación estándar del parámetro Resistencia del elemento. Por el uso de la metodología, se definirán los métricos primarios y secundarios y de consecuencia del proyecto, sobre de los cuales se realizarán los estudios de mejora con la aplicación de la metodología.

Se hará referencia en el trabajo al proceso de desarrollo de Vertical Lap y sus objetivos de mejora en el parámetro de Resistencia. No será parte de éste alcance la mejora del desarrollo de éste proceso.

1.2 Definición del problema

El desarrollo e implementación del proceso de Vertical Lap, siguió un trabajo de 12 meses entre los años 2005 y 2006. El objetivo fundamental de éste desarrollo, se centró en la mejora y el control del parámetro resistencia de la cabeza MR, y la consecuente minimización de la pérdida de scrap de éste valor.

Dentro de los objetivos específicos del proceso de Vertical Lap, se definió el de mantener un valor de:

Desviación Estándar de Rc del elemento 6 ohm.

Traduciendo éste en pérdida de scrap de resistencia, dicha mejora representaría una mejora de 37.5%, al llevar la pérdida histórica por resistencia del elemento por condiciones fuera de especificación, desde un nivel de 8% con el proceso antecedente o en reemplazo de PPL (ver tabla 1.0), a un nivel de 6% o inferior después de Vertical Lap.

La especificación del producto para el parámetro resistencia en Vertical Lap se establece como:

$$\mathbf{Tgt\ X = 55\ ohms\ \quad LIE = 25\ ohms\ \quad LSE = 80\ ohms.}$$

A lo largo del desarrollo de Vertical Lap, los valores de la desviación estándar del parámetro de resistencia, alcanzaron en diferentes etapas de prueba los valores deseados. Un fenómeno observado sin embargo, fue el que la desviación estándar de Rc no mantuvo una estabilidad dentro del valor límite esperado de 6 ohms. En diferentes pruebas de producto durante las fases de calificación del proceso, se observó una desviación estándar por encima de 9 ohms, es decir por encima del objetivo, y en otras, el proceso se mantuvo dentro del objetivo. Las causas de dicha variación durante la fase de desarrollo no se concluyeron sobre los factores que influyeron en dicha variación.

Las condiciones de desempeño para el período de trabajo comprendido entre Junio y Agosto del 2005 se muestran en la figura 1.1; punto donde se inicia el desarrollo de éste trabajo. De esta base se realiza el cálculo del intervalo de confianza para la desviación estándar de Rc, teniendo que para un nivel de confianza de $\alpha = 0.05$:

$$\mathbf{C.I = \frac{(n-1) S^2}{\chi^2_{/2, n-1}} \quad \leq \quad \sigma^2 \quad \leq \quad \frac{(n-1) S^2}{\chi^2_{/2, n-1}} \quad [Ec. 1.1]}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

S² = la varianza de la muestra

De [Ec. 1.1], es posible calcular a partir de los datos mostrados en la *Figura 1. 1*, que el intervalo de confianza $[\sigma_1, \sigma_2]$ ó $\sigma_1 \leq \sigma \leq \sigma_2$, de la desviación estándar de Rc es $[6, 11]$ ohms.

1.2.1 Definición

El problema del Proyecto, se establece por el hecho de tener un desempeño de sigma de RC 6 ohms, por encima del objetivo inicial del proceso de Vertical Lap defendido en la fase de desarrollo del proyecto.

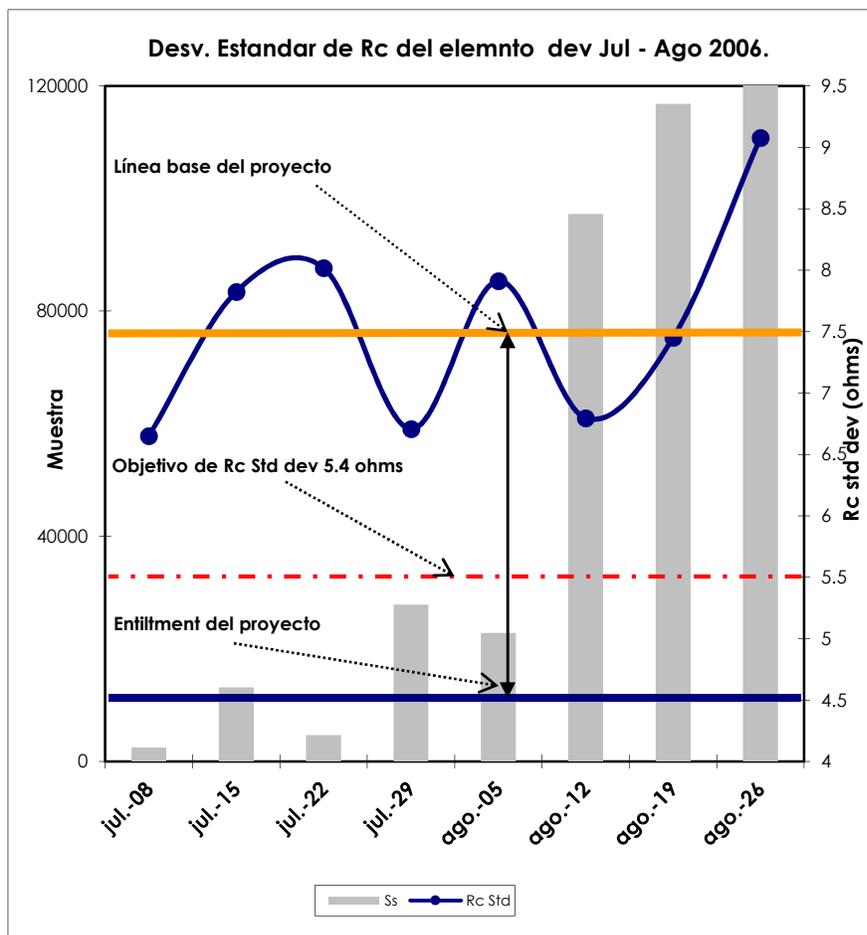


Figura 1. 1 Tendencia semanal del proceso de vertical Lap en el periodo entre Julio 02 y Agosto 26 del 2006, sobre el cual se calcula la línea base del proyecto de esta tesis, igual al promedio de la desviación estándar diaria del proceso en el período = 7.5 ohms.

1.2.2 Baseline o línea base

El cálculo de la σ de la línea base del proyecto, se calcula en el período entre Julio y Agosto del 2006, al obtenerse la sigma promedio de la desviación estándar de la resistencia del elemento. Este se indica la grafica de la *Figura 1. 1*

Línea Base = 7.5 ohms.

El cálculo del objetivo del proyecto resulta ser el diferencial establecido entre la línea base del proceso al compararse contra su “entitlement” (él mejor nivel alguna vez observado por el proceso) en un % de alcance de 70%, según la recomendación del BMG University para el proyectos de DMAMC.

Entitlement del proyecto

Continuando con el establecimiento de las bases que permitan la definición de el objetivo del proyecto, conforme al uso de la metodología DMAMC, el “entitlement” se define como el mejor nivel de proceso alguna vez observado por el proceso con referencia métrico primario. En el caso del presente proyecto, el mejor nivel de R_c , se obtuvo para una prueba de producto:

= 4.5 ohms.

Conforme con el uso de la metodología DMAMC, el uso del entitlement en el establecimiento del objetivo del proyecto, se utiliza de modo que se compare el desempeño actual de un proceso, para su métrico primario, contra el mejor nivel alguna vez observado por dicho proceso. El cálculo del objetivo se establece según la ecuación 1-1, de acuerdo a DMAMC bajo recomendación de BMG University para manejo de proyectos 6 sigma. Para el caso del presente proyecto, el “entitlement” proviene del valor obtenido para la R_c de Resistencia del elemento en una prueba de calificación del proceso de Vertical Lap en Hitachi en Junio del 2005.

Este valor es indicado también indicado en el grafico de la *Figura 1. 1*, y se compara contra el valor de la línea base del proyecto.

1.3 Métricos del proyecto

- **Métrico Primario.** En la sección previa, se discutió respecto de **de Rc del elemento MR** en el proceso de Vertical Lap. Dicha variable se define entonces como el Métrico principal respecto del presente proyecto de tesis.
- **Métricos secundarios** del proyecto, aquellos sobre los cuales es posible esperar alguna mejora a consecuencia de las acciones que se apliquen en el proyecto. Se establecen 2 métricos secundarios que presentan una relación directa con la productividad del proceso de Vertical Lap y el costo de fabricación del mismo.

Nivel de Perdida de Yield por resistencia en el proceso de pulido de Vertical Lap.
% de re trabajo en el proceso de pulido de vertical lap.

- **Métrico financiero** Se establece como el costo de fabricación de la cabeza lectora en función del nivel de scrap de resistencia durante el proceso de pulido de vertical lap.
- **Como métricos de consecuencia del proyecto,** es decir, aquellos en los cuales podría tenerse alguna afectación como resultado de las acciones definidas a lo largo de la ejecución de este trabajo en las fases de Análisis, Mejora y Control. En adición al ajuste del valor de resistencia del elemento magneto resistivo (Rc), en el proceso de pulido de la cabeza en Vertical lap, se establecen también la mayoría los parámetros críticos que determinarán las características de estabilidad aerodinámica, estabilidad eléctrica de lectura y escritura, y confiabilidad de la cabeza lectora.

Parámetro.	Descripción.
Resistencia de la cabeza lectora	Valores de Resistencia el elemento MR.
Geometría de elementos sensores definidos Recesión y Protrusión	Índices de deformación geométrica de los elementos de lectura y escritura de la cabeza.
Geometría física de la cabeza, planicidad, crown, roll off.	Valores de la planicidad y linealidad de la cabeza.

Calidad de superficie del elemento.	Índice del nivel de daños físicos en el elemento.
--	---

Tabla 1. 2. *Parámetros secundarios inherentes al proceso de pulido en Vertical Lap.*

En secuencia con el uso de la metodología DMAMC, análisis sobre estos parámetros serán incluidos como parte del estudio en las fases de análisis y mejora, y debe de analizarse y demostrarse que no existe un impacto inherente en ellos a partir de los trabajos de mejora que se aplican como parte de éste proyecto en el proceso. En la *tabla 1.2*, se describen estos métricos, mostrándose también una descripción gráfica de los mismos en la *Figura 1. 2*, donde en forma general se indica su interacción al tener la cabeza magnética ensamblada como parte del disco duro.

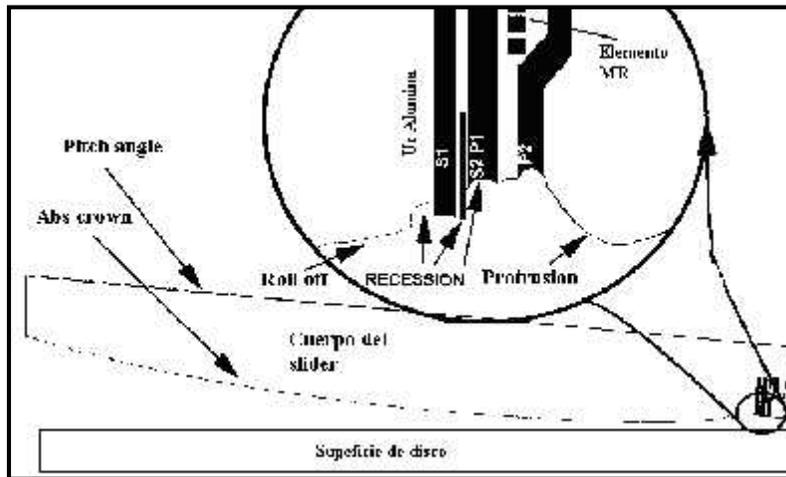


Figura 1. 2 *Esquema general de una cabeza magnética sobre un disco duro, con la representación de parámetros mecánicos fundamentales. Los más de estos son controlados y afectados en el proceso de Vertical Lap y serán métricos de consecuencia del proceso, en adición al del métrico primario de Rc resistencia del elemento MR.*

En la *Figura 1. 3* es mostrada la tendencia del métrico secundario re trabajo de pulido en Vertical Lap. Un nivel por debajo 10%, es fijado como objetivo del proyecto, y representa en conjunto a la mejora del scrap por resistencia del elemento, el métrico en segundo orden de importancia sobre los cuales el proceso de fabricación tendría un impacto en costo de producción directo como resultado de la aplicación del presente trabajo.

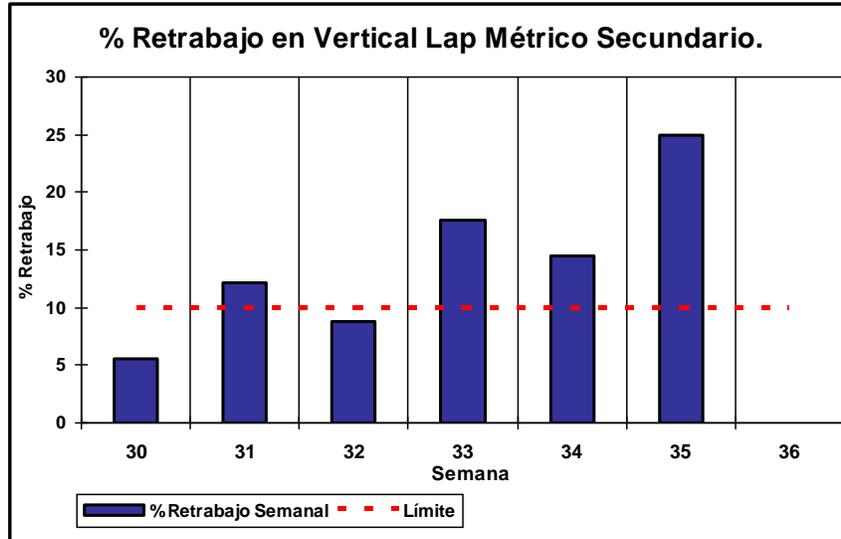


Figura 1. 3 *Tendencia del métrico secundario, re trabajo de pulido. Se indica en el grafico el punto del inicio del estudio de las actividades de optimación por medio de la metodología DMAMC.*

Se destaca de la tendencia mostrada en la *Figura 1. 3* el hecho de que los niveles de re trabajo en el período previo al inicio del desarrollo de este trabajo, alcanzaron niveles 20%. Esto representaba de manera directa un impacto a la capacidad productiva del proceso de Vertical Lap, y como se indicaba, este métrico se constituye por este hecho como el segundo en importancia en el desarrollo de este trabajo de 6 sigma.

Con la definición de los métricos, primarios, secundarios y métricos de consecuencia, es cubierta de acuerdo a la metodología DMAMC la definición del conjunto de métricos fundamentales del proceso, sobre los cuáles se desarrollarán los análisis y estudios de mejora que conformarán la parte central de éste trabajo en las fases Medición, Análisis, Mejora y Control.

1.4 Objetivo del proyecto

Se define el objetivo del proyecto, como: La aplicación del método DMAMC, como metodología aplicable para la optimización de procesos de fabricación según el método de calidad de Hitachigst, para su aplicación en sus fases de definición, medición, análisis,

mejora y control respecto de las fuentes de variación inherentes al proceso de Vertical Lap, que permitieron lograr un nivel de desviación estándar del parámetro de Resistencia eléctrica del elemento, **5.4 ohms.**

El objetivo de 5.4 ohms, se obtiene de DMAMC a través de:

$$\text{Objetivo} = \text{Línea Base} - [(\text{Entitlement}) (0.70)] \quad [\text{Ec. 1.2}]$$

Donde:

- Objetivo = Desviación estándar objetivo del proyecto.
- Línea Base = Desviación estándar de la línea base del proyecto.
- Entitlement = Desviación estándar del desempeño observado en el proceso.

Teniendo definidos los valores de línea base y Entitlement, se hace uso de la [Ec. 1.2], teniéndose el cálculo del objetivo del proyecto

$$\text{Objetivo} = 7.5 - [(4.5) (0.70)] = 5.4 \text{ ohms.}$$

Con lo anterior, y de acuerdo al seguimiento de DMAMC, queda definido el objetivo y los métricos sobre los cuales se desenvuelve el desarrollo de éste proyecto. Las conclusiones obtenidas han sido y serán aplicadas al continuo proceso de fabricación de cabezas lectoras en la etapa de pulido en el proceso de Vertical Lap.

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

PEPSU.

Proveedor, Entradas, Proceso, Salidas, Cliente



Figura 2. 1 PEPSU del proceso de soldado

Contribución de la Desviación estándar de Resistencia en Vertical Lap

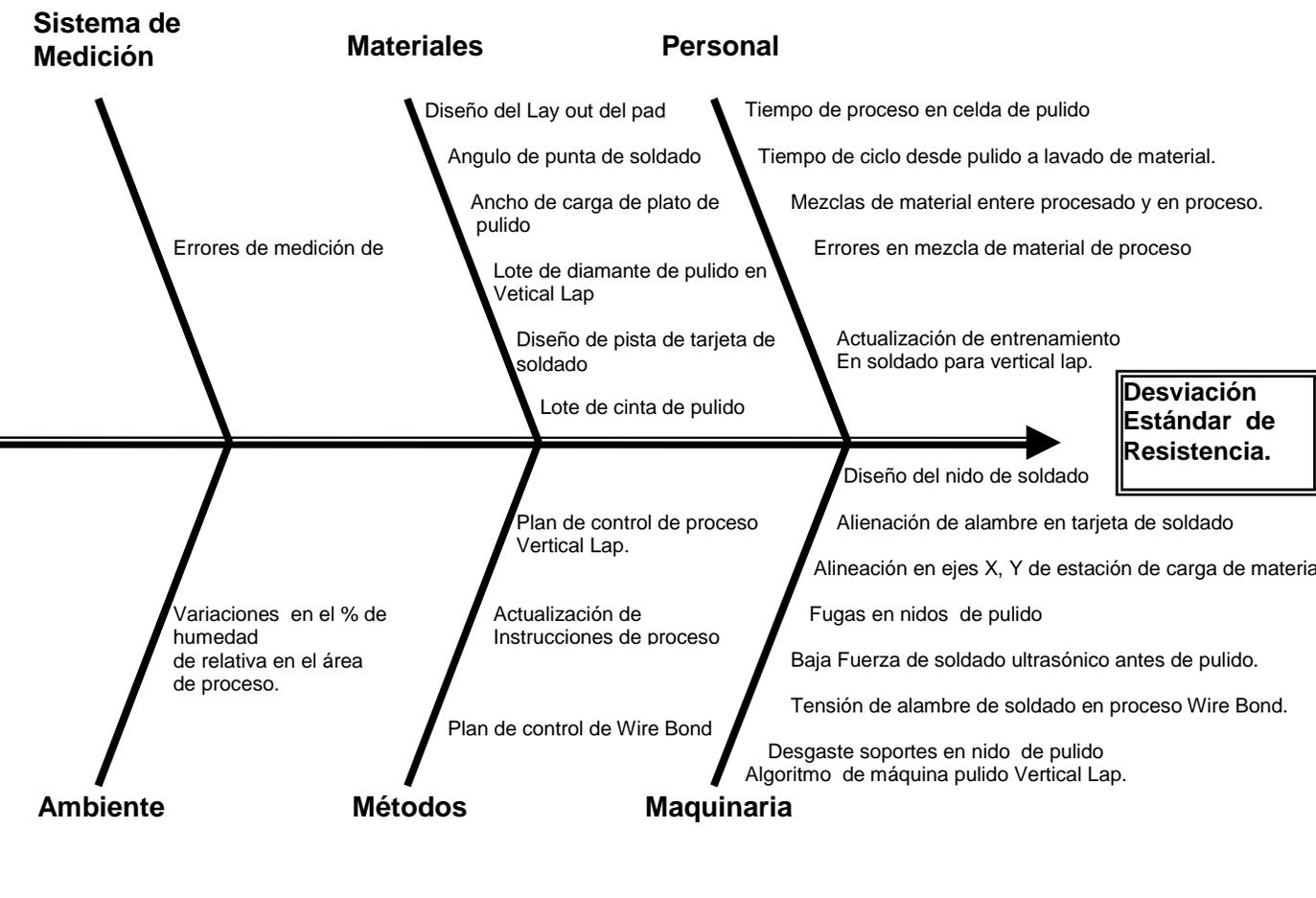


Figura 2. 2 Diagrama de Ishikawa para identificación de las variables del proceso

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 Ishikawa (C&E), se muestra en la *Figura 2. 2*.

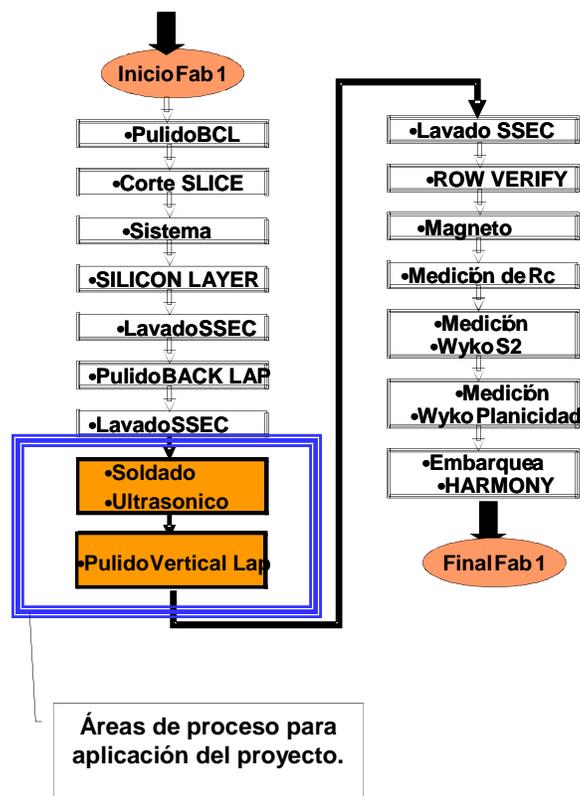


Figura 2. 3 . Mapa del proceso a nivel local

En el diagrama de causa-efecto obtenido se aprecia un número considerable de variables (agrupadas en cada una de las categorías) pero también se señalan las variables más importantes (identificadas durante la práctica 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”.

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. El cuadro resaltado en color azul indica la parte del proceso, clave en este proyecto y que será el proceso a mejorar. El resto de los bloques del diagrama indica los procesos complementarios previos y posteriores al proceso en análisis.

2.3 Matriz causa-efecto para identificación de variables críticas

Los objetivos de crear la 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.

Desde 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 [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. En la tabla, es mostrada la ponderación para el ejercicio del proyecto, donde se muestran los 14 factores con mayor importancia (X's críticas), sobre las cuales será realizada la parte central de las pruebas de hipótesis en la fase Análisis, para la mejora de la desviación estándar de la Rc del elemento como factor primario del proyecto.

Matriz Causa y Efecto.

14 Variables críticas Identificadas

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	#	#	#	#	#	#	#	
		Rc X	Rc sigma	Retrabajo Pulido	Ciclo Incompleto de	Tiempo de ciclo pulido	Faceta en material	Residuo de soldado tipo II										
		Prioridad	4	9	9	6.5	4	4	9									
X#	Paso de Proceso	Factor															Total	
1	Equipo de soldado	Holgura de alambre	1	9	9	9	0	0	1									233.5
2	Base de pulido	Fugas en base de pulido	1	9	4	4	9	9	0									219
3	Equipo de soldado	Tipo de nido de soldado	4	4	9	9	4	0	1									216.5
4	Equipo de soldado	Punto de soldado virtual en equipo de soldado	1	4	9	9	0	0	4									215.5
5	Plato de pulido	Rayaduras en platos de pulido	4	9	4	9	4	1	0									211.5
6	Película de pulido	Adhesividad de película de pulido	1	4	9	9	1	4	0									199.5
7	Equipo de pulido	Altura del nido de pulido.	1	9	4	4	4	9	0									199
8	Equipo de pulido	Fallas en el transductor de presión de equipo de pulido.	1	9	4	4	4	9	0									199
9	Equipo de soldado	Angulo de entrada de alambre de soldado	1	4	9	9	1	1	1									196.5
10	Estación de carga de soldado	Alineación en eje X	1	4	9	9	1	1	1									196.5
11	Película de pulido	Tensión de la cinta de pulido	1	4	9	9	1	1	1									196.5
12	Estación de carga de soldado	Alineación en eje Y	1	4	4	4	9	9	1									183
13	Equipo de soldado	Fuerza de soldado	0	4	4	4	0	0	9									179
14	Equipo de soldado	Presión de la guía de soldado	0	4	4	4	0	0	9									179
15	Equipo de soldado	Ancho de punta de soldado	0	4	9	4	0	0	4									179

Tabla 2. 2 Matriz Causa – Efecto ponderada y ordenada

2.4 Capacidad de los sistemas de medición

Como parte del uso de la metodología DMAMC, la valoración de la capacidad del sistema de medición, o más en concreto el establecer si en el proceso en estudio se cuenta con un

sistema de medición confiable para el métrico primario, es determinante pues la validez de las pruebas hipótesis que realizarán en las fase de análisis y mejora, depende de la existencia de un sistema de medición que sea estadísticamente confiable. En la práctica, un proyecto de mejora basado en la metodología DMAMC no puede continuarse hasta no probar la validez de la capacidad de su sistema de medición.

En el establecimiento de la capacidad de un sistema de medición, se establecen las siguientes características en la determinación de su capacidad.

- **Resolución.**
 - ✓ Numero de distintas categorías que el sistema es capaz de manejar.
- **Precisión.**
 - ✓ Polarización (Desviación).
 - ✓ Linealidad.
 - ✓ Estabilidad.
 - ✓ Correlación.
 - ✓ Repetibilidad.
 - ✓ Reproducibilidad.

Condición	Contribución (%TV)	P/TV (%R&R)	P/T tolerancia
Bueno	< 1%	< 10%	< 10%
Marginal	1 – 9 %	10 – 30%	10 – 30%
Invalido	> 9%	> 30%	> 30%

Tabla 2. 3 *Tabla sumario de valores aceptados para los métricos de capacidad los sistemas de medición de variables continuas.*

Al igual que en la definición de los diferentes tipos métricos que pueden encontrarse como parte de un proyecto DMAMC, variables discretas y variables continuas; los sistemas de medición se dividen en sistemas de medición para variables discretas y sistemas de medición para variables continuas. Con esto el tipo de estudio de capacidad aplicable dependerá en igual manera del tipo de variable con la cual se está trabajando, es decir estudio de capacidad de un sistema de medición para variables discretas, o el estudio de capacidad para un sistema de medición de variables continuas. Para el caso en estudio, el métrico primario de la desviación estándar de resistencia R_c , resulta ser una variable

del tipo continuo, el estudio de capacidad de su sistema de medición aplicable para variables continuas es el estudio de análisis de varianza del sistema de medición.

En la *Tabla 2. 3* Se indica el criterio convencional establecido por la metodología DMAMC [1] para la validación de la capacidad de los sistemas de medición a partir del método del análisis de varianza, aunque de industria a industria y de compañía a compañía es posible que variaciones sobre estos criterios puedan ser establecidos, esta referencia es considerada como válida para la aceptación o rechazo de un sistema de medición. En la tabla son indicados los métricos clave que definen la validez del sistema, a continuación se definen estos.

$$P = 6 \times \sigma_{SM} = 6 \times \sigma_{SM} \quad [Ec. 2. 1]$$

Donde:

P= Precisión del sistema de medición.

σ_{SM} = Desviación estándar del sistema de medición.

El valor de +/- 3 veces la desviación estándar, como se indica en la [Ec. 2.1] representa la dispersión completa (99,7%) de la variación del sistema de medición. Históricamente algunas industrias han utilizado el valor de 5.15 en lugar de 6. Para una distribución normal 5.15 representa un 99% de la distribución. En términos prácticos es posible utilizar cualquiera de estos valores que vaya acorde con las prácticas de calidad de la compañía de donde se lleva a cabo el proyecto 6 sigma, o la valoración ejecutada por el equipo a cargo del proyecto. Para presente proyecto se utilizara el valor de 6 para el análisis del sistema de medición [1].

El métrico P/T, se utiliza para definir si el sistema de medición, es capaz de determinar si las partes medidas se encuentran dentro de los límites de especificación del proceso. En la [Ec. 2.2] se indica el cálculo de P/ T, este valor es representado como porcentaje, teniendo como mejor caso un valor de P/T < 10%, y un valor aceptable máximo de P/ T < 30% [1].

$$P / T = 6 \times \frac{\sigma_{SM}}{LSE - LIE} \quad [Ec. 2. 2]$$

Donde:

P = Precisión del sistema de medición.

T = Tolerancia del proceso.

LSE = Límite superior de especificación.

LIE = Límite inferior de especificación.

El métrico P/TV (precisión sobre el rango total de variación) establece la relación de la fracción de la variación total tomada por la variación del sistema de medición. Para éste métrico, es considerado como mejor caso cuando se tiene un $P/TV < 10\%$, y como el caso máximo aceptable cuando $P/TV < 30\%$. P/TV se define en la ecuación y $\%R\&R$ se definen en las ecuaciones [Ec. 2.3] y [Ec. 2.4] [1]:

$$P/TV = \frac{6 \times \sigma_{SM}^2}{6 \times \sigma_{TOT}^2} = \frac{6 \times \sigma_{SM}}{6 \times \sigma_{TOT}} = \frac{\sigma_{SM}}{\sigma_{TOT}} = \frac{\sigma_{SM}}{\sigma_{HIST}} \quad [Ec. 2. 3]$$

$$\%R\&R = P/TV \times 100\% = \left(\sigma_{SM} / \sigma_{HIST} \right) \times 100 \% \quad [Ec. 2. 4]$$

Donde:

P = Precisión del sistema de medición.

TV = Variación total del proceso.

%R&R = Métrico de reproducibilidad y reproducibilidad.

σ_{SM} = Desviación estándar del sistema de medición.

σ_{TOT} = Desviación estándar total del proceso.

$\sigma_{HIST.}$ = Desviación estándar histórica del proceso.

% de Contribución o %TV, se define como el % de la varianza total del proceso sistema que es debida al sistema de medición dividida entre la repetitibilidad y reproducibilidad de este. En la ejecución del estudio, este métrico es el de mayor representatividad para la aceptación o rechazo del sistema. Se establece como valido un sistema de medición con un valor de $\%TV < 1\%$, se tienen un sistema marginal cuando $\%TV > 1\% < 10\%$ [1]. Un sistema de medición con $\%TV > 9\%$ es considerado como Invalido, y deberían de ejecutarse acciones específicas para la mejora del sistema antes de la continuación del proyecto 6 sigma.

Ejecución del estudio de capacidad del sistema de medición.

La prueba se realiza para ejecutar la comparación de sistemas de medición de varios equipos de pulido en el proceso. El factor equipo de pulido de Vertical Lap es reemplaza al de operador al ser el equipo en sí una fuente mayor de variación. Diez partes de proceso son medidas 3 veces en 4 equipos diferentes de pulido de Vertical Lap.

Los del estudio de R&R, se muestran en las graficas del las *Figura 2. 4* y *Figura 2. 5*. El resultado del estudio indica un valor de R&R de 0.01, estableciendo que el % de contribución del sistema de medición es 1%. El % mayor de contribución de la variación proviene de la variación establecida entre las partes de proceso utilizadas en el estudio. Con esto se establece que el sistema de medición de Resistencia del elemento en los equipos es capaz y valido para la ejecución del proceso y pruebas de hipótesis parte de este proyecto.

2-Way ANOVA Table con Interacción						Gage R&R		
Fuente	DF	SS	MS	F	P	Fuente	VarComp	%Contribucion (of VarComp)
Parte	10	9758.17	975.817	95334.4	0.003	Total Gage R&R	0.0099	0.01
Equipo Y Lap	3	0.63	0.209	20.5	0.003	Repetitibilidad	0.0007	0.00
Parte * Y Lap	30	0.31	0.010	13.7	0.003	Reproducibilidad	0.0092	0.01
Repetitibilidad	38	0.07	0.001			Equipo Y Lap	0.0060	0.01
Total	131	9759.17				Ylap * Parte	0.0032	0.00
						Parte- a - Parte	81.3172	99.99
						Variacion Total	81.3271	100.00

Fuente	StdDev (SD)	Estudio Var (s²)	%Study Var (%EV)	%Tolerancia (5σ/Toler)
Total Gage R&R	0.05971	0.5900	1.11	1.30
Repetitibilidad	0.02706	0.1543	0.30	0.27
Reproducibilidad	0.05538	0.5753	1.06	0.76
Y lap	0.07757	0.4560	0.86	0.78
Y lap*Parte	0.05632	0.3373	0.62	0.56
Parte a Parte	0.01750	54.1356	99.99	90.18
Variacion Total	0.01816	54.1389	100.00	90.18

Figura 2. 4 Resultados del análisis de varianza y gage R&R del sistema de medición de resistencia del equipo de pulido de Vertical Lap

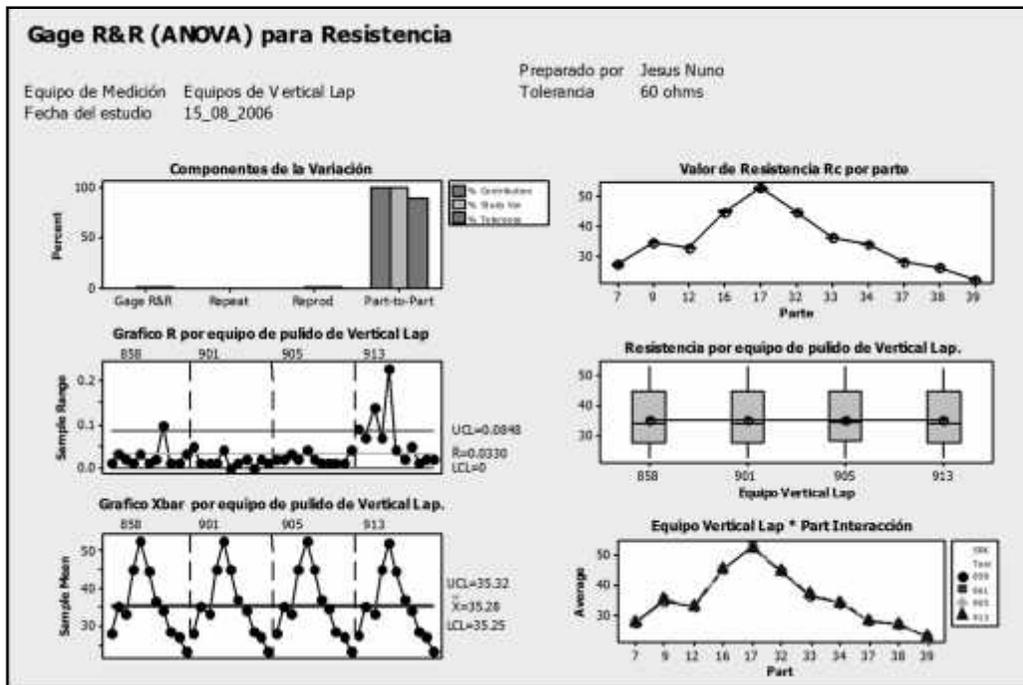


Figura 2. 5 Sumario gráfico del estudio de capacidad del sistema de medición de Resistencia de equipos de pulido. La mayor variación del sistema proviene de la variación de parte a parte, concluyendo que se tiene un sistema de medición confiable para la ejecución de las siguientes etapas de análisis y mejora de este proyecto.

2.5 Sistema de recolección de datos.



Figura 2. 6 Se presenta proceso de colección de datos, el cuál es una etapa de la metodología DMAMC en el análisis de los factores o X's críticas del proceso en estudio [1].

En la fase de Medición, y como una consecuencia de lo analizado y establecido a través de los diagramas de Ishikawa y de causa efecto, que concluyen sobre las X's críticas o determinantes del proceso sobre las cuales se realizará el estudio central del proyecto (Figura 2. 6). En éste sentido y por medio de la recolección de datos se podrá realizar un

primer análisis de estas, y sus relaciones con las variables críticas de salida, que dará como un resultado de este, una siguiente etapa de discriminación de estas o X's críticas del proceso. De modo que al llegar a las fases de análisis y mejora, sean abordadas de un modo central y de modo enfocado al haberse cernido ya ideas claras de estas en esta etapa.

X#'	Descripción.	Etapa de Proceso
X1 Holgura de alambre	Tensión ejercida en el alambre de soldado	Soldado Ultrasónico
X6 Adhesividad Película Pulido	Número de corridas de la cinta de pulido.	Pulido de material.
X9 Angulo de entrada de alambre	El ángulo de entrada de soldado	Soldado Ultrasónico
X10 Alineación carga en X	Valor de alineación en eje X en carga de soldado	Carga para soldado.
X12 Alineación carga en Y	Valor de alineación en eje Y en carga de soldado	Carga para soldado.
X13 Fuerza de soldado	Fuerza resultante de soldado ultrasónico	Soldado Ultrasónico.
X14 Presión de guía de aire.	Presión de aire sobre guía de alambre de soldado.	Soldado Ultrasónico.
X15 Ancho de pista de soldado	Dimensión de la punta de soldado ultrasónico.	Soldado Ultrasónico.
Salidas del proceso		
Y#'	Descripción.	Etapa de Proceso
Y1 Rc desv. estándar	El valor de la desviación estándar d resistencia.	Pulido de material
Y2 Evento de re trabajo	Material en re trabajo por bajos contactos.	Pulido de material

Tabla 2.3 *Tabla sumario de X's críticas que se analizan en el sistema de recolección de datos, estas se mantienen en sincronía con las indicadas en la tabla 2.0. Se indican también las variables de salida sobre la que se realiza la recolección de datos, siendo Y1 el metrico primario del proyecto.*

Durante la etapa de recolección de datos, el equipo de trabajo de DMAMC a cargo del proyecto, utiliza las herramientas disponibles en el actual sistema de control de proceso, ej. SPC, gráficos de tendencia, sistemas automáticos de captura de datos, u otros actualmente usados en el proceso. Es posible también que en esta etapa, estos no estén disponibles de una manera fácil a través de la forma actual de control del proceso, en cuyo caso el equipo determinará la mejor forma de llevar a cabo la colección. Como se ha indicado, el objetivo final es buscar la mayor información posible respecto de la relación que se establece entre las X's y Y's del proceso, es decir

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Para el proyecto, se realiza una recolección de datos respecto de siguientes X's crítica que se listan en la *Tabla 2. 3*, manteniendo una sincronía con lo indicado ya en los diagramas de Ishikawa (*Figura 2. 2*) y de tabla de causa efecto (*Tabla 2. 2*):

Resultados del sistema de recolección de datos.

La recolección de datos es realizada de forma que los niveles o rangos de operación de X son los observados por el proceso en su condición actual, no se induce al proceso a operar rangos determinados para alguna de los factores en estudio. Los resultados obtenido para el valor de resistencia en cada de una de estas variables se analiza por medio de una grafica de matriz, que lleve establecer en que factor o X critica puede establecer alguna relación estadísticamente significativa con respecto de la variable de salida. La grafica de matriz de la *Figura 2. 7* muestra dichos resultados.

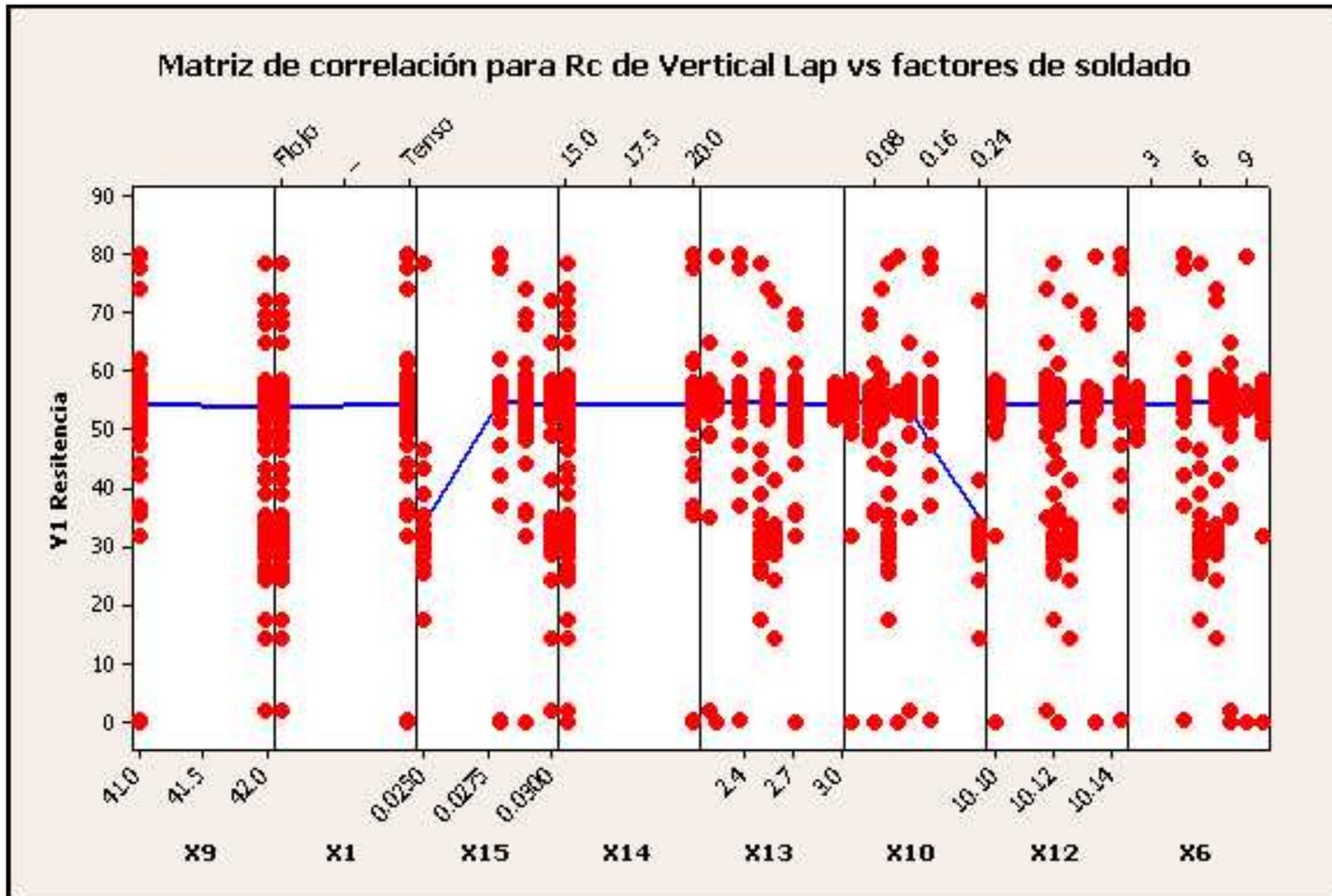


Figura 2. 7 Matriz de correlación que relaciona Rc métrico primario contra de los factores (X) descritos en la matriz de causa y efecto.

En la *Figura 2. 7*, se muestran los resultados de correlación para 8 factores analizados por medio del sistema de recolección de datos. Del análisis se concluye que los factores analizados no presentan una correlación estadísticamente significativa, y pueden descartarse como factores de estudio en la fase de análisis.

Se realiza también un análisis sobre estos factores en su relación contra el métrico secundario de re trabajo. 2 factores observan una relación, al hacerse una prueba de proporciones para los niveles de retrabajo observado:

- X9 ángulo de entrada de soldado,
- X14 presión de la guía de aire.

Es posible establecer una diferencia estadística el % de re trabajo obtenido en cada nivel para estos factores. La prueba de proporciones indica que estas diferencias son estadísticamente significativas para un valor de 0.10. Los resultados de las pruebas de proporción para estos factores y sus niveles de prueba son mostrados en los sumarios de pruebas de proporción de la *Figura 2. 8*.

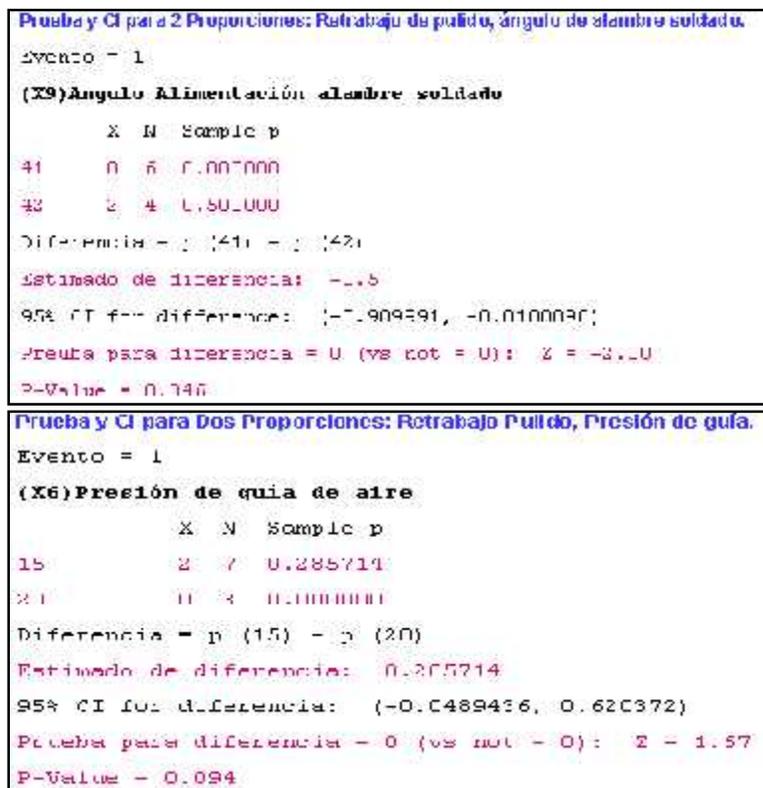


Figura 2. 8 Pruebas de proporciones para los factores X9 y X14, en su relación con el métrico secundario re trabajo de pulido, 0.10.

Conclusiones obtenidas del sistema de recolección de datos.

- Ninguno de los 8 X's factores analizados muestra una relación contra el métrico primario de desviación estándar de Rc del elemento.
- Los factores X9 y X14 muestran una diferencia significativa para los niveles de retrabajo obtenidos.
- Los factores X9 y X14 serán revisados nuevamente como parte del trabajo a realizar en la fase de análisis.

2.6 Capacidad del proceso

El estudio de capacidad de proceso, es una de las partes de mayor importancia a determinar en un proyecto de mejora basado en la metodología 6 sigma, es un entregable fundamental a lograr en la fase de medición. En las organizaciones no es siempre una práctica común que se mantenga un buen estimado de la capacidad de sus procesos, y en lugar de ello es común que se dedican esfuerzos para dar un ajuste continuo de los procesos no capaces como una forma de poder alcanzar un yield de proceso aceptable [1]. En la práctica, un estudio de capacidad de proceso bien diseñado nos podrá ayudar a identificar las causas de la incapacidad del mismo y eventualmente iniciar el establecimiento de las bases que permitirán su solución. En el desarrollo de un proyecto de mejora como el presente, pueden establecerse como objetivos generales del estudio de capacidad de procesos los siguientes [1]:

- Cuantificar el nivel de defectivo respecto del métrico primario.
- Identificar las oportunidades de mejora.
- Identificar la naturaleza del problema en el proceso, centrado de su distribución, o disminución de su dispersión.

En los estudios de capacidad para variables continuas (como e presente proyecto) y discretas, las variaciones de proceso pueden subdividirse en grandes categorías [1]:

- **Variaciones de corto plazo** (variaciones diarias por materiales, operadores, maquinaria).

- **Variaciones de largo plazo** (variaciones de periodo a periodo de tiempo dadas por materiales, equipos).

En los cálculos de capacidad es referenciado el cálculo de los índices de capacidad de C_p , C_{pk} , $Z_{\text{corto plazo}}$ para el caso de los cálculos de capacidad de proceso en el corto plazo el valor de P_{pk} y $Z_{\text{largo plazo}}$ para el caso de los cálculos en el largo plazo. Para el cálculo de la capacidad de proceso en el corto plazo tenemos que :

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 \sigma_{cp}} \quad [Ec. 2. 5]$$

$$C_{pk} = \min \{ C_{pi}, C_{ps} \} \quad [Ec. 2. 6]$$

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3 \sigma_{cp}} \quad [Ec. 2. 7]$$

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3 \sigma_{cp}} \quad [Ec. 2. 8]$$

Donde :

- C_p : Índice de capacidad de proceso potencial.
 C_{PI} : Índice de cap. de proceso corto plazo al límite de especificación inferior.
 C_{PS} : Índice de cap. de proceso corto plazo al límite de especificación superior
 C_{pk} : Índice de capacidad de proceso de corto plazo.
LIE / LSE: Límites inferior y superior de especificación de proceso.
 μ : Media de proceso de corto plazo.
 σ_{cp} : Desviación estándar de proceso de corto plazo.
Z: Índice Z de capacidad de proceso.

En el cálculo de los valores de capacidad de proceso de largo plazo del proceso, en forma similar a lo establecido para el cálculo de corto plazo, es posible establecer que la capacidad de proceso de largo plazo se establece por la relación.

$$P_{PK} = \min \left[\frac{LSE - \mu}{3 \sigma_{lp}}, \frac{\mu - LIE}{3 \sigma_{lp}} \right] \quad [Ec. 2. 9]$$

Donde:

- P_{PK} : Índice de capacidad de proceso de largo plazo.
 σ_{lp} : Desviación estándar de proceso de largo plazo.

En el manejo de los proyectos 6 sigma, el termino común para referenciar la capacidad de proceso es nivel de sigma o índice Z [1]. La relación de C_{pk} o P_{pk} respectivamente que se establece con el índice Z (sigma de proceso) se define por la siguiente expresión:

$$3P_{pk} = Z_{lp} \quad [Ec. 2. 10]$$

Donde:

Z_{lp} : Índice de capacidad de proceso Z en largo plazo.

El cálculo en la práctica de estos índices, el valor de la condición de proceso de corto de largo plazo, puede ser no conocido. Generalmente y de acuerdo a la experiencia de los proyectos 6 sigma, es más factible poder conocer el valor de largo que el de corto plazo [1].

Por convención, se asume que la media de proceso tiende a variar 1.5 veces la desviación estándar de corto plazo en el largo plazo [1]. Esto puede resumirse por medio de la siguiente expresión:

$$Z_{lp} = Z_{cp} - 1.5 \quad \text{y} \quad Z_{cp} = Z_{lp} + 1.5 \quad [Ec. 2. 11]$$

Este concepto de la variación de largo plazo a partir de la de corto plazo, es sólo una referencia inicial que se utiliza para determinar el área de mayor oportunidad de un proyecto de 6 sigma así como la estimación financiera del mismo. Los valores reales de Z del proceso pueden ser calculados para corto y largo plazo, para lo cual el "black belt" y el grupo de trabajo en el proyecto deberán de definir el cálculo de los índices en una forma real conforme se logre un avance en el proyecto a lo largo de sus diferentes fases.

A partir de las [Ec.2.5] a la [Ec.2.10], y partiendo de los resultados de desempeño de proceso de Vertical Lap que se indicaban en el capítulo 1 (indicados en la grafica 1.5), se realiza el cálculo de la capacidad de proceso. Los resultados del cálculo son indicados en la *Figura 2. 10*.

El valor obtenido para la capacidad de corto plazo es $C_{pk} = 0.56$, o su valor de sigma de proceso de corto plazo de $Z_{cp} = 1.68$. Estos índices de capacidad representan un nivel actual de scrap por resistencia fuera de especificación de 4.87%.

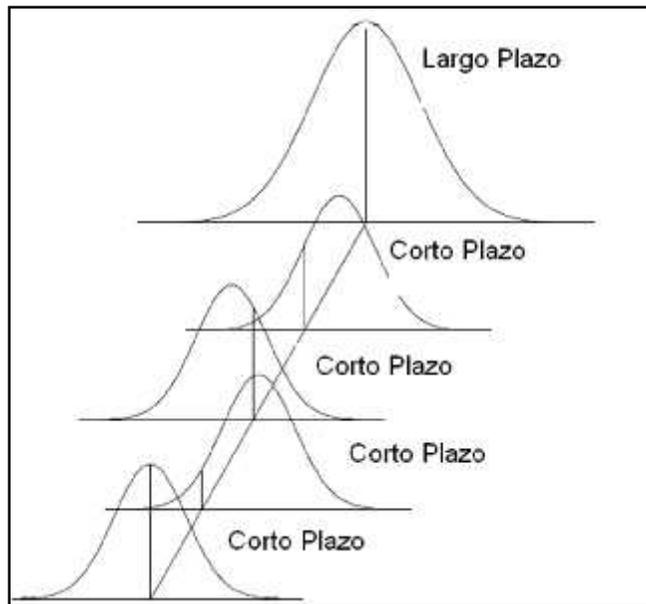


Figura 2. 9 Esquema general de la conformación de la capacidad de proceso de largo plazo a partir de los resultados de capacidad de corto plazo.

Del análisis de estos resultados, el proceso de Vertical Lap muestra una capacidad aceptable para el control de la media de Resistencia del proceso al tenerse la una diferencia de $\mu - R_{c \text{ objetivo}} = 3.09 \%$. Es posible también observar que se tiene una dispersión significativa del proceso para el valor de Resistencia del elemento, con una $\sigma_{\text{corto plazo}} = 17.94$ ohms. El valor desviación estándar de R_c , denota la presencia de fuentes de variación inherentes en el proceso de Vertical Lap que afectan la dispersión de los valores de resistencia en una forma significativa.

Los resultados anteriores corresponden al punto en el tiempo en la ejecución del presente proyecto, en el punto previo al inicio éste.

En conclusión, los valores de capacidad de proceso indican la presencia de un proceso no capaz para el control de R_c , afectado primordialmente por una elevada σ de proceso. Congruente con lo enunciado por objetivo del proyecto como se indica en la sección 1.4, el proyecto se enfocara en el estudio de las fuentes de variación del proceso que conllevan a esta condición, durante la ejecución de las fases análisis y mejora.

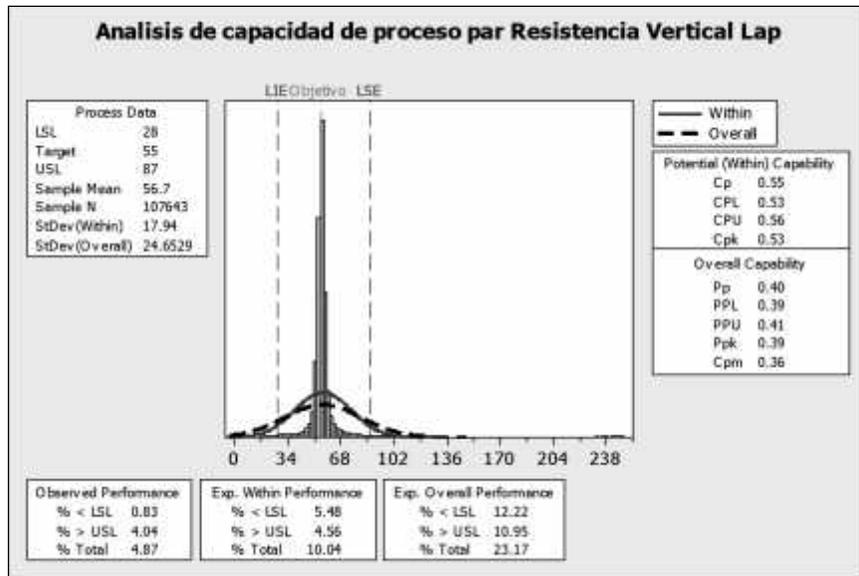


Figura 2. 10 Estudio de capacidad de proceso para el métrico de resistencia R_c de Vertical Lap, donde se calcula la condición inicial del proceso antes de la ejecución de las actividades de mejora por medio del proyecto.

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.
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 dar seguimiento a las acciones que se definen por parte del equipo de trabajo del proyecto y que determinarán en una primera instancia el progreso sobre el valor de NRP por cada modo falla. 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 desde donde se define la necesidad de la generación de nuevas acciones o no.

Con base en lo anterior, en la *Tabla 3. 1*, se indica el AMEF correspondiente del proyecto. Los modos y efectos de falla presentados corresponden a aquellos que intervienen en la variabilidad del control del valor de Rc de la cabeza lectora que se describieron en las secciones anteriores dentro de los diagramas de Ishikawa y que se reflejaron en los factores o X's críticas del proyecto que se identificaban en la matriz de causa y efecto.

En la fase de control, como parte de las conclusiones del proyecto en esa etapa, será recalculado el valor NRP para el AMEF, que servirá para validar el peso de las acciones que se tomen a partir de la ejecución del presente proyecto.

Análisis de Modo y efecto de falla AMEF.										
Paso de proceso	Modo Potencial de Falla	Efecto de la Falla	Severidad	Causas Potenciales de falla / Mecanismos de falla	Ocurrencia	Controles de proceso Actuales	DET	SEV x OC x DET	Acciones Recomendadas	Responsable
Soldado Ultrasonico (Wire Bond)	Contactos eléctricos disponibles por debajo del límite de operación mínimo de proceso de pulido de Vertical Lap	Control de pulido reducido en proceso de Vertical Lap debido a falta de contactos eléctricos, esto causa incremento de desviación estándar de resistencia, scrap por código 7742, 2332.	7	Nido de soldado dañado, causando baja tensión en soldado	6	Mant. Preventivo de herramental	8	336	Actualización Practica de mantenimiento	Mantenimiento
			7	Uso del tipo inadecuado de base de soldado	6	Etiquetado de bases de soldado	7	294	Reemplazo de todo los nidos de soldado por modelo actualizado	Ingeniería
			6	Angulo de entrada de soldado incorrecto.	3	Mant. Preventivo equipo de soldado	6	108	Actualización Practica de mantenimiento	Mantenimiento
			5	Presión de la guía de aire en equipo de soldado fuera de objetivo	3	Mant.. Prventivo equipo de soldado	5	75	Incluir revisión de presión de guía en bitácora de inicio de operación.	Mantenimiento
			8	Baja nivel de fuerza de soldado	6	SPC fuerza de soldado	4	192	Recálculo de muestreos de fuerza de soldado por soldadora.	Calidad / Ingeniería.
			5	Vida de punta de soldado fuera del límite de cambio, causando soldado deficiente.	3	Ninguna	5	75	Fijar control en modo automático para vida de punta < 25,000 aplicaciones	Ingeniería
			4	Tarjetas de soldado dañadas causando pedidas de contactos por cortos eléctricos.	3	Prueba Eléctrica antes de uso.	4	48	Actualizar practica s de revisión y reemplazo en bitácora de inicio de operaciones.	Mantenimiento / Manufactura
			4	Capacidad de alineación de equipo de soldado baja, causando errores de alineación.	5	Mant. Preventivo a programas.	5	100	Incluir estudio de capacidad de alienación en plan de mantenimiento.	Ingeniería / Mantenimiento
			5	Conectores cortocircuitantes de pulido dañados, causando perdida de contactos por falso contacto físico.	5	Práctica de revisión en mantenimiento preventivo.	5	125	Actualizar frecuencia de prueba como parte de bitácora de inicio.	Mantenimiento
			5	Cable de conexión en equipo de pulido dañado, causando pobre lectura y perdida de contacto.	3	Mant. Preventivo de Vertical Lap.	5	75	Actualizar frecuencia y modo de inspección en practicas de mant. Preventivo de Vertical Lap.	Mantenimiento
	5	Alineación inadecuada en carga de soldado, causando pobre soldado ultrasónico en Wire Bond.	6	Inspección diaria como parte de mant. Preventivo	5	150	Implementación de inspección automática por operador por luz UV al 100% de partes.	Ingeniería / Mantenimiento		
Valores erróneos de Rc resistencia para ejecución de proceso de pulido.	Retrabado de pulido en Vertical Lap, Scrap por código 7742.	8	Carga de material de pulido en carga de cabeza	6	Inspección camera después de proceso de soldado	3	144	Sistema de Inspección con camara para validar carga de material correcta.	Ingeniería / Manufactura	
		7	Hojas de control de producción mezcladas, causando errores incorrectos de soldado.	5	Inspección física de material , muestreo.	5	175	Inspección física de material al 100% de los trabajos de soldado con verificador manual.	Ingeniería / Manufactura	
Pulido	Fallas en sistema de control y compensación neumático.	Pobre compensación de pulido en Vertical Lap, terminando ciclo con elevados valores de desviación estándar de Resistencia, pulido incorrecto causando scrap por código 7732.	6	Fallas en control de pulido en Vertical Lap por transductores o sistema de medición	6	Mant. Prevntivo Semanal	6	216	Implementar sistema de control SPC y sistema de detección y diagnostico de falla automatico.	Ingeniería / Manufactura
			6	Bases de pulido dañadas con fugas en operación en pulido de Vertical Lap.	6	Practica de mantenimiento preventivo	7	252	Reemplazo y detección de bases de pulido dañadas en modo automático	Ingeniería, Spc . Mantenimiento

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

Para tomar la decisión de cuales serian los modos de falla a considerar y continuar con el proceso de discriminación, se consideraron aquellos que tuvieran un valor para NRP > 100. Se definen acciones para ellos. Como se indicaba, en la fase de control se presenta el AMEF revisado a partir de las acciones aplicadas y la conclusión de la fase de mejora.

3.2 Desarrollo y pruebas de hipótesis

Continuando la fase de Análisis del proyecto, en esta habrá de hacerse una exploración con un mayor grado de profundidad respecto de los factores críticos responsables de la variación en el desempeño de los métricos primarios, R_c de la cabeza lectora en el presente caso, así como de los métricos secundarios y de consecuencia del proceso, es decir re trabajo de pulido y perdidas de scrap por resistencia consecuentemente.

Se han analizado ya al momento y de manera inicial algunos de los factores de variación del proceso por medio de los análisis de causa y efecto y las conclusiones que respecto de algunos factores se observaron al ejecutarse el sistema de recolección de datos. La ejecución de las pruebas de hipótesis ahora, complementará a la definición de aquellos factores considerados como los de mayor contribución o valor significativo respecto de la variación del proceso que en conjunción con lo ya analizado anteriormente, permitirá llevar al proyecto a la planeación del diseño de experimentos en la fase de Mejora.

En el grafico de la *Figura 3. 1*, se sintetiza el proceso de discriminación de las X's críticas o factores significativos de variación, de acuerdo desarrollo de la metodología 6 sigma. La ejecución de las pruebas de hipótesis aparece como una de las herramientas fundamentales a utilizar en la fase de análisis

Las pruebas de hipótesis resultan ser una herramienta que permite al equipo en el proyecto 6 sigma, tomar control sobre las decisiones realizadas, de modo que se puedan evitar errores de sobre reacción o nula reacción, ante los datos observados respecto de las variables críticas en análisis. En esencia se constituyen como una forma de responder a una pregunta práctica de forma estadística, esto es, tomar decisiones en base a datos [1].

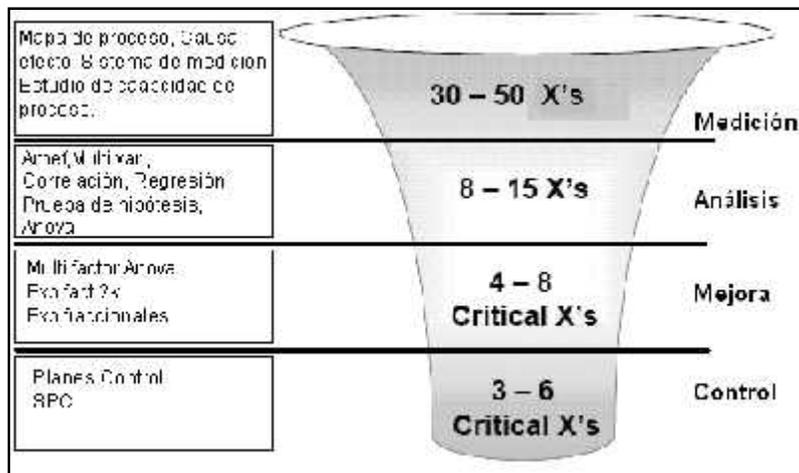


Figura 3. 1. Proceso de simplificación de factores de variación a través de las fases MAMC, la etapa de pruebas de hipótesis se constituye como una parte medular en la simplificación de factores.

En el proceso de realización de una prueba de hipótesis, se debe de proceder de una forma metódica.

- El primer paso en esto, consiste en el desarrollo de un enunciado que describa lo que nosotros creemos que es verdadero.
- El segundo paso es determinar que mediciones y subsecuentes estadísticas se deberían de observar si el hecho asumido por el enunciado fuera correcto.
- El tercer paso, es obtener datos, y deberá entonces determinarse si estos son consistentes con lo esperado en el enunciado, si no es así se asumiría que el enunciado inicial pudiera ser no verdadero del todo.

Las pruebas de hipótesis permiten la realización de inferencias respecto de una población a partir de muestras, y se constituyen en la forma siguientes [1] :

❖ **La hipótesis nula (H_0)**

- Es un enunciado de **no efecto** o **no diferencia**.
- Se rechaza o falla en rechazar basado en evidencia estadística.

❖ **La hipótesis alterna (H_a)**

- Es un enunciado respecto de un parámetro de la población que se asume verdadero, al rechazarse la hipótesis nula.

La aceptación o rechazo de una prueba de hipótesis, se realiza a través del cálculo de la probabilidad de que una discrepancia ocurriera en caso de que la hipótesis nula fuera verdadera. Esta probabilidad es identificada como el valor de la prueba, también

conocida como el valor de significancia de la prueba [1], si este valor es pequeño, la hipótesis nula es descartada y se afirma en establecer que en la prueba de hipótesis se tiene una diferencia estadísticamente significativa. Las herramientas de análisis estadístico a utilizar dependen del tipo de datos analizados continuos o discretos, normales o no normales, teniendo como práctica el uso de comparación de medias y desviaciones estándar, medianas, análisis de varianza, pruebas de proporciones.

El proceso completo de la ejecución de pruebas de hipótesis se resume para referencia en la figura 3.2.

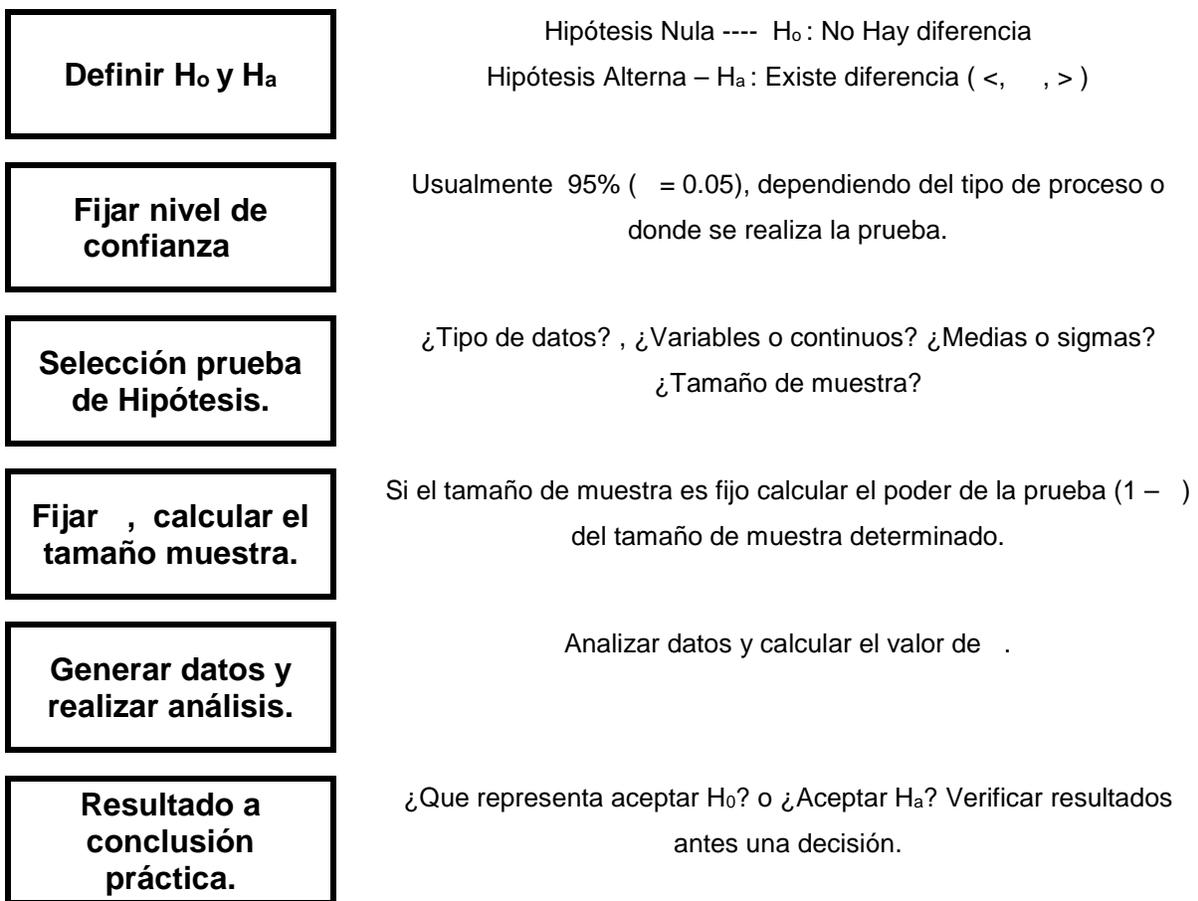


Figura 3. 2. Diagrama de flujo para la generación y análisis de pruebas de hipótesis.

Desde los conceptos anteriores, en la tabla 3.1 se realiza el sumario de las pruebas de hipótesis que se realizan para el proyecto en esta etapa análisis, parte del proceso de identificación los factores significativos de variación del proceso, y los resultados son indicados través de la sección 3.2.1.

3.2.1 Resultados de pruebas de hipótesis

X#	Factor (X)	Tipo de Dato	Niveles	Prueba	Afecta :			Conclusion
							% contactos electricos	
1	Punto de ajuste para holgura de alambre	Continuo	2	Igualdad de varianzas	Sin Efecto	Efecto obseado	Efecto obseado	Se rechaza Ho, efecto observado para de Rc a partir de holgura de alambre.
2	Fugas en base de pulido	Continuo		X	X	X	X	No se ejecuta prueba, factor demostrado y controlado por mant. preventivo.
3	Tipo de nido de soldado	Continuo	2	ANOVA 1 FACTOR	X	Efecto obseado	X	Se rechaza Ho a favor de Ha para = 90%.
4	Punto de soldado virtual en equipo de soldado	Continuo	4	ANOM	X	X	Sin Efecto	Se acepta Ho, no hay diferencia de % contactos a partir de punto de soldado.
5	Rayaduras en platos de pulido	Continuo		X	X	X	X	No Se ejecuta Prueba, condición controlada por manufactura.
6	Adhesividad de pelicula de pulido	Continuo	10	Prueba para varianzas iguales	Sin Efecto	Sin Efecto	Sin Efecto	No se ejecuta prueba, factor demostrado y controlado por mant. preventivo.
7	Altura del nido de pulido.	Continuo	2	X	X	X	X	No se ejecuta prueba, factor demostrado y controlado por mant. preventivo.
8	Diferencias de desempeño entre equipos de pulido.	Continuo	29	Prueba de varianzas iguales	X	Efecto obseado	X	Se rechaza Ho, estableciendose diferencias entre equipo para de Rc.
9	Angulo de entrada de alambre de soldado	Continuo	>2	Prueba de correlacion	Sin Efecto	X	X	Prueba de correlación revisado en el sistema de recolección de datos.
10	Alineación en eje X	Continuo	>2	Prueba de correlacion	Sin Efecto	X	X	Analizado en Sistema De Recolección de datos
11	Deformación de la cinta de pulido	Continuo	2	Prueba de varianzas iguales	X	X	Sin Efecto	Prueba de correlación revisado en el sistema de recolección de datos.
12	Alineación en eje Y	Continuo	>2	Prueba de correlacion	Sin Efecto	X	X	Prueba de correlación revisado en el sistema de recolección de datos.

Tabla 3.2 Tabla sumario de las pruebas de hipótesis a ejecutar en la fase de análisis del proyecto
(X=no se prueba, Sin efecto=Se acepta Ho, Efecto observado = Se rechaza Ho).

Prueba de Hipótesis para factor (X1) punto de ajuste para holgura de alambre.

Uno de los mecanismos observados de falla de pulido Vertical Lap para el control de resistencia del elemento, fue el relacionado con la holgura del alambre de soldado al término de la operación de soldado ultrasónico. Este mecanismo de falla se establece al tenerse una curvatura u holgura de alambre tal que al tenerse el aro en la etapa de pulido, degenera en un cortocircuito de entre alambres que conectan el elemento de la cabeza lectora como se muestra en la imagen de la figura 3.3. Al presentarse este cortocircuito entre alambres, la retroalimentación requerida al equipo de pulido de vertical lap es interrumpida perdiéndose la capacidad de ajuste en pulido, o eventualmente la terminación del ciclo de pulido al tenerse una pérdida de elementos suficiente que impide la continuación del proceso de pulido por falta de elementos retroalimentado resistencia durante el proceso de pulido.

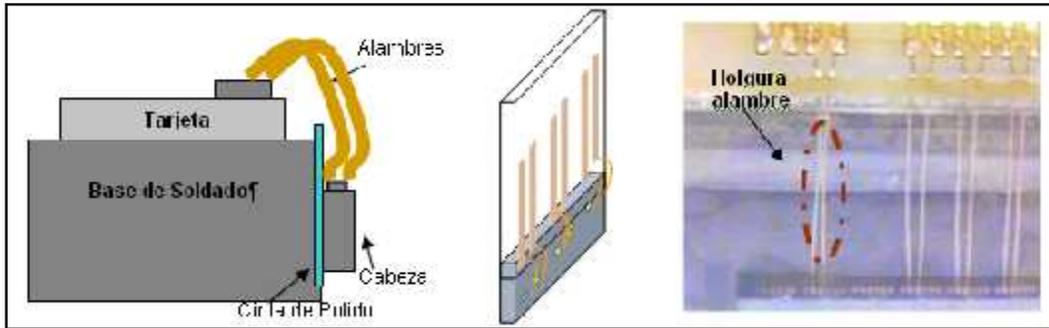


Figura 3. 3. Esquema del fenómeno de holgura en el montaje de un aro de pulido de Vertical lap que termina como un corto-circuito.

Para demostrar el efecto de éste fenómeno sobre el resultado final de la desviación estándar de Rc en el proceso de Vertical Lap, la hipótesis planteada para éste fenómeno se establece de la siguiente manera:

- **Ho:** de Rc sin prevención de holgura = de Rc con prevención de holgura.
- **Ha:** de Rc sin prevención de holgura > de Rc con prevención de holgura.

La prevención de holgura del alambre de soldado, se realiza por medio de la colocación de una cubierta plástica sobre la superficie de la cabeza lectora que impide el desplazamiento del alambre. El mecanismo es mostrado en la figura 3.4

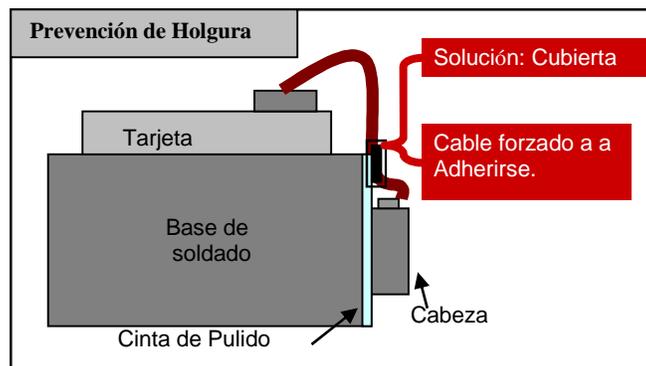


Figura 3. 4. Esquema para contención de holgura de alambre utilizado para la ejecución de la prueba de hipótesis sobre holgura de Lambaré y su efecto sobre de resistencia del elemento.

La hipótesis es probada para igualdad de varianzas. El resultado de la prueba Levene indica un valor de $P < 0.05$, con lo que es posible establecer que se tiene suficiente evidencia estadística para Rechazar H_0 a favor de H_a , es decir:

de Rc Prevención de Holgura $<$ **de Rc** Sin Prevención de Holgura.

Los resultados de la prueba son indicados en el grafico de la figura 3.5

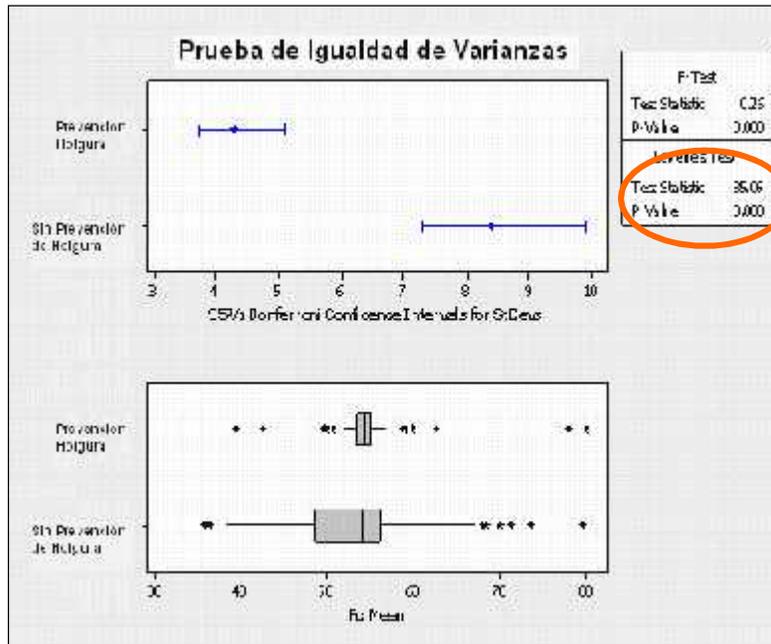


Figura 3. 5. Resultados de la prueba de Igualdad de Varianzas para la holgura de alambre de soldado ultrasónico.

Tal y como se indica en la tabla sumario para pruebas de hipótesis, es validado también el efecto que la holgura de alambre soldado puede tener sobre el valor de la media de Rc. Se realiza una prueba de normalidad para los datos obteniéndose un valor para $P < 0.05$ por tanto una distribución no normal para los datos de proceso evaluados (Figura 3.6), con ello la prueba para igualdad de medias es substituida por una prueba igualdad de mediana de Rc, quedando la hipótesis de la prueba descrita en la forma siguiente:

- **H₀:** Mediana de Rc sin prevención de holgura = Mediana de Rc con prevención de holgura.

- **Ha:** Mediana de Rc sin prevención de holgura ≠ Mediana de Rc con prevención de holgura.

El resultado de la prueba Mann Whitney indica un valor de para $P > 0.05$ (Figura 3.6), con lo que es posible establecer suficiente evidencia estadística para Aceptar H_0 y rechazar H_a , es decir:

Mediana de Rc Prevención de Holgura = **Mediana de Rc** Prevención de Holgura.

Mann-Whitney Test and CI: Cover Tape, No Cover Tape

	N	Median
Cover Tape	103	54.250
No Cover Tape	109	53.993

Point estimate for ET&1-ET&2 is 0.404
 95.0 Percent CI for ET&1-ET&2 is (-0.495,1.579)
 U = 11371.0
 Test of ET&1 = ET&2 vs ET&1 not = ET&2 is significant at 0.3690
 The test is significant at 0.3690 (adjusted for ties)

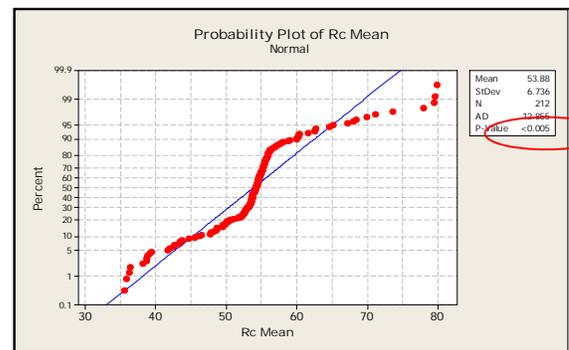


Figura 3. 6. Prueba de normalidad y Mann Whitney para igualdad de medianas de resistencia para de la validación del efecto de holgura de alambre sobre la desviación estándar de resistencia del elemento

La anterior prueba demuestra una relación entre la disponibilidad de contactos eléctricos durante el proceso de pulido y el valor final de la desviación estándar de Rc.

Como parte de la prueba se valida también ahora la disponibilidad de contactos eléctricos en el proceso de pulido al comparar los grupos que se definen en la prueba de hipótesis para igualdad de varianzas teniendo (la variable en prueba es denominada Delta de contactos eléctricos siendo $\text{delta} = \text{Contactos Iniciales} - \text{Contactos finales}$):

- **Ho:** Delta de contactos eléctricos con prevención de holgura = Delta de contactos eléctricos con prevención de holgura.
- **Ha:** Delta de contactos eléctricos con prevención de holgura ≠ Delta de contactos eléctricos con prevención de holgura.

La hipótesis es probada a través por medio de una prueba t: Los resultado de la prueba son mostrados en la figura 3.7.

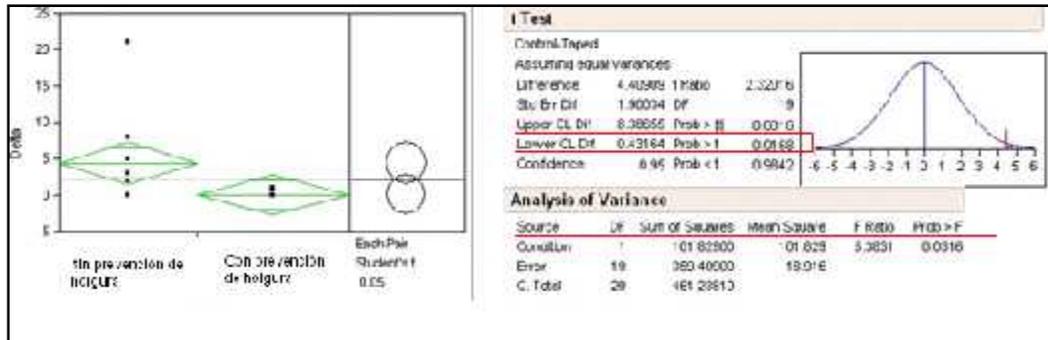


Figura 3. 7. Prueba t para perdida de contactos de pulido validando el efecto de prevención de holgura en el proceso de Vertical Lap.

La prueba t para disponibilidad de contactos eléctricos en pulido, con referencia a los grupos de prevención de holgura y sin prevención, muestran una diferencia estadística significativa al tenerse un valor de $P < 0.05$, con lo que se tiene suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula H_0 a favor de H_a para un nivel de confianza del 95%, teniéndose que el grupo que utiliza la prevención de holgura, observa una menor perdida de contactos durante el proceso de Vertical Lap.

Con los resultados de esta prueba, y el obtenido sobre la de varianza de Rc basado en la misma condición de prevención de holgura de alambre de soldado en Wire Bond, es posible establecer una relación inicial entre la disponibilidad de contactos eléctricos en el proceso de de pulido y el resultado final de la desviación estándar de Rc, y a la vez el hecho que dicho mecanismo, favorece una mayor disponibilidad de contactos y menor varianza de Rc. Esta relación se continúa para su análisis a través de las siguientes etapas del proyecto.

Con la prueba de hipótesis 03, como se indica en la tabla 3.2, se valida la igualdad de varianzas entre diferentes herramientas utilizados en el proceso de soldado y su efecto sobre el desempeño la desviación estándar de Rc. Para lo cual es posible establecer la siguiente prueba de hipótesis:

- **H_0** : La varianza de Rc con herramienta de soldado V1 = La varianza de Rc con herramienta de soldado V1
- **H_a** : La varianza de Rc con herramienta de soldado V1 \neq La varianza de Rc con herramienta de soldado V1

Los resultados de la prueba son indicados en la figura 3.8. El valor de $P > 0.05$, con lo que no es posible establecer una diferencia estadística para rechazar H_0 para un nivel de confianza del 95%. Sin embargo, al comparar la prueba para un nivel confianza del 90%, es decir aceptando una probabilidad de error de 10%, el valor de la prueba es significativo para aceptar la H_a . Ello es, establecer una diferencia en los valores de la desviación estándar de Rc en función de los tipos de herramientas utilizadas en el proceso de soldado ultrasónico de Wire Bond. Basado en esto y en la experiencia de control de proceso donde son observadas mayores dificultades prácticas en Wire Bond con respecto de la utilización de los nidos de soldado identificado como V2, se rechaza H_0 a favor de H_a descartándose el uso del herramental identificado como Versión 02.

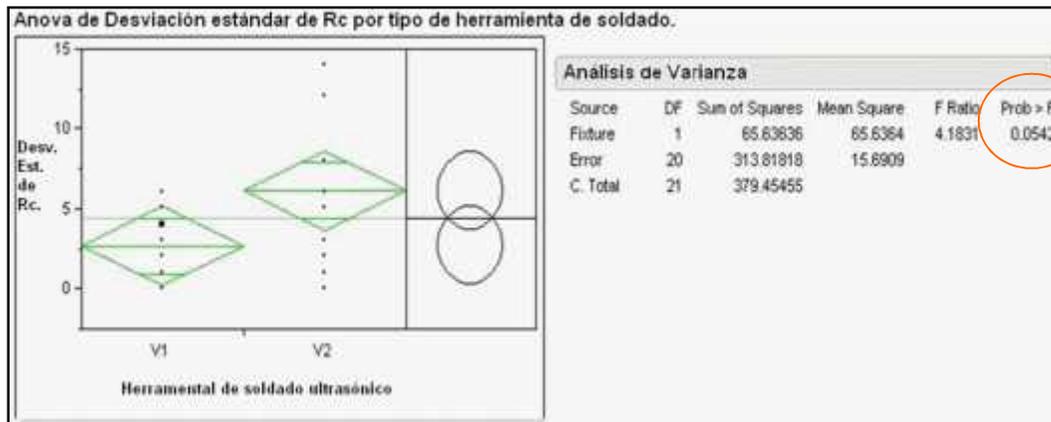


Figura 3. 8. Prueba de análisis de varianza para Rc de cuerdo al tipo de herramental de soldado ultrasónico usado en el proceso

En la pruebas de hipótesis formuladas en relación con la disponibilidad de contactos, la prueba 04 se utiliza para probar el efecto de los puntos de operación fijados para el equipo de soldado ultrasónico para el punto de soldado sobre la cabeza lectora. La prueba se ejecuta a través de una prueba una comparación de proporciones que compara la variación de en el porcentaje de contactos eléctricos disponibles en el proceso de pulido para los diferentes puntos de operación posible en el equipo de soldado.

Se plantea la hipótesis respectiva en la forma siguiente.

- **Ho:** No existe diferencia en el porcentaje de contactos eléctricos perdidos en el proceso de pulido de Vertical lap de acuerdo a los diferentes puntos de operación de soldado sobre la cabeza lectora.
- **Ha :** Al menos uno de los puntos de operación de soldado ultrasónico es diferente.

Los resultados de la prueba son indicados en la figura 3.9, teniendo el valor de **P>0.05**, con lo que no es posible establecer una diferencia estadística para rechazar Ho. Ello es, el % de contactos eléctricos perdidos a través del proceso de Vertical de acuerdo a los puntos de operación fijados en el equipo de soldado ultrasónico es comparable. La condición de proceso normal mantiene un punto de operación para el punto de soldado en un valor de 50, por lo que basado en los resultados anteriores es posible establecer que esta condición es adecuada, y aún en el caso de presentarse variaciones alrededor de este punto de operación no sería posible esperar una variación en el % de contactos eléctricos.

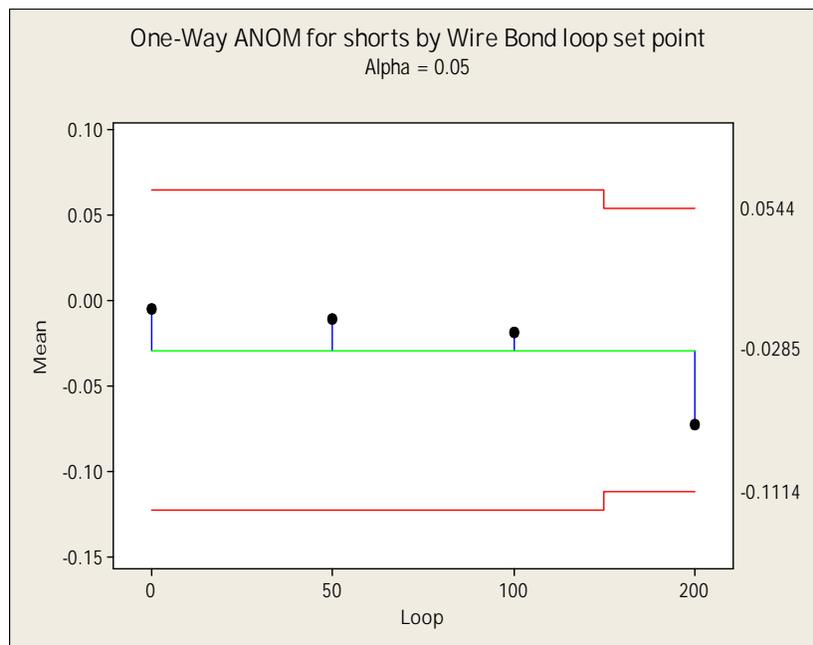


Figura 3. 9. Prueba de proporciones para variación de contactos por el punto de soldado virtual en el proceso de soldado ultrasónico de Wire Bond. No es posible establecer una diferencia entre los grupos analizados.

La prueba de hipótesis 06, se realiza para validar el efecto resultante sobre la disponibilidad de contactos eléctricos, como función de la adhesividad de la cinta que se utiliza para la adhesión de la cabeza al conjunto de pulido. El efecto de desplazamiento

esperado por una baja adhesividad de la cinta es mostrada en la figura 3.10, se indica en esta la interacción de las fuerzas de pulido participantes en el sistema. Para efectos de la prueba, queda fuera del alcance de la misma validar la magnitud actual de dicho desplazamiento.

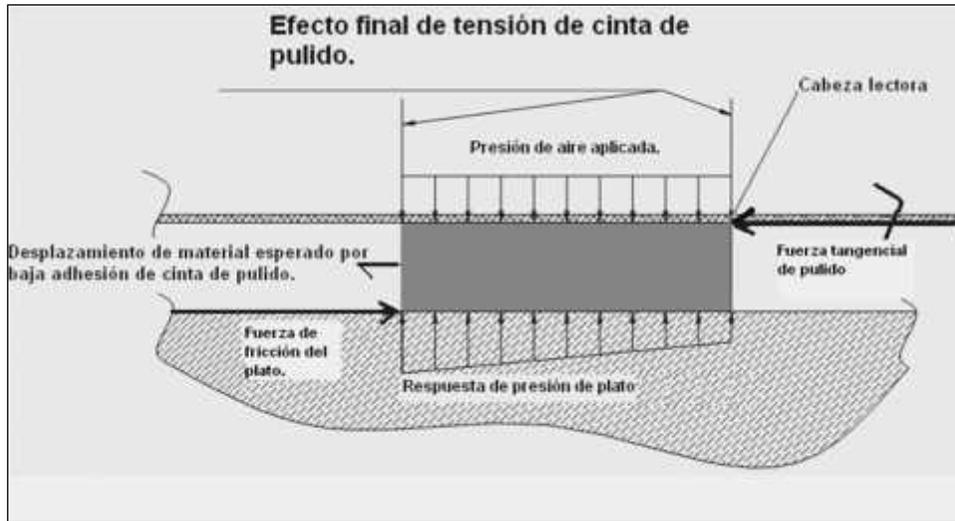


Figura 3. 10. Esquema de fuerzas en el proceso de pulido de Vertical Lap y el efecto esperado de desplazamiento por baja adhesividad de la cinta de pulido.

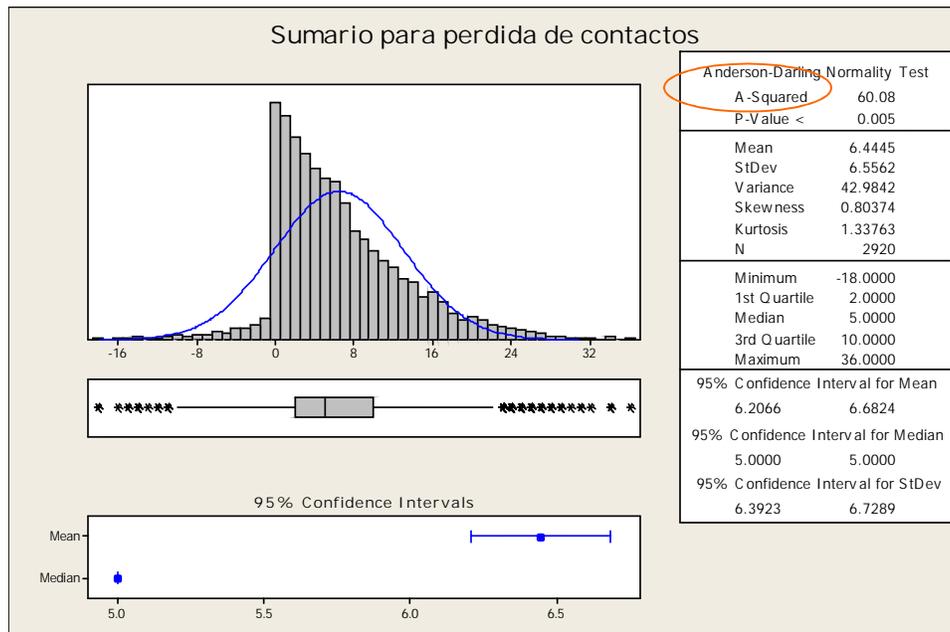


Figura 3. 11. Análisis para la distribución de la pérdida de contactos a través del proceso de Vertical Lap.

La prueba de normalidad de la distribución de la pérdida de contactos en el proceso de pulido de vertical lap, indica el desempeño de una distribución no normal. El análisis de ésta es indicado en la figura 3.11, con lo que la prueba de hipótesis a ejecutar se realiza para varianzas iguales.

El planteamiento de la hipótesis se realiza función del número de veces que se utiliza la cinta al tenerse menor nivel de adhesividad en función del uso, teniendo el planteamiento en la siguiente forma:

- **Ho** : La Varianza de contactos en el proceso de pulido cuando la utilización de la cinta va desde nueva hasta 10 son iguales.
- **Ha** : Al menos un nivel es diferente.

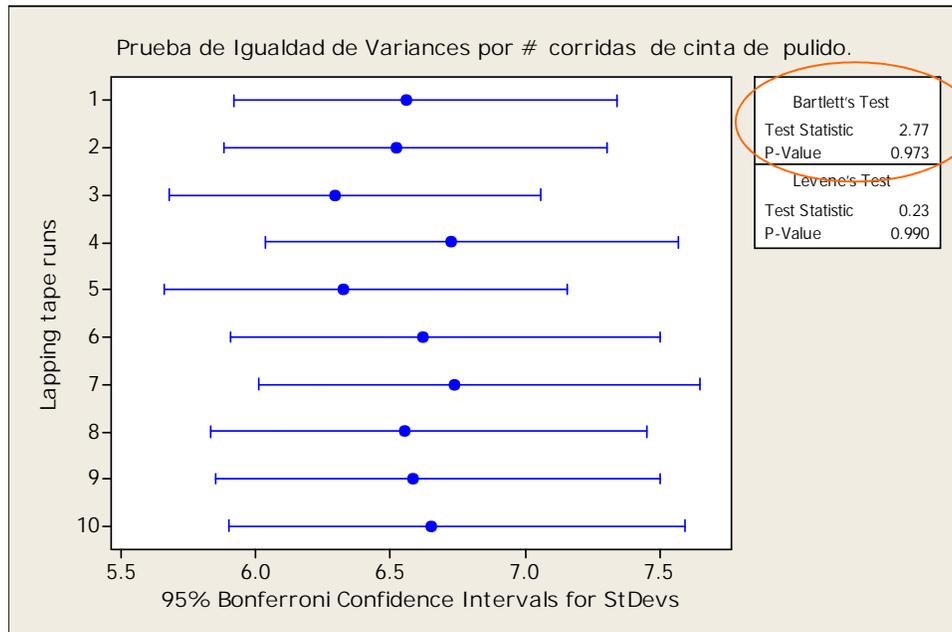


Figura 3. 12. Prueba de igualdad para pérdida de contactos en pulido en función de la adhesividad de la cinta de pulido.

Los resultados de la prueba, son indicados en la figura 3.12, el valor de **P>0.05** para la prueba indica que es posible tener suficiente evidencia estadística para rechazar Ho, con lo que no es posible establecer ninguna diferencia para disponibilidad de contactos en función de la adhesividad o vida de la cinta de pulido.

Hasta el momento las pruebas de hipótesis ejecutadas han coadyuvado a entender la relación que se establece entre la degradación por contactos disponibles en el proceso de pulido y de soldado ultrasónico en su relación con el desempeño de la desviación estándar de resistencia. En la prueba de hipótesis 06, se analiza el desempeño observado por la desviación de Rc a partir de la operación del equipo de pulido de modo que se permita establecer si existen diferencias de desempeño por cada equipo y el tipo de componente que puede ser susceptible de falla, del cual se ha indicado un valor de RPN alto en el AMEF (Tabla 3.2) para modo de falla por problemas en el sistema de compensación neumática.

La anterior condición es validada por una prueba para igualdad de varianzas por equipo de pulido en operación, en un período de operación de 1 semana.

- **Ho** : Las desviaciones estándar por equipo de pulido de Vertical Lap son iguales
- **Ha**: Al menos un equipo muestra un desempeño diferente.

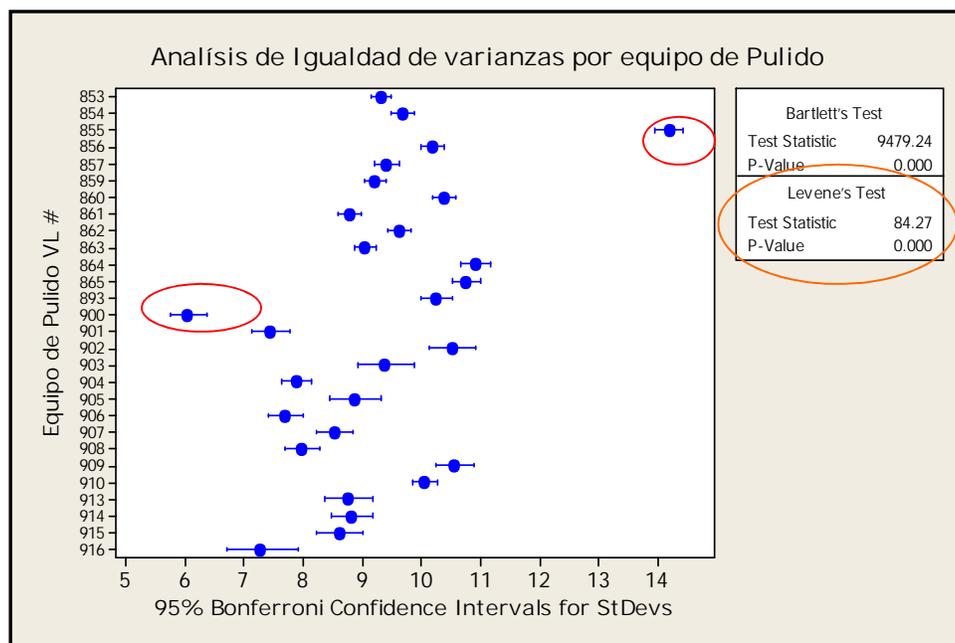


Figura 3. 13. Análisis de igualdad de varianzas por equipo de pulido de Vertical Lap.

Los resultados de la prueba para igualdad de Varianzas por la prueba de Levene's establecen un valor de **P<0.05**, con lo que se tiene suficiente evidencia estadística para rechazar el Ho a favor de Ha, con lo que es posible establecer que existe una diferencia

estadística en el desempeño de los equipos de pulido de Vertical Lap para el valor de la desviación estándar de Rc.

En el análisis anterior, se establece también que los equipos muestran intervalos de confianza para la desviación estándar de Rc, $[\sigma_1, \sigma_2]$ de $[5.5, 14.5 \text{ ohms}]$. En la figura 3.14 se indica el desempeño uno de los equipos que tiene mayor dispersión en su operación. Se muestra el valor de Rc para cada canal de control del equipo, correspondiente al desempeño mostrado en el análisis de varianza de la figura 3.13.

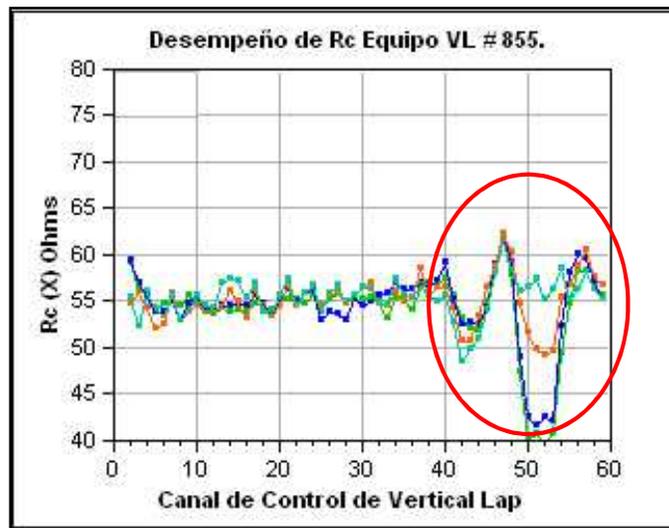


Figura 3. 14. Valor de Rc por canal control, equipo de pulido de vertical lap 855.

En el proceso de pulido de Vertical lap, los equipos alcanzan el valor objetivo de resistencia para las cabezas lectoras, al ejecutarse un control por medio de 60 canales de ajuste. Un sistema de lazo cerrado, relaciona el valor actual de Rc retroalimentando al controlador central, que a su vez ordena a los subsistemas mecánicos y neumáticos reguladores a ajustarse en la unidad de tiempo, hasta que el valor nominal de Rc definido para el producto es alcanzado a o largo de todos los canales que miden el valor de Rc de cada cabeza lectora. En el caso indicado en las figuras 3.13 y 3.14, el valor objetivo de Rc = 55 ohms. La variación observada en el equipo de la figura 3.14, nos muestra que éste mantiene un control sobre el objetivo de Rc ± 1 ohm, entre los canales 1 a 40. Sin embargo, en el control de Rc en los canales > 40 , es posible observar diferencias de Objetivo (55 ohms) $- X \pm 5$ ohms ± 15 ohms. Éstas variaciones, llevan el desempeño del equipo para la de Rc en un intervalo de confianza como se muestra en la figura 3.13 de $[\sigma_1, \sigma_2] [13.9, 14.5 \text{ ohms}]$.

En una segunda etapa de análisis respecto de las condiciones de falla de equipo que inducen un inadecuado desempeño de los controles de Rc por canal, se contabilizan las fallas típicas o comunes detectadas en los equipos en un período posterior al análisis de varianza que se realizó en la figura 3.13. Los resultados del trabajo se muestran en la grafica de Pareto de la figura 3.15. Del análisis, es posible establecer que las fallas relacionadas con el control de Rc en los equipos de pulido que muestran una mayor incidencia se relacionan con:

- Fallas en los controladores de presión neumática, éste hallazgo mantiene una relación directa con lo establecido por el AMEF, donde para el modo de falla en el equipo de pulido, las fallas en los controladores eran determinadas por el equipo de trabajo como el problema de mayor probabilidad de falla de acuerdo con el valor obtenido de NRP para ésta.
- Las fallas eléctricas por calibración en la caja controladora de Rc, se establece como la falla de segundo orden de importancia.

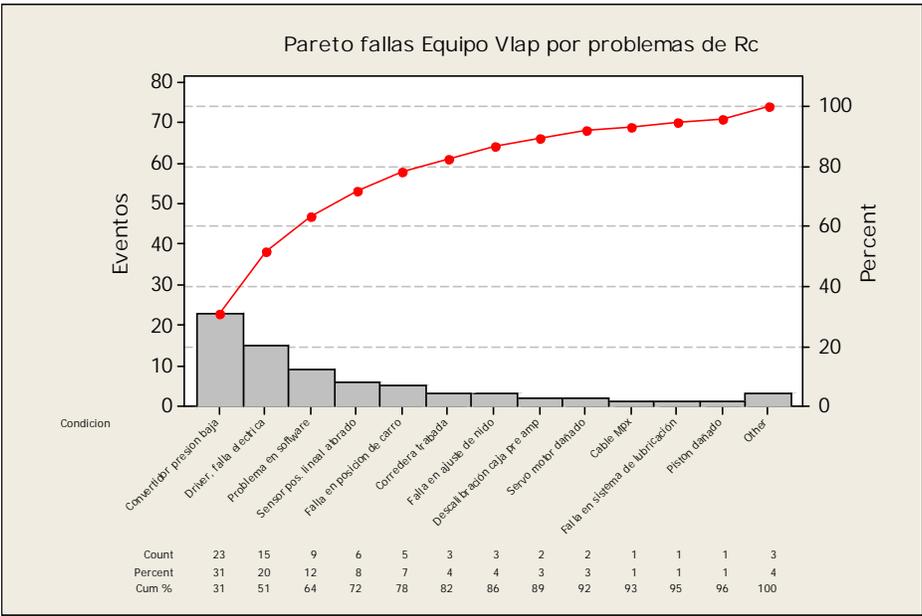


Figura 3. 15. Análisis de Pareto sobre las condiciones de falla en los equipos de Vertical Lap en el control de Rc por canal de pulido.

Con lo anteriormente indicado por el análisis de varianza para la condición de los equipos de pulido, y el análisis de fallas relacionadas con éstos sobre el control de Rc en el pulido, es posible concluir que esto resulta ser una fuente de variación significativa sobre el

desempeño de R_c en el proceso de pulido de Vertical Lap, sobre la cual habrán de determinarse actividades específicas de análisis así como propuestas de solución.

En lo concerniente al presente proyecto, el trabajo sobre el control de desempeño de los equipos de pulido y sus componentes, se mantendrá fuera del alcance de éste trabajo. Con lo que partiendo de las presentes conclusiones y avance del proceso, el proyecto se enfoca a partir de éste punto, y en específico en el trabajo a realizar en las fase de mejora, respecto de las fuentes de variación sobre aquellos factores relacionados con la disponibilidad de contactos eléctricos en el proceso de pulido, que como se había discutido en los análisis de las pruebas de hipótesis mantienen una relación estadística significativa sobre el valor final de la desviación estándar de R_c a través del proceso de Vertical Lap.

Para finalizar la ejecución de pruebas de hipótesis, se valida por medio del siguiente prueba (prueba de hipótesis 11), el efecto que las fuerzas que interactúan en el sistema de pulido ejercen sobre el alambre de soldado y su deformación durante el pulido propiciándose un corto circuito ó alambre abierto, teniéndose como consecuencia una pérdida de contactos eléctricos a través del proceso de pulido, tal efecto fue indicado en la figura 3.3 de éste capítulo.

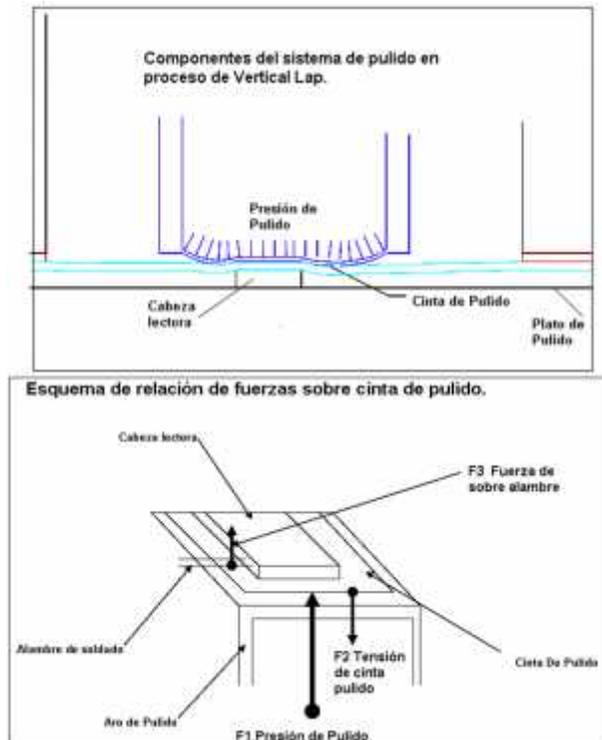


Figura 3. 16. Componentes elementales del sistema de pulido y componentes de fuerza ejercidos sobre alambre de soldado.

En la *Figura 3. 16* se indican el conjunto elementos y de fuerzas resultantes que intervienen a través del proceso de Vertical lap sobre la cabeza lectora. Para la ejecución de la prueba se compara la pérdida de contactos a través del proceso de pulido, a través del uso de dos materiales diferentes para la cinta pulido identificados como V8S y G88. Estas son utilizadas al tener ambas diferentes coeficientes de deformación elástica (dichos valores no se indican en este resumen). La variable de salida en este caso corresponde al diferencial o delta de contactos eléctricos disponibles en el proceso de pulido o delta de contactos, estableciendo el diferencial al compararse la cantidad de contactos disponibles al inicio del ciclo de pulido contra el nivel contactos disponibles al final del ciclo, es decir

Delta contactos = Contactos eléctricos al inicio – Contactos eléctricos al final.

La prueba de hipótesis se plantea en la forma siguiente:

- **H₀:** La Varianza de la pérdida de contactos entre las cintas de pulido V8S y Nito son iguales.

- **Ha:** Las varianzas de la perdida de contactos entre las cintas d pulido V8s y Nito son diferentes.

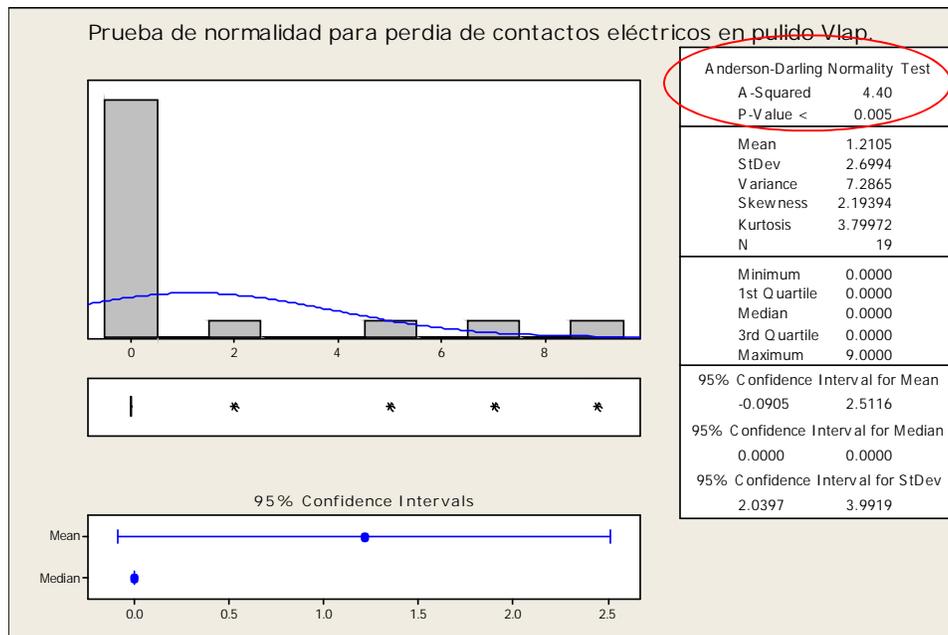
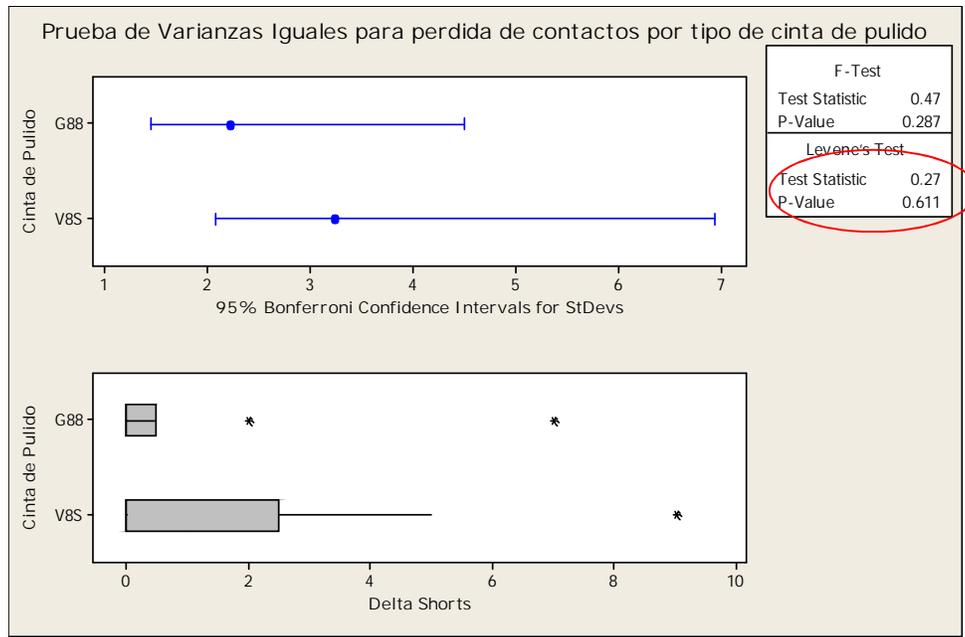


Figura 3. 17. Prueba de normalidad para la distribución de delta de contactos eléctricos en pulido.

Para validar la utilización de la prueba de varianzas iguales como la herramienta a utilizar para validar la diferencia de prueba de contactos de acuerdo al tipo de cinta de pulido, se realiza una prueba de normalidad para los datos disponibles de la prueba, teniéndose que el valor de la prueba indica un Valor de $P < 0.05$ con lo que es posible establecer que los datos no corresponden a los de una distribución normal y por tanto la utilización de una prueba de igualdad de varianzas es adecuada para validar si existe o no diferencia entre los materiales de la cinta de pulido.

Los resultados de la prueba de Varianzas y para igualdad de las medianas de contactos por medio de Mann-Whitney, son mostrados en la *Figura 3. 18*



Prueba Mann-Whitney e Intervalo de confianza: G88, V8S

	N	Median
G88	10	0.000
V8S	10	1.000

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0.000
 95.5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0.000,0.000)
 n = 106.0
 Test of ETA1 - ETA2 vs ETA1 not - ETA2 is significant at 0.9090
 The test is significant at 0.9365 (adjusted for ties)

Figura 3. 18. Prueba de igualdad de varianzas y de igualdad de medianas para el delta de disponibilidad de contactos

Los resultados obtenidos para la prueba de igualdad de varianzas así como el correspondiente al de igualdad de medianas, indican un valor de $P > 0.05$, con lo que se tiene suficiente evidencia estadística para establecer que no existe una diferencia en la cantidad de contactos eléctricos perdidos a través del proceso de pulido, como consecuencia de los diferentes materiales usados para la cinta de pulido de vertical lap, aunque en la práctica ambos materiales puedan tener diferentes coeficiente de deformación plástica y sus niveles de deformación durante el proceso de pulido puedan ser diferentes (no se valida como objetivo de este experimento), en la práctica tal deformación es no significativa para los efectos de Vertical lap.

Con la ejecución de la anterior prueba, se concluyen las pruebas de hipótesis respectivas de la fase de Análisis, las conclusiones mostradas en la siguiente sección servirán para la

definición y planeación del diseño de experimentos que permita la mejora en estos factores.

3.2.2. Conclusiones de Pruebas de hipótesis

Después del trabajo realizado en la fase de Análisis se concluye respecto de los siguientes aspectos significativos analizados en el proceso:

- La disponibilidad de contactos eléctricos a en el proceso de pulido de Vertical Lap, es la condición fundamental sobre la cual el valor de R_c del elemento de las cabezas lectoras alcanzan su valor óptimo .
- De las variables analizadas tanto por medio de los análisis de pruebas de hipótesis como de los sistemas de recolección de datos es posible establecer como factores significativos a la contribución de la pérdida de contactos los siguientes factores:
 - La prevención de holgura de alambre de soldado ultrasónico.
 - Las variaciones provenientes de los diferentes herramientas de soldado utilizados en el proceso de soldado ultrasónico.
 - Los puntos de operación para las variables de equipo en las soldadoras ultrasónicas para la presión de la guía de alambre y para el ángulo de entrada de alambre a la punta de soldado.
- Diferencias de operación entre equipos de pulido, relacionadas con el estado de falla de componentes específicos en éstos, que afectan el control del ajuste del objetivo de resistencia por canal de operación fueron validadas. Condiciones como ésta llevan a tener un intervalo de confianza para R_c , de [r_1 , r_2] [5.5 ,14.5 ohms]. Tal contribución al estar directamente relacionada con problemas de equipo identificados, no se estudia como parte de la fase de mejora, sin embargo, actividades específicas sobre éste se continuarán reflejando en la generación del plan de control y el nuevo AMEF del sistema como se reflejara en la fase de control del proyecto.
- Factores adicionales, determinados por el AMEF como condiciones importantes afectando el desempeño de R_c como los relacionados con fugas en las bases de pulido y marcas y ralladuras en los platos de pulido, no

se incluyen en el análisis, pues estudios previos en la operación demostraron su relación con el métrico primario y los métricos secundarios y que se encontraban ya en el plan de control del proceso de vertical, no se revizan en la fase Analisis y sólo se considerará su actualización en la presentación del plan de control final de la operación.

- Con lo anterior, la planeación del diseño de experimentos se concentrará en 4 factores
 - (X1) prevención de holgura de alambre.
 - (X3) tipos de herramental de soldado.
 - (X9) Angulo de entrada de alambre en equipo de soldado.
 - (X14) Presión de la guía de aire en equipo de soldado.

3.3 Plan para diseño de experimentos

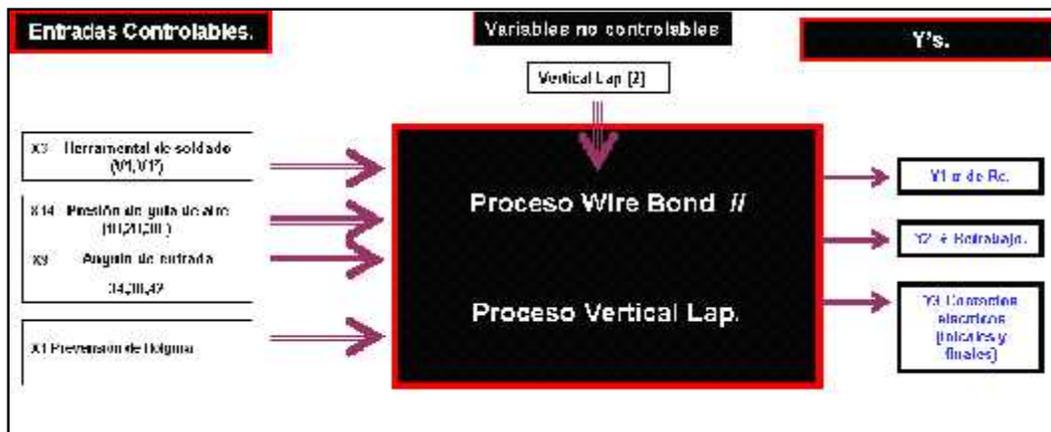


Figura 3. 19. Esquemización del diseño de experimentos propuesto para la optimización de los factores significativos encontrados en el proceso.

Con la definición de las variables críticas del proceso que en las pruebas de hipótesis mostraron una relación estadística significativa sobre el resultado del métrico primario de Rc, y sobre el métrico de disponibilidad de contactos eléctricos en el pulido, y para el métrico secundario del porcentaje de re trabajos medidos a través del proceso de Vertical lap, en la *Figura 3. 19* se indica el esquema general del diseño de experimentos que se ejecutará para la optimización de estas variables a través del proceso de Wire Bond y Vertical lap.

Como factores de bloque, se incluyen en el diseño del experimento a los equipos de pulido Vertical lap, que como se discutió ya, puede llegar a tener un efecto sobre el métrico primario al observarse dependencias en su operación. Para efectos de esta experimentación, se buscará establecer si el equipo (factor de bloque) tiene o no un efecto estadístico sobre los resultados que se obtengan a través de la ejecución del experimento.

CAPITULO 4 – MEJORA DE LAS CONDICIONES DEL PROCESO

Hasta éste punto se ha concluido sobre qué factores tienen una relación o efecto directo sobre los métricos primarios y secundarios del proyecto. En la fase de mejora, por medio de la utilización de las herramientas ofrecidas por el diseño de experimentos, se busca su optimización por la ejecución de diseño de experimentos.

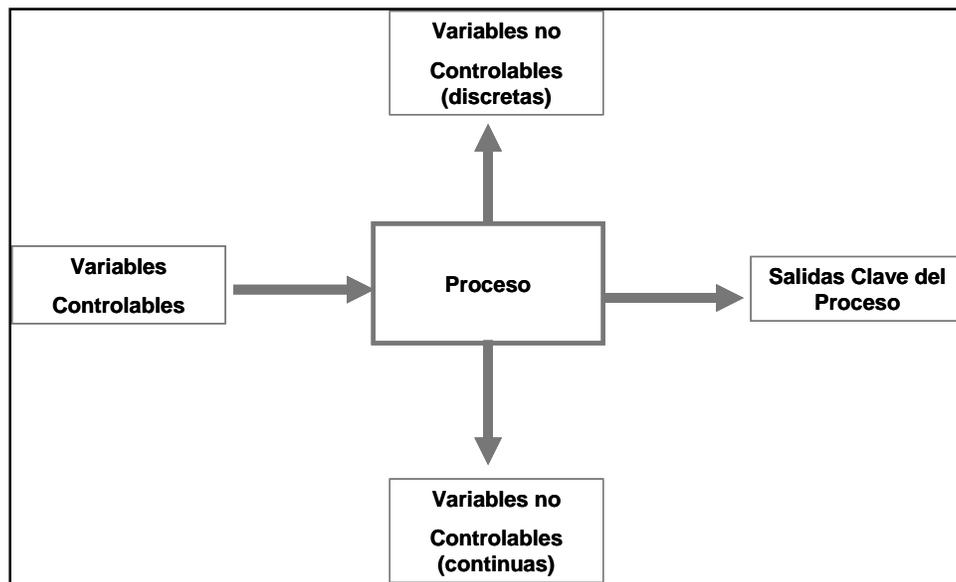


Figura 4. 1. Representación general de un proceso o sistema, usado en la de determinación del modelo del diseño de experimentos a ejecutar.

Un experimento es una secuencia de pruebas, donde se realizan **cambios de proceso hechos a propósito** sobre las **variables de entrada** de un sistema o de dicho proceso, de modo que las variables de respuesta puedan ser observadas e identificadas [1]. Un diseño de experimentos, es en sí conjuntos de pruebas estadísticamente diseñados y comúnmente reconocidos como DOE (diseño de experimentos, por sus siglas en inglés).

Este proceso, puede establecerse como una parte medular en la determinación de la ecuación que regula un proceso en estudio [1], es decir

$$Y = f(x)$$

En dicho experimento, las variables de entrada son llevadas fuera de sus puntos normales de operación [1], para determinar la probabilidad de la ocurrencia de una variación. La determinación de los valores de tales puntos operativos en la experimentación, se determina en correspondencia con los resultados y valores observados a través de las pruebas de hipótesis realizadas en la fase de análisis.

Los diseños de experimentos, siguen las siguientes condiciones durante su ejecución [1]:

- Los factores se varían de manera conjunta en lugar de uno a la vez.
- Los experimentos resultan ser juegos completos de corridas experimentales, que se analizan una vez que todas han sido completadas.

En la elaboración de un experimento existen algunas bases comunes que deben de seguirse de modo que la ejecución ordenada del mismo pueda traducirse en **un resultado práctico** que se beneficie de las conclusiones que este pueda ofrecer, además de **ofrecer un resultado determinante sobre la definición del modelo matemático**. Los dos entregables anteriores pueden considerarse como los fundamentales a través de la ejecución del proyecto de 6 sigma [1].

Los pasos seguidos en la definición y ejecución de un experimento se concluyen en los siguientes:

1. Definición de un problema práctico.
2. Establecimiento del objetivo del experimento.
3. Definición de las variables de respuesta.
4. Selección de los factores de entrada.
5. Selección el diseño de experimento y el tamaño de la muestra.
6. Ejecución del experimento y colección de datos.
7. Análisis de datos.
8. Establecimiento de las conclusiones.
9. Traducción de las conclusiones en términos prácticos.

En conclusión sobre la ejecución de un diseño de experimentos, es posible establecer que en la fase de mejora el equipo a cargo del proyecto, 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

El objetivo del experimento, se establece como el de la optimización de los factores en el proceso de soldado ultrasónico que conlleven a una mejora en la cantidad de contactos eléctricos disponibles a través del proceso de pulido de vertical lap, y que en su conjunto, puedan llevar a la optimización del valor de la desviación estándar de R_c (resistencia eléctrica en el proceso de pulido de cabezas magnéticas de Vertical Lap), se buscará también por medio la determinación del modelo que regula el control de la desviación estándar de R_c .

4.1.1 Pre- experimentación.

El fenómeno de holgura de alambre descrito en la sección 3.2 (figura 3.3) definido por el factor X_1 , representa una de las variaciones más significativas a la disponibilidad de contactos y que demostró una relación importante sobre el valor de R_c de resistencia. Buscando el manejo de éste fenómeno, por medio de una experimentación inicial, se realiza una prueba para validar si la modificación de las tarjetas de soldado ultrasónico en el proceso de wire bond permite la reducción del fenómeno de holgura y en consecuencia el de la pérdida de contactos eléctricos durante el pulido. La modificación del diseño de tarjeta es indicado en la figura 4.2, y la validación del efecto del rediseño se valida a través de la siguiente prueba de hipótesis:

- **Ho:** No existe diferencia en el porcentaje de contactos eléctricos en Vertical lap de acuerdo al tipo de tarjeta de soldado utilizada.
- **Ha:** Existe una diferencia en el porcentaje de contactos eléctricos disponibles en vertical lap de acuerdo al tipo de tarjeta de soldado.

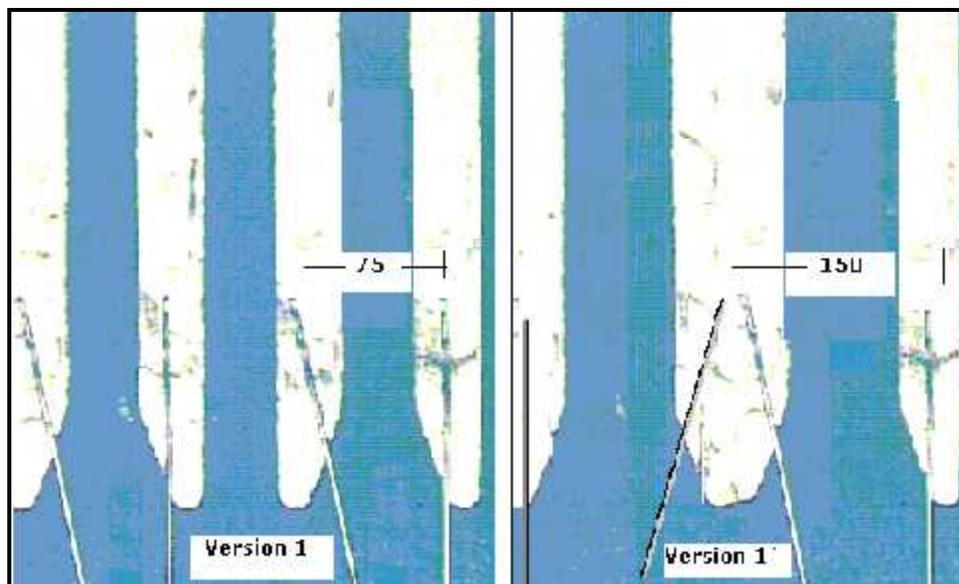


Figura 4. 2. Figura que representa la variación del factor X16 (tipo de tarjeta) con el espaciamento entre pistas de soldadura de acuerdo al tipo de tarjeta, incrementado el espaciamento de 75 a 150.

El resultado, se valida por la ejecución de una prueba de medias para el porcentaje de contactos eléctricos perdidos en durante el proceso de pulido para cada grupo. Los resultados de la prueba se muestran en la figura 4.3.

Para un valor de $\alpha \leq 0.1$, es posible establecer la existencia de una diferencia estadística significativa entre ambos grupos para el valor de los contactos eléctricos perdidos en el proceso de pulido de Vertical Lap. El grupo del diseño de tarjeta modificado con espaciamento entre pistas de 150 micras (versión 1'), muestra un menor nivel para la pérdida de contactos a través del proceso de pulido.

Con este resultado, se establece una conveniencia práctica para la inclusión del factor tipo de tarjeta en el diseño de experimento como mecanismo que permita la evaluación de la prevención de holgura de alambre de soldado. El factor tarjeta de soldado (X16) y que reemplaza al factor (X1) indicado inicialmente en el esquema de la figura 3.19.

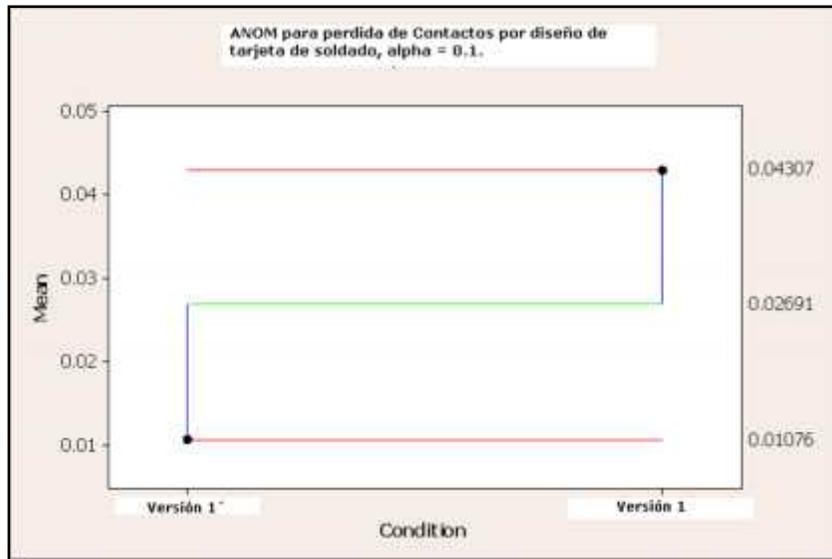


Figura 4. 3. Prueba Anom para la proporción de contactos eléctricos en proceso de vertical lap por diseño de tarjeta de soldado.

Se tiene entonces que los factores de entrada del diseño de experimentos propuesto quedan entonces definidos por:

- (X3) Herramental de soldado : “ Nest design ”
- (X9) Angulo de entrada : “ Wire feed angle “
- (X14) Presión de la guía de aire : “ Air guide pressure ”
- (X16) Tipo de tarjeta de soldado : “ PCB board design “

Para efectos de simplificación de nomenclatura en la ejecución del experimento, en las siguientes secciones, se conserva la nomenclatura original en inglés en sincronía con la definición mostrada por el paquete de software estadístico. La traducción de las variables de entrada se presenta en la forma siguiente:

En la *Tabla 4. 1* es mostrado el efecto esperado en el proceso a partir de estas, así como los valores que se asignarán a estas variables como parte de la experimentación, yendo de valores nominales de operación a valores más allá del rango de la operación de modo que pueda probarse la relación de estos con las variables de salida del experimento.

Factor	(X) Nombre	Condición	Efecto probado en soldado Ultrasonico Wire Bond
X3	Diseño de Herramental de soldado	Version 1	Diseño nominal de herramental
		Version 1'	Diseño modificado para disminución de holgura
X14	Presión de la guía de aire	30 PSI	Condición operativa estandar del proceso
		10 PSI	Permitir flujo más uniforme de alambre, resultando en mayor disponibilidad de contactos en Wire Bond (Observado en colección de datos).
X9	Angulo de entrada de alambre	38	Condición operativa estandar del proceso
		34	Disminuir holgura de alambre, minimizar riesgo de cortos entre alambres durante pulido.
X16	Diseño de Tarjeta de Soldado	Version 1	Condición operativa estandar del proceso
		Version 1'	Diseño Modificado para minimizar cortos durante pulido (Cambio en Hardware Incluido al diseño).
Bloque	Equipo de Vertical Lap	Equipo 01	2 equipos de Pulido diferentes se utilizan como factor de bloqueo del experimento.
		Equipo 02	

Tabla 4. 1 Tabla sumario de los factores de estudio por medio del diseño de experimentos de Wire Bond Vertical lap.

El diseño de experimento se ejecuta como un experimento factorial completo con 2 replicas y dos bloques que corresponden a los equipos de pulido que intervienen en el proceso de la experimentación.

Diseño Factorial Completo			
Factores:	4	Diseño Base:	4, 16
Corridas:	48	Replicates:	2
Blocques:	2	Puntos Centrales (total):	16
Block Generators:	replicates		

Figura 4.4. Modelo de experimentación para el proceso de wire Bond y Vertical lap.

Ejecución del experimento.

Con las condiciones anteriormente definidas, se procede a la ejecución del experimento. En la tabla 5.1 son mostrados los resultados de efectos estimados para la desviación estándar del elemento de la cabeza magnética, teniéndose como factores significativos para un valor de $\alpha = 0.05$ los siguientes:

1. **Factor de primer orden:** Tipo de Herramental de soldado.
2. **Interacción de segundo orden:** Angulo de entrada de alambre * Tipo de tarjeta
3. **Interacción de segundo orden:** Presión de guía * Tipo de tarjeta

Efectos estimados y coeficientes para desv. est. de Rc (Unidades codificadas)					
Term	Effect	Coeff	SE Coef	T	P
Constante		10.520	0.8750	12.02	0.000
Angulo de entrada	-0.340	-0.170	0.8750	-0.19	0.847
Presión de guía	0.915	0.457	0.8750	0.52	0.604
Herramental	-4.734	-2.367	0.7144	-3.31	0.002
Tipo de Tarjeta	-0.744	-0.372	0.7144	-0.52	0.606
Angulo*Tipo de Tarjeta	-4.428	-2.214	0.8750	-2.53	0.015
Presión Guía*Tipo de Tarjeta	3.650	1.825	0.8750	2.09	0.043
Punto Central		3.331	1.5155	2.20	0.034

$\bar{y} = 4.94970$ F-Sq = 40.43% R-Sq(adj) = 30.00%

Tabla 4. 2. Sumario de resultados del experimento factorial para optimización de variables de soldado para control de desviación de estándar de resistencia en proceso de pulido de Vertical Lap.

En las *Figura 4. 2* y *Figura 4. 27*, es presentado un análisis multi - vari respecto del tipo de herramental de soldado comparando su desempeño contra la variables de ángulo de entrada (X9) y presión de la guía (X14). De los gráficos se establece que en cualquiera de los puntos de operación de estas variables, *el valor más bajo para la desviación estándar de Rc se obtiene cuando se utiliza la versión modificada del herramental de soldado (versión 1)*.

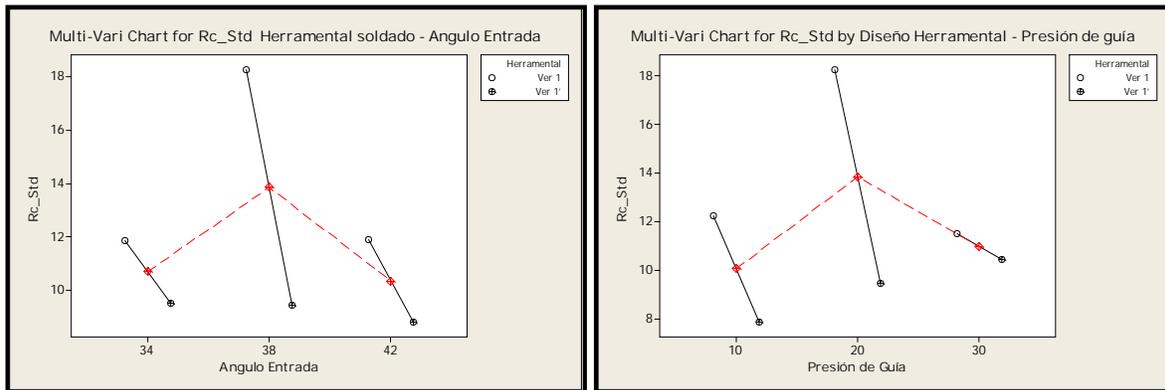


Figura 4. 2. y Figura 4. 3. Análisis multi - vari para el factor herramental de soldado (X3) en función de los puntos de operación del equipo de soldado de ultrasónico.

Los puntos nominales de operación del en condiciones normales para el equipo de soldado ultrasónico se tienen cuando el Angulo (X9) = 38° y la Presión de guía (X14) = 20 Psi. Del análisis es posible establecer que el punto nominal ofrece el valor esperado más elevado para la desviación estándar de Rc, teniéndose los valores más bajos

cuando los puntos de operación de estas variables son fijados por debajo o por encima del punto nominal de operación.

Realizando un análisis similar para la desviación estándar de Rc del elemento en función del tipo de tarjeta de soldado, los gráficos de las *Figura 4. 4* y *Figura 4. 49*, muestran los resultados indicados por el análisis de multi - vari.

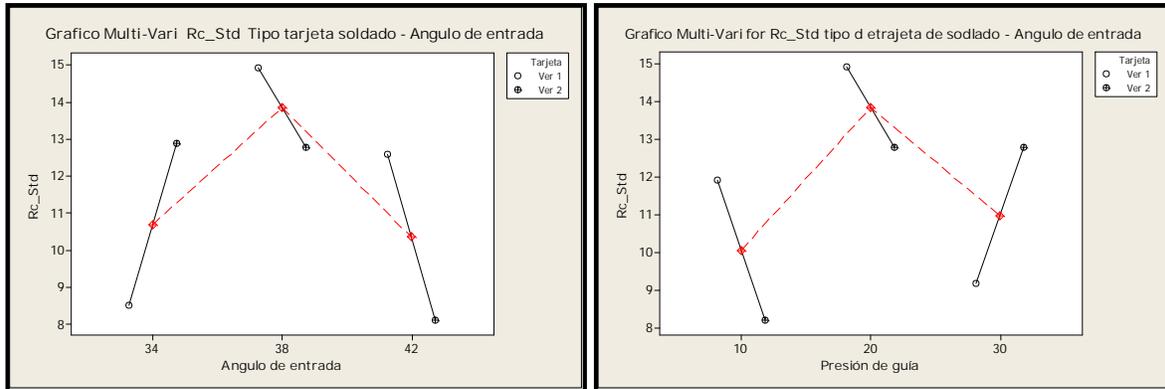


Figura 4. 4. y Figura 4. 5. Análisis multi - vari para el factor tipo de tarjeta (X16) de soldado en función de los puntos de operación del equipo de soldado de ultrasónico.

Confirmando los resultados de efectos estimados, **el tipo de tarjeta no muestra una relación para el valor de desviación estándar de Rc.** Al igual que lo observado para la relación del tipo de herramental de soldado contra los puntos operativos del equipo de soldado, se tiene que los mayores valores de desviación estándar de Rc son cuando el Angulo de entrada (X14) = 38°, Presión de guía (X14) = 20 PSI, es decir cuando el proceso observa las condiciones normales de operación. Por el contrario, se obtienen los menores valores de operación cuando el proceso se ajusta en valores diferentes por encima y por abajo del valor nominal replicando lo observado cuando se realizo el análisis en función del herramental. Esta conclusión será validada al ejecutar el análisis de optimización del modelo, en esta sección.

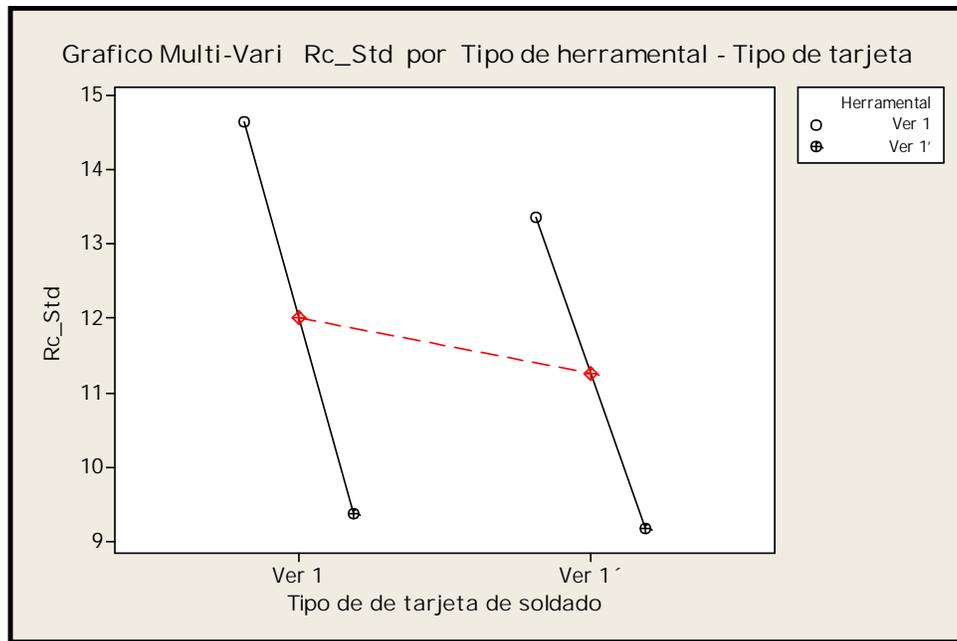


Figura 4. 6. Grafico multi - vari para Rc en función del tipo de nido de soldado y tipo de tarjeta de soldado.

En la *Figura 4. 6*, se muestra una grafica multi-vari para el valor de la desviación estándar en función del tipo de tarjeta de soldado (X16) y el tipo de nido de soldado (X3). Del grafico, es posible establecer y confirmar lo establecido en el sumario de factores estimados de la Tabla 5.1, el tipo de tarjeta de soldado no muestra una relación estadística con la desviación estándar de Rc, y por otra parte, y consistente también con lo observado en los análisis multi - vari de las figuras 5.1 a 5.4, el tipo de nido de soldado en su versión modificada (versión 1'), muestra un menor valor resultante para la desviación estándar de Rc.

En la tabla 5.2, se muestran los resultados de efectos estimados para el % de retrabajo en el en el proceso de pulido (Y2) de Vertical lap. De estos resultados del experimento, es posible establecer que para un valor de $\alpha = 0.05$, ninguno de los factores primarios muestran una relación estadística significativa con el valor resultante de retrabajo en el proceso de pulido de vertical. Al igual que no se establece ninguna interacción de segundo o tercer orden significativa en relación con el resultado de éste métrico secundario.

Efectos estimados y coeficientes para % Retrabajo						
Tern	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constante		0.22917	0.06234	3.63	0.001	
Angulo de entrada	0.13503	0.05250	0.07535	0.82	0.418	
Presión de guía	-0.12503	-0.05250	0.07535	-0.82	0.418	
Tipo de Herramental	0.13503	0.05250	0.06234	1.00	0.322	
Tipo de tarjeta	0.04167	0.02083	0.06234	0.33	0.740	
S = 0.431392 R-Sq = 5.41% R-Sq(adj) = 0.00%						

Tabla 4. 3 Sumario de resultados del experimento factorial para optimización de variables de soldado para retrabajo de pulido de Vertical Lap.

En la *Tabla 4.* , son indicados los resultados para los efectos estimados del experimento para el porcentaje de contactos eléctricos disponibles a través del proceso de Vertical Lap (Y3). Para un valor de $\alpha = 0.05$, no se identifica ninguno de los factores primarios como significativos respecto de esta variable de salida. No se establece ninguna interacción significativa (donde sea $P < \alpha$) de segundo orden. Se tiene una interacción de tercer orden con significativa, es decir con un valor de $P < \alpha$ o $P = 0.041 < 0.05$, establecida por la interacción de los factores:

Angulo de entrada*Presión de guía*Tipo Herramental

Efectos estimados y coeficientes para % de pérdida de contactos en pulido.						
Tern	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constante		24.228	4.613	5.25	0.000	
Angulo de entrada	7.251	3.625	4.613	1.79	0.250	
presión de guía	4.520	2.260	4.613	0.49	0.627	
Tipo de herramental	-0.477	-0.239	3.767	-0.06	0.950	
Tipo de tarjeta	-3.734	-1.867	3.767	-0.50	0.627	
Angulo de entrada*Tipo de tarjeta	5.210	2.605	4.613	0.56	0.575	
Angulo de entrada*Presión de guía	19.524	9.762	4.613	2.12	0.041	
Presión de guía*Tipo de herramental						
It Pt		3.980	7.990	0.50	0.621	
S = 26.0955 R-Sq = 3.33% R-Sq(adj) = 0.00%						

Tabla 4. 4 Sumario de resultados del experimento factorial para optimización de variables de soldado para el % de contactos eléctricos disponibles en Vertical Lap.

Esta interacción de tercer orden, es descartada de los análisis posteriores de optimización al no tener una validez práctica de aplicación en las posteriores fases de optimización del proyecto [1].

Continuando con el análisis de los resultados del experimento, en las figuras 5.6 y 5.7, se indica el análisis grafico de efectos principales para las variables de salida de desviación

estándar de Rc (Y1), y % de contactos eléctricos en proceso de pulido de vertical lap (Y3). La figura 5.8 muestra el grafico de interacciones del modelo.

Se realizan las siguientes observaciones respecto de estos resultados:

- Los valores más bajos para la desviación estándar de Rc, y para la minimización de perdida de contactos a través del proceso de pulido, se obtienen cuando se usa la versión modificada de herramental de soldado (versión 1').
- No se establece una variación significativa debido al tipo de tarjeta utilizado en el proceso, para ambos métricos Y1 y Y3, primario y secundario respectivamente.
- Contra las variables de ángulo de entrada y presión de la guía, se establece un pico en el desempeño cuando el proceso se mantiene en los puntos centrales de operación.
- El modelo presenta un curvatura en las variables presión de la guía y ángulo de entrada, tal y como se indica en el sumario de coeficientes estimados de la tabla 5.1, al tener un valor para $P < \alpha$ o $P = 0.034$.
- En el modelo de optimización del experimento ésta condición será revisada, de modo que puede definirse la mejor zona operativa.
- El análisis grafico de efectos principales e interacciones sobre la variable de retrabajo de pulido (Y2), no es incluido. Estos no son considerados a partir de este punto, al no tenerse ninguna relación significativa de los factores analizados por el experimento, este desempeño será luego validado como un factor de consecuencia a partir de los experimentos finales de optimización, que se muestran más adelante.

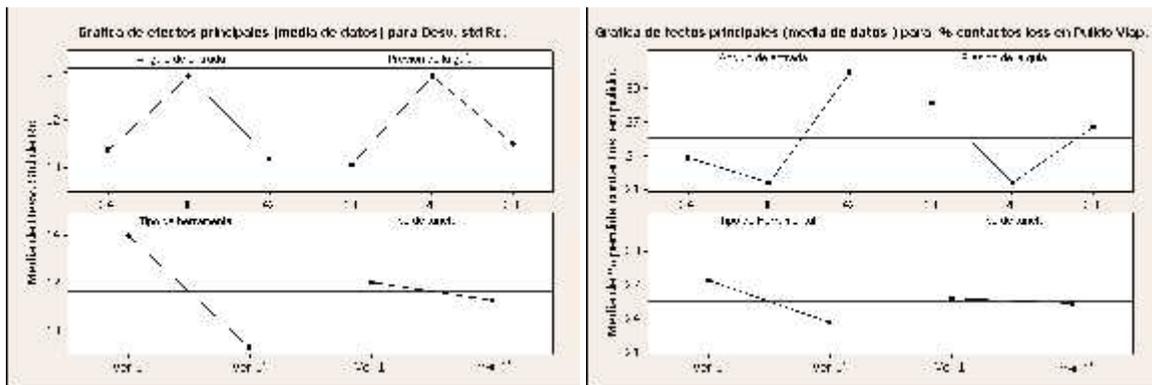


Figura 4. 7. y Figura 4. 8. Gráficos de medias de desempeño por condición experimental para las variables de salida de desviación estándar de Rc y % de contactos eléctricos en pulido.

- El análisis gráfico de interacciones de la figura 5.8, corrobora la presencia de 2 interacciones de segundo orden significativa Tipo de tarjeta * ángulo de entrada, y Tipo de tarjeta * presión de la guía.
- Con estas consideraciones, al utilizar el tipo de tarjeta actual o versión 1, es posible obtener el valor más bajo esperado de Rc siempre que se mantenga el valor de ángulo de entrada en el valor más bajo o 34° y la presión de la guía se mantenga en un valor de 10 PSI. Estas condiciones serán probadas en la optimización o validación del modelo.

Con lo anteriormente descrito en esta sección, es ahora posible poder establecer el modelo del experimento en cuestión para la variable de respuesta Y1 ó desviación estándar de Rc, y del % de contactos eléctricos perdidos a través del proceso de Vertical lap.

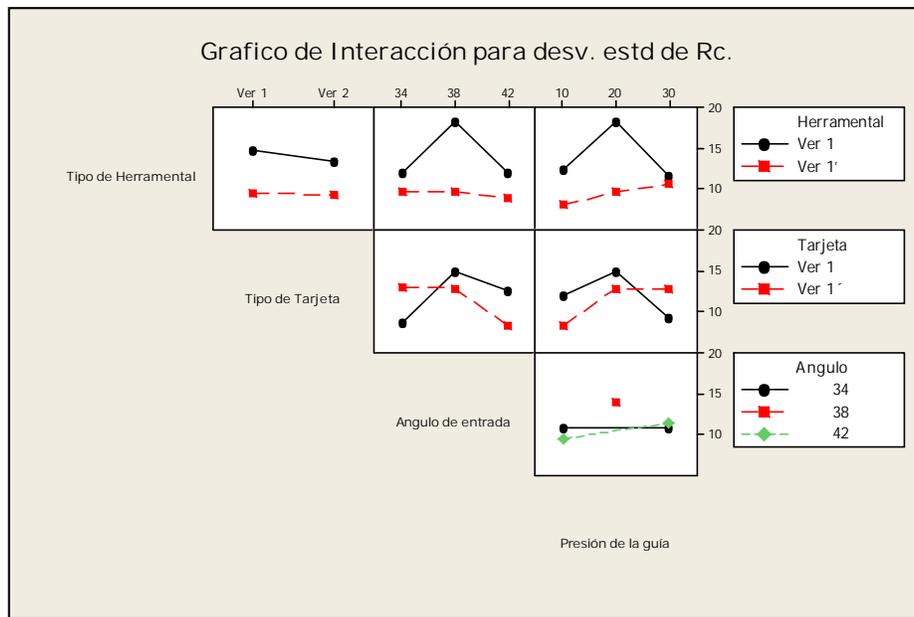


Figura 4. 9. Gráfico de interacciones para diseño de experimentos para Y1 desviación estándar de Rc.

4.2 Obtención del modelo matemático del proceso

De los resultados obtenidos e indicados en la tabla 4.1 para los valores de los coeficientes estimados, es posible ahora predecir el modelo respectivo. En la tabla 4.3 son indicados

los resultados complementarios para el análisis de varianza del experimento, de los cuales se pueden establecer los siguientes aspectos relevantes:

- El valor de P para el ajuste del modelo (“lack of fit” de su nombre en Inglés), indica un valor de $P > 0$ o $P=0.768 > 0.05$, con lo que es posible validar la suficiencia del ajuste del modelo. En caso contrario, indicaría que algunos términos significativos se han incluido en el error o viceversa [1]. El modelo entonces es aceptado.
- El valor de P para la curvatura del modelo, indica un valor de $P < 0$ o $P=0.034 < 0.05$. Con lo cual se confirma lo indicado en los análisis multi – vari y de efectos principales, el modelo resultante del experimento tiene curvatura.

Análisis de varianza para desv. estándar de Rc.							
	DF	Seq SS	Adj SS	Adj ME	F	P	
Efectos Principales	4	233.2	233.2	70.81	3.89	0.034	
Interacciones 2-ord	2	253.5	253.5	131.77	5.38	0.009	
Curvatura	1	118.3	118.3	118.32	4.83	0.034	
Error Residual	40	930.0	930.0	24.30			
Ajuste de modelo	13	217.7	217.7	18.14	0.67	0.768	
Error Residual	23	752.3	752.3	27.32			
Total	47	1645.0					

Tabla 4. 5 Sumario de análisis de Varianza para desviación estándar de Rc.

Al tenerse la presencia de curvatura en el modelo, éste podrá ser calculado, pero resultará ser sólo válido para los puntos actuales usados en el diseño de experimentos y en el punto central. No se podrá interpolar para determinar valores afuera de los puntos actuales del diseño, debido a que por medio de éste experimento no es posible precisar cuál de los factores es el más probable de ser el causante de la curvatura. El establecimiento de las causas de no linealidad puede ser determinado a través de la ejecución de un diseño de superficie de respuesta, o un diseño de experimento del tipo de diseño central compuesto [1]. El establecimiento de las causas de no linealidad, queda fuera del alcance del presente trabajo, por lo que la parte final de la experimentación se concretará a la validación del modelo actual en los puntos actuales de el experimento, como ya se ha indicado anteriormente en esta sección.

De los resultados indicados en la *Tabla 4.*, respecto del valor del coeficiente del modelo, tenemos que $P < 0$ o $P=0 < 0.05$. La hipótesis nula para el valor de una constante de un modelo se define como Constante = 0. Al tener un valor de $P < 0.05$ esta hipótesis nula es

rechazada a favor de la alterna, donde el valor probable de la constante es entonces $\hat{C} = 0$, siendo el mejor estimador el valor calculado en el modelo [1]. De la tabla 4.2 se tiene que $C = 10.52$.

La ecuación del modelo, se define entonces como:

$$R_c (Y1) = 10.52 - [0.17*\text{ángulo}] + [0.457*\text{presión}] - [2.367*\text{Herramental}] [0.372*\text{tarjeta}] - [2.21*\text{ángulo}*tarjeta] + [1.825*\text{presión}*tarjeta] \quad \text{ec. (4 - 1)}.$$

Las ecuaciones de los modelos correspondientes a los factores Y2, % de retrabajo, y Y3, % de contactos disponibles en vertical lap, no son obtenidas al no haberse encontrado factores significativos relacionados con el desempeño de estos, como ya se indicaba en las tablas 5.2 y 5.3. El modelo de optimización del experimento para Y1, estos serán incluidos como parte de la optimización completa de los resultados del experimento que se muestra en la siguiente sección.

4.3 Validación del modelo.

La *Figura 4. 10*, muestra los resultados del modelo de optimización para las condiciones experimentales a partir de la ecuación de proceso que se obtuvo en la sección anterior. En el análisis de optimización se busca seleccionar aquellos puntos operativos para los factores de entrada del modelo que permitan la determinación del valor óptimo de las de las variables de respuesta, es decir la optimización del modelo $Y = f(x)$ que se definió por la [Ec 4.1] Para el caso del proyecto, la optimización estará dada por la obtención del menor valor posible para los métricos que se definían en el experimento, siendo los resultados del modelo de optimación los siguientes:

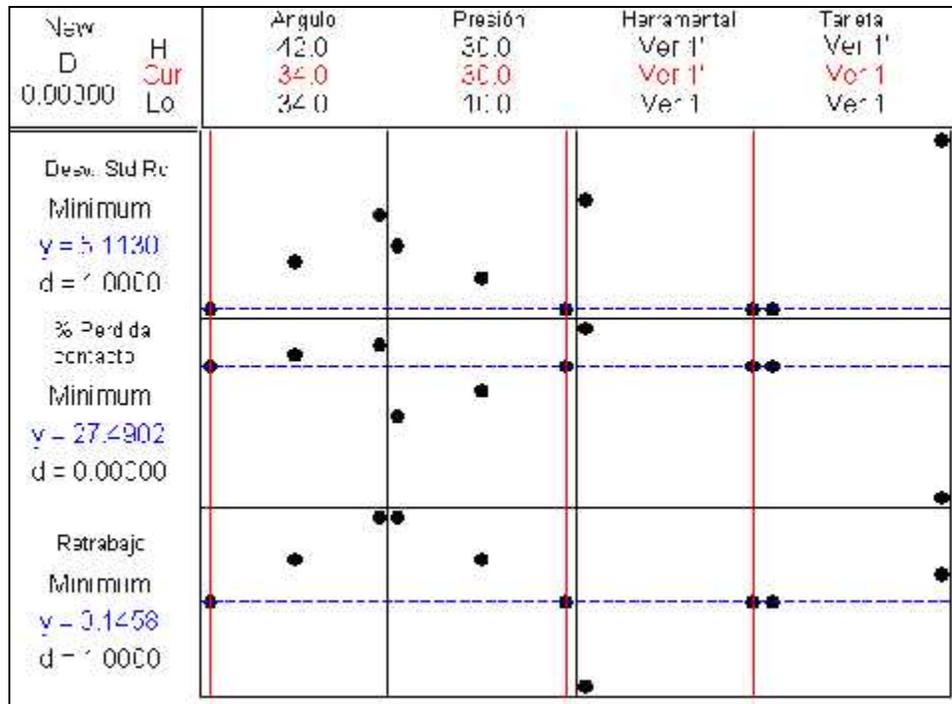


Figura 4. 10. Modelo de optimización para el diseño de experimentos, incluyendo las respuestas Y1, Y2, Y3 desviación estándar de Rc, % de retrabajo y % de contactos eléctricos perdidos en proceso de pulido de vertical lap respectivamente.

Del modelo anterior es posible establecer las siguientes conclusiones para la fase de mejora de éste proyecto:

1. Se tiene un efecto primario significativo, el tipo de herramental de soldado, donde el uso de la versión modificada (versión 1'), ofrece el menor valor posible para la desviación estándar de Rc (Y1).
 - 1.1. La versión modificada del nido incrementa el % de retrabajo en pulido (Y2), el diferencial entre el uso de la versión 1 a la versión 1' es < al 5%.
 - 1.2. La versión 1' del herramental de soldado sería seleccionada por tener una mejora mayor en el métrico de desviación estándar de Rc (Y1).
2. Las interacciones de la variable tipo de tarjeta con ángulo de entrada y presión de la guía son las siguientes significativas en el experimento.
 - 2.1. Los valores fijados para Ángulo de entrada = 34° y Presión de la guía = 30 Psi, trabajando con la versión 1 o no modificada de la tarjeta (figura 4.3), permiten la obtención de los valores más bajos de la desviación estándar de Rc (Y1) y retrabajo de pulido (Y2).

- 2.2. El diferencial del porcentaje de pérdida de contactos en pulido es mayor al trabajar con la tarjeta versión 1 en estas condiciones.
- 2.3. El diferencial entre el peor y el mejor nivel para esta variable de salida, es < 5%, con lo que resulta ser más significativa la optimización obtenida en los otros 2 métricos, siendo la versión 1 de tarjeta preferida para el la condición final del proceso, siendo recomendable la utilización de la tarjeta de soldado versión 1.
3. De los factores de entrada (X9) y Presión de la guía (X14):
 - 3.1. El valor de la desviación estándar de Rc se incrementa conforme es incrementado el valor del ángulo.
 - 3.2. El valor de la desviación estándar de Rc se reduce conforme el valor de la presión de la guía es menor.
 - 3.3. El valor de la desviación estándar de Rc no es lineal con estos factores, existe curvatura en el modelo y debe de ser investigada para determinar que factor o factores son los causantes de la no linealidad en el modelo, como ya se ha indicado en la sección anterior.
 - 3.3.1. Esta actividad queda fuera del alcance del presente proyecto.
4. Con lo anterior, las condiciones finales recomendadas para la reducción del valor de la desviación estándar de Rc (Y1), a partir de los resultados de la experimentación de éste proyecto, se presentan como :
 - 4.1. Angulo de entrada de alambre (X9) = 34°.
 - 4.2. Presión de la guía (X14)= 30 Psi.
 - 4.3. Tipo de Herramental de soldado (X3) = Versión 1´.
 - 4.4. Tipo de tarjeta de soldado (X16) = Versión 1.
5. Se ejecuta una experimentación para la validación de las condiciones anteriores como parte del proceso de implementación, que se muestra en el siguiente capítulo de este proyecto

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

Con los resultados obtenidos en la fase de experimentación y a partir de las recomendaciones obtenidas para el proceso de soldado ultrasónico de wire bond, se define una etapa de experimentación que permita la optimización de estas y que sirva como la base de su implementación en el proceso. En la *Tabla 5. 1*, se indican las condiciones de la prueba.

Condición	Factores	Factor de prueba	Efecto a validar.
Valores de experimentación.	X3= Versión 1' X9= 30 PSI X5= 34° X16= Versión 1	Sin prevención de cortos	Validación de resultados de experimento.
Validación	X3= Versión 1' X9= 30 PSI X5= 34° X16= Versión 1	Con prevención de cortos	Condiciones experimentales + Condición de optimización

Tabla 5. 1 *Tabla sumario de los factores de estudio por medio del diseño de experimentos de Wire Bond Vertical lap.*

El objetivo en general de esta prueba, es validar las condiciones óptimas obtenidas a través del experimento en la fase de mejora, valorando en adición una condición en el proceso de pulido de vertical lap, relacionada con la prevención de pérdida de contactos eléctricos en el pulido a consecuencia de cortos circuitos, de la cual el diseño de experimentos de la sección anterior se logró un nivel mejorado a partir de la utilización de la versión modificada del instrumental de soldado. En esta prueba, se validará este cambio adicional en vertical lap, del que en el capítulo 3 del presente trabajo (sección 3.2) factor (X1), se demostró que la inclusión de un mecanismo de prevención de cortos

sobre el material en el proceso de pulido, además de lograr dicho objetivo, favorece la obtención de un valor más bajo para la desviación estándar de Rc.

Para la prueba, se constituyen los 3 grupos de evaluación que se indican en la *Tabla 5. 1.*, realizando un análisis de varianza para la validación del resultado. Se analiza también la relación que los contactos eléctricos disponibles antes y durante el proceso de pulido tienen contra el valor de la desviación estándar de Rc, esto por medio de un análisis de regresión lineal. Tal relación ha sido observada ya en las fases de pruebas de hipótesis y de diseño de experimentos, y en esta sección se terminara de establecer su relación, de modo que el modelo del proceso para el métrico primario pueda ser completado y se establezcan las condiciones finales de implementación en caso de ser favorables, y las condiciones de control de proceso que definirán en esta sección.

Resultados de Prueba.

Los resultados de la prueba de varianza se indican en la *Figura 5. 1* y la *Figura 5. 2*

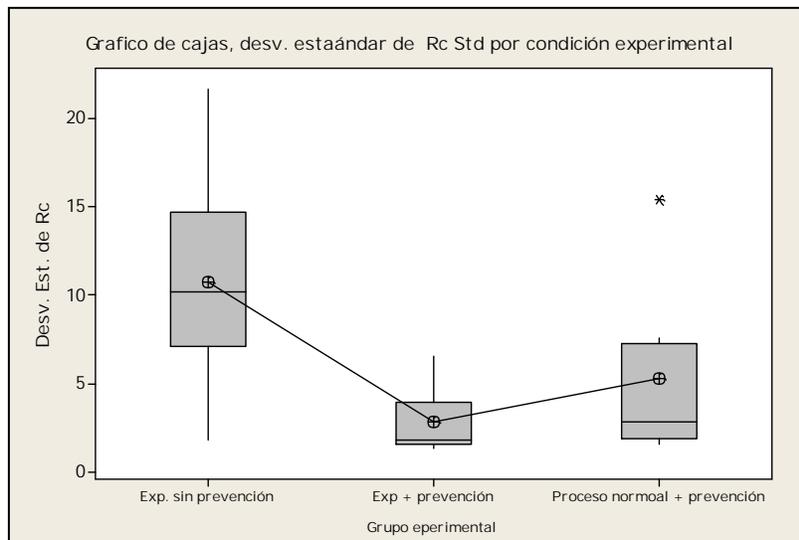


Figura 5. 1 Gráfico de cajas para la desviación Estándar de Rc, en función de las condiciones de los grupos de prueba.

De la grafica de cajas de la *Figura 5. 1*, es posible establecer que la condición experimental sin prevención de cortos, presenta la mayor dispersión en los resultados de la desviación estándar de Rc. La condición experimental con prevención de cortos, muestra el resultado con la desviación estándar más baja de los grupos experimentales.

En el análisis de varianza se tiene un valor para la prueba de $P < 0.005$, para los resultados de esta prueba, *Figura 5. 2*. De ahí la comparación de intervalos de confianza, se puede establecer que la condición experimental sin prevención de cortos es estadísticamente diferente a las condiciones de prueba que utilizan tal mecanismo. Al comparar los dos grupos que utilizan el mecanismo de prevención de cortos entre sí, ambos grupos son comparables, aunque la dispersión observada para el grupo que utiliza las condiciones mejoradas en el proceso de soldado según las conclusiones en la fase de mejora (secciones 4.2 y 4.3), observa un valor menor de R_c al ser el resultado de esta prueba para el grupo 2 de $= 2.81$ ohms contra $= 5.27$ ohms para el grupo 3. Con lo que inicialmente es preferida la definición de proceso establecida por las condiciones del grupo 2.

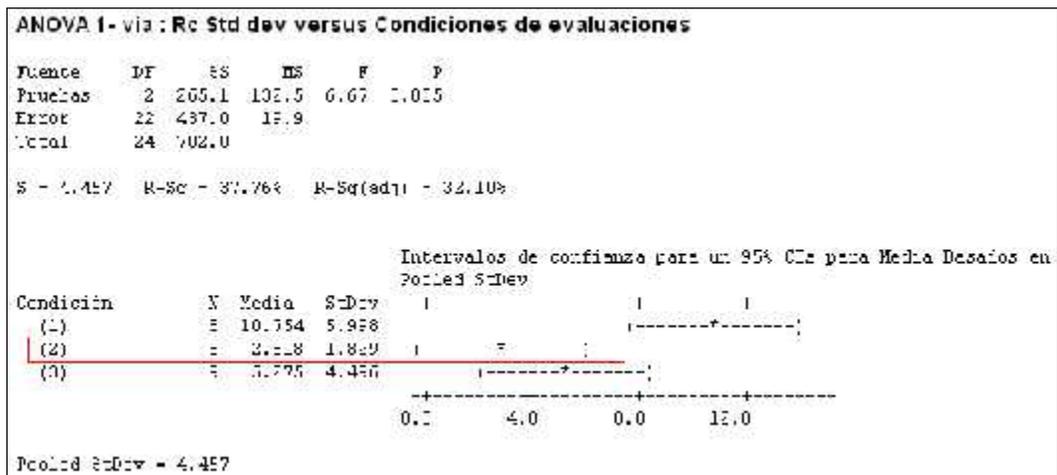


Figura 5. 2 Resultados de análisis de varianza para prueba final de proceso donde (1) Condiciones óptimas sin prevención de cortos, (2) Condiciones óptimas + prevención de cortos, (3) Proceso normal + prevención de cortos.

Analizando ahora los resultados para la disponibilidad de contactos eléctricos y la relación establecida por estos contra el valor de la desviación estándar de R_c , en la *Figura 5. 3* se indican los resultados de una prueba de proporciones para la pérdida de contactos a través del proceso de pulido de vertical lap.

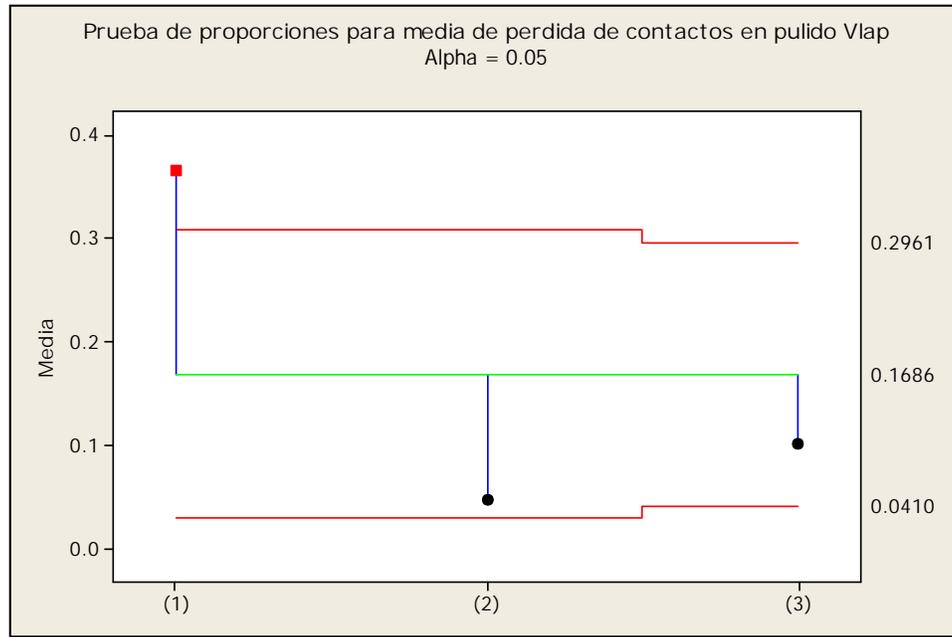


Figura 5. 3 Resultados de prueba de proporciones para la media de contactos perdidos en el proceso de pulido, donde (1) Condiciones óptimas sin prevención de cortos, (2) Condiciones óptimas + prevención de cortos, (3) Proceso normal + prevención de cortos.

En los resultados de esta prueba es posible establecer que para un valor de $\alpha \leq 0.05$, la condición experimental sin prevención de cortos, muestra una mayor proporción en la pérdida de contactos al compararse con los grupos que utilizan dicho mecanismo. Dentro de estos, resultan ser comparables entre sí al observarse dentro de la misma zona de límites de la para el valor de $\alpha = 0.05$, aunque el grupo de prueba de condiciones mejoradas de proceso con prevención, observa un valor para % de contactos perdidos en pulido inferior al grupo de condiciones normales de proceso.

Para finalizar con los resultados de esta prueba de optimización, en la *Figura 5. 4* se indican los resultados obtenidos para la prueba de proporciones que valida los contactos eléctricos disponibles al inicio de pulido. Esta condición no había sido analizada en las secciones anteriores, sin embargo como ya se indicaba, su análisis permitirá el entendimiento completo del modelo del proceso para el métrico primario del proyecto y sus conclusiones.

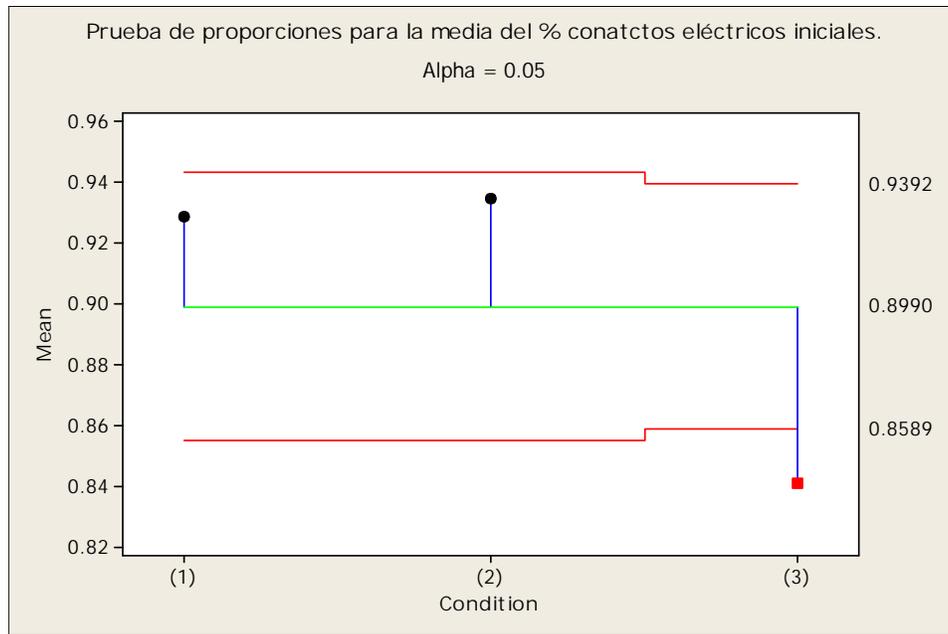


Figura 5. 4 Resultados de prueba de proporciones para la media de contactos eléctricos al inicio de pulido donde: (1) Condiciones optimas sin prevención de cortos, (2) Condiciones óptimas + prevención de cortos, (3) Proceso normal + prevención de cortos.

La prueba de proporciones para esta variable para un valor de $\alpha=0.05$ indica que el grupo de proceso normal + prevención de cortos es significativamente diferente teniendo un % de contactos iniciales menor al de los grupos de que utilizan las condiciones optimizadas del proceso de soldado, siendo estos dos grupos estadísticamente comparables entre sí, con lo que se valida una posible mejora para este métrico que confirma la bondad de los resultados discutidos en las secciones 4.2 y 4.3.

Continuando con el análisis sobre contactos eléctricos, en las figuras 5.4 a 5.6 se muestran los resultados de los análisis de regresión para el valor de la desviación estándar de R_c en función de los %'s de contactos eléctricos para: % antes de pulido ó iniciales, % contactos perdidos en pulido, y % contactos finales en pulido. Ello permite dos objetivos importantes de esta etapa de optimización:

- La definición del modelo matemático que regula el desempeño del métrico primario del proyecto la conclusión final en función de los contactos eléctricos disponibles en pulido.
- Con lo anterior, se logra también la definición de las conclusiones finales respecto de las mejores condiciones del proceso en esta etapa de optimización.

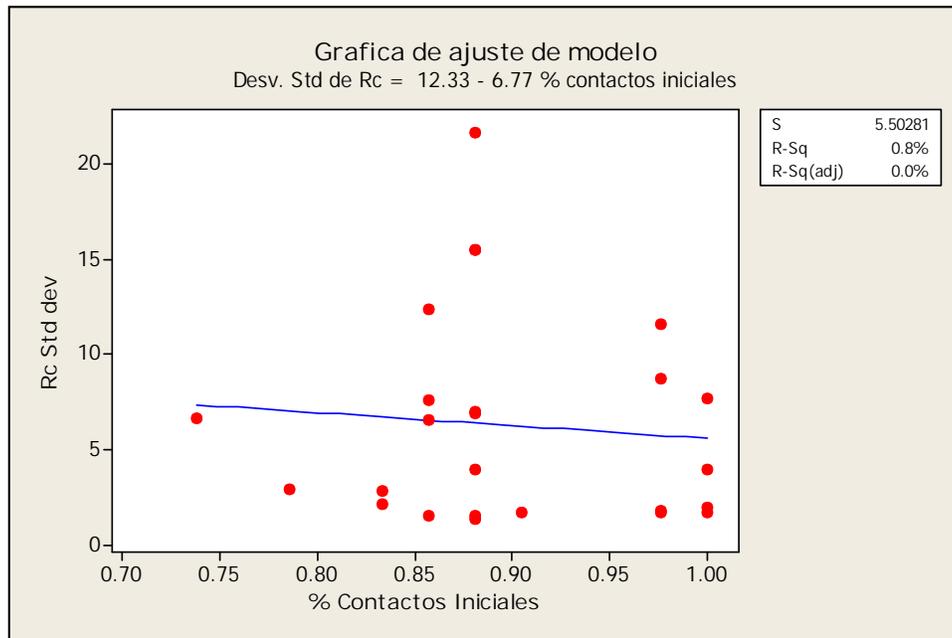


Figura 5. 5 Resultados del análisis de regresión para los resultados de la desviación estándar de Rc en función de % contactos eléctricos iniciales

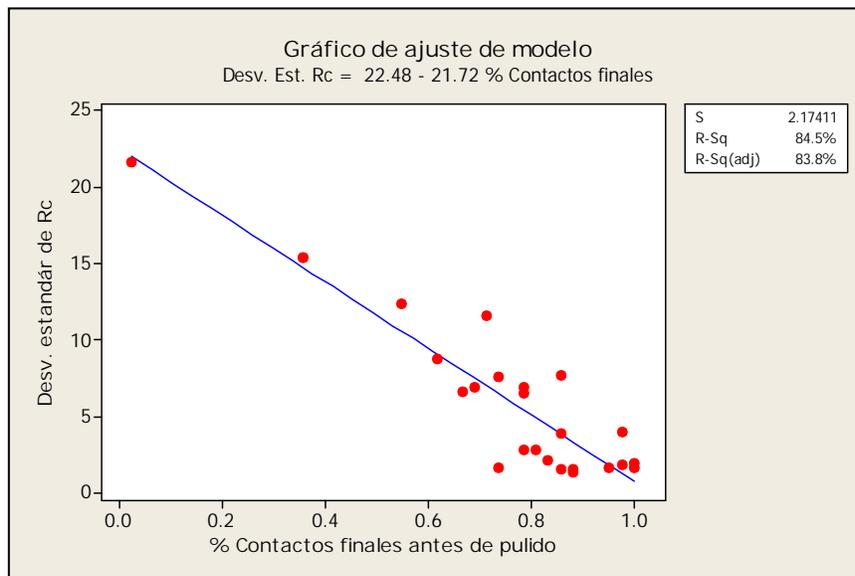


Figura 5. 6 Resultados del análisis de regresión para los resultados de la desviación estándar de Rc. % contactos eléctricos finales (fig. 5.5).

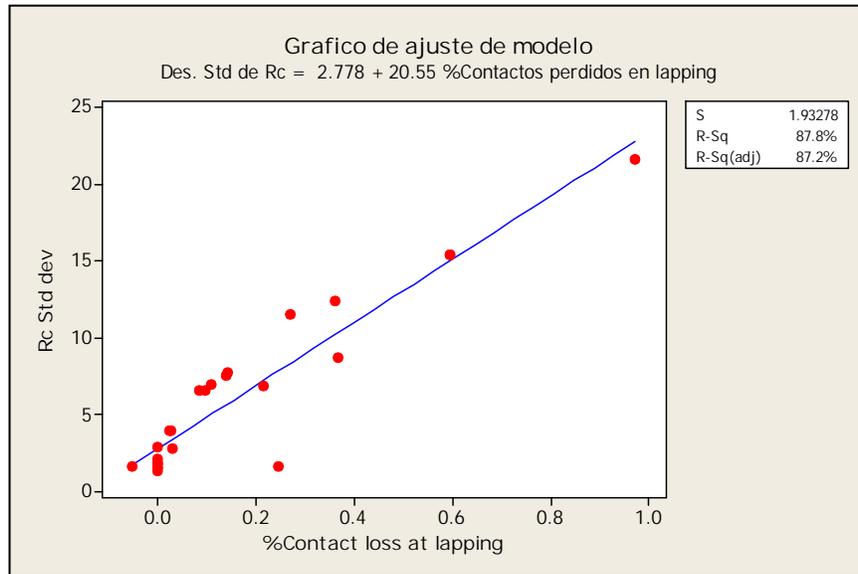


Figura 5. 7 Resultados del análisis de regresión para los resultados de la desviación estándar de Rc. Porcentaje de pérdida de contactos en pulido (fig. 5.6).

El análisis individual de los resultados para los análisis de regresión lineal anteriores, permite observar lo siguiente:

- El valor del % de contactos eléctricos iniciales muestra el valor de regresión más bajo al tenerse un valor de R S-q (ajustado) = 0%.
- El valor del % de contactos finales muestra un valor de R S-q (ajustado) = 83.8%.
- El valor del % de contactos perdidos en pulido muestra un valor de R S-q (ajustado) = 87.2%.

Al tenerse estos tres factores involucrados en el proceso, con diferentes niveles en el valor de ajuste, un análisis para el mejor ajuste de modelo como se muestra en la tabla 5.2 permite establecer cuáles de los factores anteriores lleva a la obtención del mejor ajuste de modelo lineal [1].

Model	R Sq	R Sq(adj)	Mallows		Factores		
			Cp	S	1	2	3
1	87.3	87.2	1.9	1.9328			X
1	84.4	83.4	7.9	2.154			X
2	88.4	87.4	2.6	1.9209	X	X	
2	80.0	87.0	2.0	1.9210	X	X	
3	88.5	87.1	4.0	1.9391	X	X	X

Tabla 5. 2 Tabla sumario para el análisis de mejor ajuste de modelo lineal en función de las variables de disponibilidad de contactos donde (1) % de contactos eléctricos iniciales, (2) % contactos finales y (3) % de contactos perdidos en pulido.

El máximo valor para R S-q (ajustado) = 87.4% es obtenido cuando se incluye en el modelo los factores: porcentaje de contactos eléctricos iniciales y el porcentaje de contactos perdidos a través de proceso de pulido, como se valida en la tabla de resultados, *Tabla 5. 3*.

Ecuación de Regresión					
Rc Std dev = 8.39 - 6.24 % Start Good Base 42 + 20.5 %Contact loss at lapinc					
Predictor	Coeff	SE Coef	T	P	
Constant	0.394	4.970	1.69	0.105	
% Contactos Iniciales	-6.245	3.500	-1.78	0.089	
% Contact Perdidos pulido	20.541	1.591	12.91	0.000	
S = 1.02389 D Sq = 88.4% R Sq(adj) = 87.4%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	620.86	310.43	84.13	0.000
Residual Error	22	81.18	3.69		
Total	24	702.04			
Source	DF	Seq SS			
%Contactos Iniciales	-	5.58			
%Contact perdidos en pulido	-	615.29			

Tabla 5. 3 Resultados del modelo para desviación estándar de Rc a partir de las variables identificadas en el análisis de regresión para el mejor ajuste de modelo.

De los resultados anteriores se define a ecuación del modelo en función de los contactos eléctricos disponibles antes y durante el proceso de pulido de vertical se establece en la ecuación [Ec. 5.1] :

$$Rc = 8.39 - 6.24 (\% Ce_0) + 20.5 (\% Ce_{lap}) \quad [Ec. 5. 1]$$

Donde:

Rc: Desviación estándar de Rc en el proceso de pulido (Y1 métrico primario).

% Ce₀: % de contactos eléctricos de pulido iniciales.

% Ce_{lap}: % de contactos eléctricos de pulido perdidos en proceso de pulido.

Esta ecuación en conjunción que la obtenida para los resultados de la fase mejora sobre las condiciones óptimas en el proceso de soldado que se definen por la ec 4 -1, establecen el modelo de operación y control del métrico primario (Y1); respecto de las 2 etapas críticas del proceso que determinan su resultado final: soldado ultrasónico y el pulido de vertical lap. En términos prácticos, la ecuación 4-1 permite el entendimiento de los puntos óptimos en el proceso de soldado para la maximización de los contactos eléctricos disponibles para el pulido, y como una consecuencia directa, la optimación del valor de la desviación estándar de Rc. La ecuación 5-1, establece por otra parte el modelo matemático que permite entender la desviación estándar de Rc como una función directa de los contactos eléctricos disponibles antes y durante el proceso de pulido, lográndose con ello el entendimiento completo de los factores participantes en el control del métrico primario. Estos serán a su vez, el punto de inicio para la definición de los controles requeridos de proceso que permitan el sostenimiento de dichos valores en sus niveles óptimos.

Conclusiones de la fase de optimización.

- El valor de de Rc es regulado por la disponibilidad de contactos eléctricos de pulido iniciales y los contactos eléctricos perdidos a través del proceso de pulido.
- Las condiciones mejoradas del proceso de soldado resultan en una consecuente mejora de la desviación estándar de Rc.
- El mecanismo de prevención de corto circuitos a través del proceso de pulido, es demostrado ser la mejor opción de optimación en el proceso de pulido al lograr con ella la mayor disponibilidad de contactos y el mejor valor de Rc, por lo que se recomienda su incorporación al proceso de Vertical Lap como un cambio.
- La etapa de control de proceso se debe de enfocar al control de los métricos de % Ce_{10} y % Ce_{lap} , al haberse demostrado su importancia para el logro del mejor valor del métrico primario del **Rc**.

5.2 Control de las variables independientes y monitoreo de las dependientes

El éxito de un proyecto de Seis Sigma es medido en función de los resultados obtenidos en el tiempo. Al concluirse la fase de control, los métricos financieros de los proyectos se monitorean por un período de al menos tres meses a un año, y se validan al finalizar dicho período. Esta fase es conocida en la metodología 6 sigma, como la fase de Realización [1]. Aquí es que se establece la importancia de la fase de control, pues es en esta fase donde se busca, replicar, sistematizar e institucionalizar las mejoras que se han llegado a alcanzar a lo largo del desarrollo de las fases previas del proceso de 6 sigma.

Como una parte clave de las herramientas encaminadas a tal objetivo, el control de las variables tanto de entrada como de salida, identificadas como críticas a lo largo del proyecto, se formalizará a través de un documento conocido como Plan de Control.



Figura 5. 8 Esquema representativo de elementos integrales (no siendo los únicos) de un plan de control de procesos.

El Plan de Control es uno de los entregables del proceso de 6 sigma, y refleja en esencia la estrategia de control de proceso en el largo plazo, asegurando que las mejoras alcanzadas persistan y se mantengan en control. Una observación importante respecto del plan de control, es el establecido por la ejecución de éste en la fase de medición, donde, de ejecutarse, permite representar el estado de control actual del proceso, tal y como opera en ese momento, esto permite al equipo de 6 sigma identificar las áreas con un control deficiente. En la medida en que se agreguen nuevos controles al proceso, el plan de control debe de ser actualizado para mantener un fiel reflejo de su estado actual. En sincronía con ésta idea, los espacios sin control adecuado que hubieran sido

descubiertos en la fase medición, deberán de ser corregidos y actualizados conforme se avanza en la ejecución del trabajo de 6 sigma, hasta llegar una versión completa en la fase de control, siendo el caso del presente proyecto [1].

El propósito de un plan de control puede definirse por los siguientes elementos:

- Mantener el proceso corriendo dentro de un objetivo, generalmente el métrico primario del proceso.
- Minimizar la variación alrededor de tal objetivo.
- Minimizar los ajustes requeridos al proceso, así como la prevención de sobre - ajustes al proceso.
- Siempre alcanzar los requerimientos del cliente.

Los objetivos del plan de control pueden definirse como:

- Institucionalizar las mejoras de proceso.
- Identificar las áreas que requieren de educación y trabajo adicionales.
- Conformarse como un punto único de referencia para información control de proceso.

El Plan de Control se crea principalmente a partir de la base al AMEF, conteniendo 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 establecimiento de un plan de control, es común algunas veces que se tengan más controles sobre variables de salida que sobre variables de entrada. En este sentido, es importante enfatizar que uno de los objetivos primarios de la metodología de seis sigma es el establecimiento de la relación que se observa entre las variables de entrada y las variables de salida, por medio de la función $Y = f(x)$. De esta forma, la aplicación de controles sobre las variables de entrada, resultará en controles sobre las variables de salida en forma consecuente, y por tanto debe de darse un énfasis especial a esto durante el establecimiento del plan de control [1].

El plan de control para las variables críticas del presente proyecto es indicado en la *Tabla 5.4*

Plan de Control Vertical Lap.												
Fecha :		Abril 2007			<input type="checkbox"/> Prototipo <input type="checkbox"/> Launch-line <input type="checkbox"/> Produccion			Contacto / Extension				
Producto :		Femto Vertical Lap			Numero de Plan de Control : PC WBVL1.1 / 2007			Juan Carlos Perez ext. 3700 - R. Montemayor ext 3544				
Proceso :		Soldado Ultrasonico Wire Bond. Rev: 1.1 ABR 2007			Celda de producción para Pico / Femto			Equipo de trabajo: Juan Carlos Perez / R.Montemayor Fecha de Aprobacion en piso: Mayo 2007				
Paso del Proceso	Métrico	Entrada ó Salida	Descripción	Unidad de Medida	Objetivo Nominal	Especificación	Metrología	Método de Control	Frecuencia	Métrico Controlado Por	Control de Proceso	Regla de decisión / Acción correctiva
Proceso de soldado Ultrasonico	A. Fuerza de Soldado (X13)	Salida	Esta prueba mide punto ruptura de punto de soldado sobre producto, menor fuerza de soldado incide en mayor probabilidad de alambres no soldados.	Grmf	1.8 grmf	LSC = 2.1 LIC= 1.5 Sigma < 1	Equipo de prueba y arrastre Dage 5000.	Grafico de control SPC X y S .	2 piezas cada 6 horas o cada cambio de punta de soldado.	Equipo mantenimiento de soldado Ultrasonico K/S.	Carta de control en sistema Web SPC.	1 punto arriba o abajo límite de control. Ajustar potencia de soldado, revalidar valor de fuerza de soldado, equipo se libera si esta dentro de spec.
Proceso de soldado Ultrasonico	C. Presión de la guía de aire. (X15)	Entrada	Presión de la guía de aire que dirige el flujo del alambre de oro a través de la punta de soldado en equipo de soldado.	PSI	10	LSC=10.5 LIC= 9.5	Lectura del Indicador de Presión del equipo de soldado.	Registro de control de presión por manufactura.	1 vez por turno.	Mantenimiento.	Registro de Bitácora de mantenimiento.	1 Punto fuera de límites / Detener equipo de soldado Ajustar presión al objetivo, Manual mantenimiento equipo de soldado MMP DF1MA14034
Proceso de soldado Ultrasonico	D. Angulo de entrada de alambre de soldado (X9)	Entrada	Angulo de entrada a la punta de soldado ultrasonico.	o	34°	LSC=35 LIC=33	Medición con indicador dial para equipo de soldado.	Registro de control por mantenimiento	1 vez por dia.	Mantenimiento.	Registro de Bitácora de mantenimiento.	1 Punto fuera de limite, ajustar ángulo en objetivo, Manual de mantenimiento de equipo MMP DF1MA14034
Carga de Soldado Vertical Lap	E. Aplicación cinta prevención de cortes (X1).	Entrada	Validación de la alineación de la cinta de prevención de cortes.	mm	1.25	LSC=1.29 LIC=1.21	Microscopio de Inspección Quadrachek	Bitácora de control de mantenimiento	1 vez por turno.	Mantenimiento.	Bitácora de control de mantenimiento	1 punto fuera de límites // Detener proceso de soldado ejecutar acción correctiva Boletín #002803602 y plan de mantenimiento correctivo MMP de fixtures No. DF100362
Carga de Soldado Vertical Lap	F. Estación de carga de soldado ultrasonico (X10)	Entrada	Alineación de material en Herramental de soldado	mm	10.1	LSC=10.13 LIC=10.07	Microscopio de Inspección Quadrachek	Bitácora de control de mantenimiento	1 vez por turno.	Mantenimiento	Bitácora de control de mantenimiento	2 punto fuera de límites // Detener proceso de soldado ejecutar acción correctiva Boletín #002803602 y plan de mantenimiento correctivo MMP de fixtures No. DF100362
Carga de Soldado Vertical Lap	G. Estación de carga de soldado ultrasonico (X12)	Entrada	Alineación de material en Herramental de soldado	mm	10.1	LSC=10.13 LIC=10.07	Microscopio de Inspección Quadrachek	Bitácora de control de mantenimiento	1 vez por turno.	Mantenimiento	Bitácora de control de mantenimiento	2 puntos fuera de límites // Detener proceso de soldado ejecutar acción correctiva Boletín #002803602 y plan de mantenimiento correctivo MMP de fixtures No. DF100362

Tabla 5. 4 Plan de control para el proceso de Vertical Lap.

En el plan de control de la *Tabla 5. 4* se muestran tanto las variables de entrada como de salida del proceso, que han sido identificadas a lo largo de la ejecución del proyecto.

5.2.1 Gráficos de control y de monitoreo

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

Los trabajos del Doctor Shewhart, fueron publicados en 1931 en su libro “Control Económico de Productos Manufacturados con Calidad (Economic Control of Quality Manufactured Product)”. La aplicación intensiva de CEP ocurre en los años 40’s en la industria militar Americana durante la época de la segunda guerra mundial [1].

La idea central alrededor del CEP es que todos los procesos, a lo largo del tiempo presentan cierta variación, la cual puede ser subdividida en dos componentes:

- Un componente estable que es inherente al proceso. El *Dr. Shewhart* atribuye a la probabilidad de ocurrencia de causas no descubiertas, y que se denomina como variación aleatoria de proceso.
- Un componente intermitente atribuido a causas asignables que pueden ser descubiertas, tratadas y eliminadas del proceso.

La variación de una característica particular del proceso puede ser cuantificada por el muestreo de esta misma y la estimación de su distribución. Por otra parte los cambios en la distribución pueden ser revelados por el registro de los parámetros contra el tiempo.

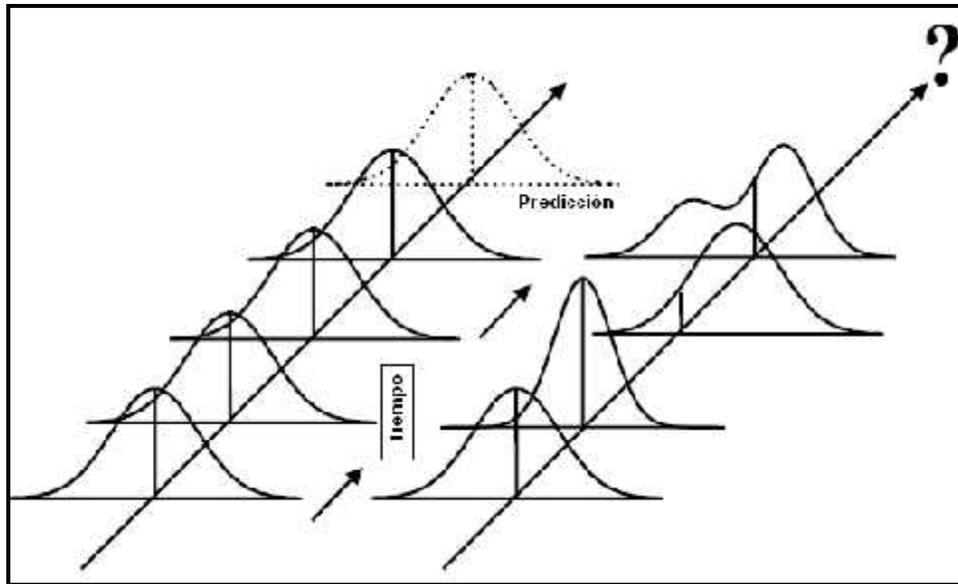


Figura 5. 9 Casos de variación en procesos en función del tiempo, las distribuciones a lado izquierdo de la figura representale aso de un proceso donde sólo existen variaciones inherentes del proceso, las distribuciones de proceso en lado derecho de la figura representan el caso de un proceso que se encuentra sujeto a fuentes de variación especial.

Haciendo referencia en las distribuciones de la *Figura 5. 9*, si en el proceso existen sólo fuentes de variación común, la salida del proceso conforma una distribución estable y predecible. Si en el caso contrario existen causas de variación especial, el proceso no es estable y en especial no es predecible. Predecible no necesariamente significa algo bueno para el proceso, es decir puede tenerse un proceso predecible cuya salida está en un nivel de pérdida de scrap alto y ser un reflejo sólo del estado actual del proceso [3].

	En Control	Fuera de Control
El Proceso cumple las especificaciones.	Caso 1	Caso 3
El Proceso no cumple las especificaciones.	Caso 2	Caso 4

Tabla 5. 5 Condiciones de procesos típicas de desempeño de procesos.

El CEP es un entregable de un proyecto 6 sigma al igual que el plan de control, cuya función primordial es la del monitoreo del proceso para prevenir que la variable en monitor no se degrade, aprender cuando y como el proceso cambia y que en general en conjunto

con las otras herramientas del proceso y entregables del proceso DMAMC, coadyuve a la mejora del proceso en el tiempo [1].

Tener procesos con desempeño en control estadístico, no es una condición típica y normal de los procesos. El caso 1 indicado en la figura 5.9, es un caso ideal y sería el objetivo final a alcanzar por proyecto de 6 sigma. Muchos procesos podrán encontrarse en los casos 2,3 y 4. Es en estos casos donde la aplicación de un sistema de CEP permitirá los pasos iniciales para el entendimiento de las formas y fuentes de variación presentes en un proceso [1].

Como se ha mencionado a lo largo de éste trabajo, en el entendimiento de la relación que establecen entre las variables de entrada contra las variables de salida por medio del entendimiento de $Y = f(X)$, determinará al igual que en el caso del plan de control que variables deben de ser monitoreadas por medio de un sistema de CEP, de modo que al controlarse variables de entrada, invariablemente estamos controlando las salidas críticas o de interés del proceso. Este es el paso inicial a tomar en la definición de un plan para la implementación de un CEP.

Un plan para la implementación de un sistema de CEP, es fundamental para el éxito en la ejecución del mismo. Este plan debe de ser tan importante como cualesquier otro que desarrolle como parte del proceso de 6 sigma. Agregando a lo mencionado en el párrafo anterior, los elementos básicos de dicha planeación se constituyen por los siguientes [2]:

- Objetivo del gráfico
- Variables, medición y muestreo
- Probables causas especiales
- Acciones contra puntos fuera de control
- Sistema de administración del grafico y programa de análisis

Reforzando sobre la importancia de la definición de un plan para la implementación de un plan para CEP, retomamos los conceptos que *W. Edwards Deming* establecía al respecto "...Uno puede observar en la práctica incontables gráficos de control, la mayoría de los cuáles desafortunadamente son usados incorrectamente. Es de temerse que muchos de ellos representan más perjuicio que beneficio. Un requerimiento necesario para el uso

exitoso de un gráfico de control es el conocimiento al menos superficial de la teoría que hay detrás de ellos....”. “...Otro punto es el que la mayoría de los gráficos de control, aún si son usados correctamente, son usados en puntos de proceso alejados de la fuentes de variación, o en puntos de proceso no significativos, de modo que pudiesen llegar representar un verdadero beneficio substancial...”.

“...Más aún, mucha gente cree que el uso de los gráficos de control es el final exitoso de todo un esfuerzo. He visto, por ejemplo, control estadístico de la contaminación, cuando el gran problema a resolver es la eliminación de contaminación en si misma...” [1].

En la *Figura 5. 10*, se muestra un esquema general un diagrama de decisión respecto de las consideraciones que se hacen necesarias tomar en cuenta hasta llegar a la selección del gráfico de control adecuado para aplicar en un proceso.

Haciendo uso de los anteriores conceptos y apoyados en el diagrama de decisión de la *Figura 5. 10*, es seleccionado el tipo de grafico de control a utilizar en el proceso de control de las variables de entrada para % de contactos eléctricos disponibles al inicio de pulido y los contactos eléctricos perdidos durante el proceso de pulido. Llegándose al uso de un gráfico del tipo medias y Rangos. En el diagrama de decisión de la *Figura 5. 10*, es indicado el proceso de selección de los gráficos de control para estos parámetros [2].

En los gráficos de la Figura 5. 11 y

Figura 5. 12, son indicados los gráficos de control del proceso que quedan establecidos:

- Grafico X y R para el porcentaje % de contactos iniciales.
- Grafico X y R para el porcentaje % de contactos eléctricos perdidos a través de Vertical Lap.

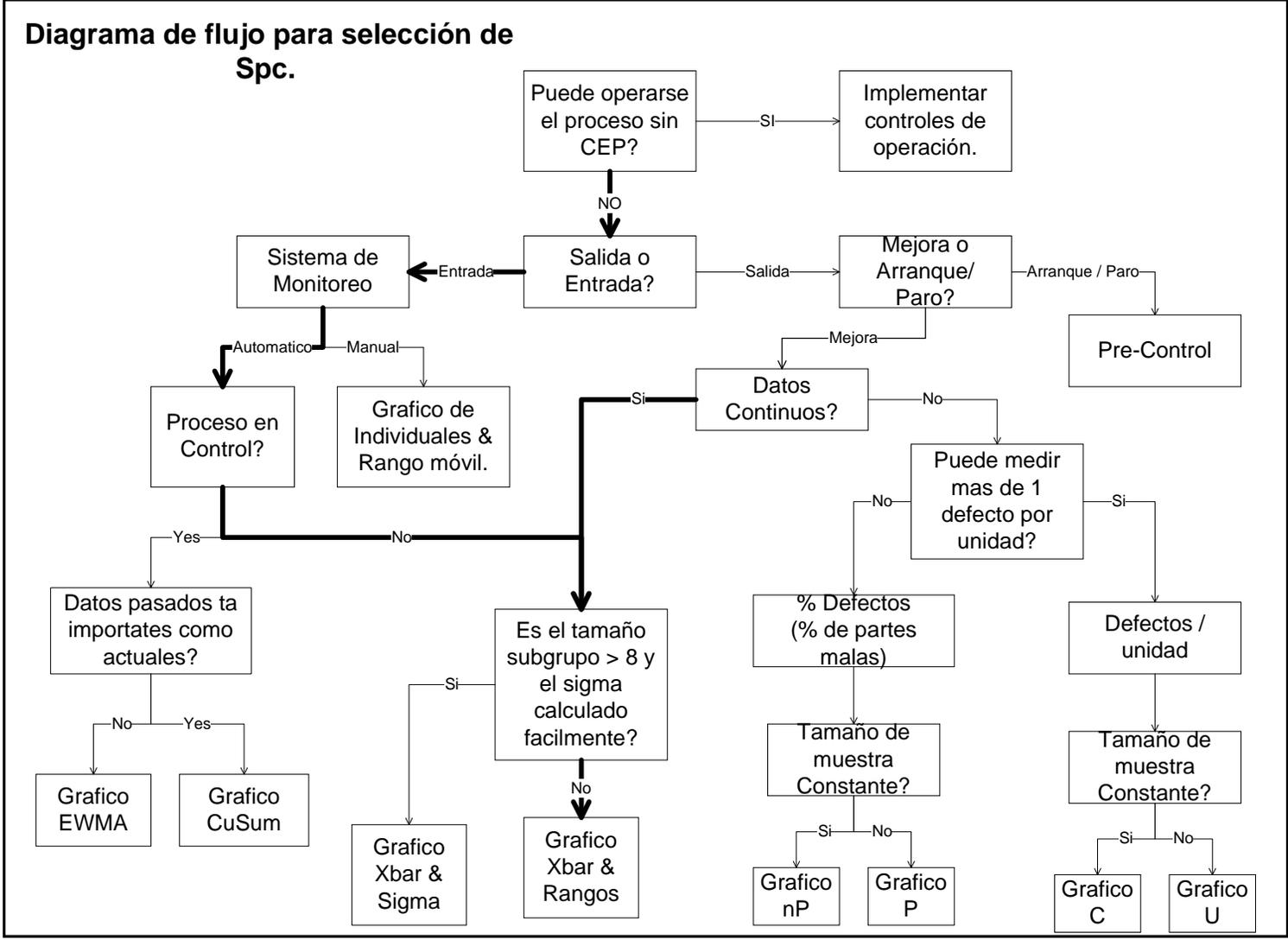


Figura 5. 10 Diagrama de decisión para la selección de un gráfico de Control.

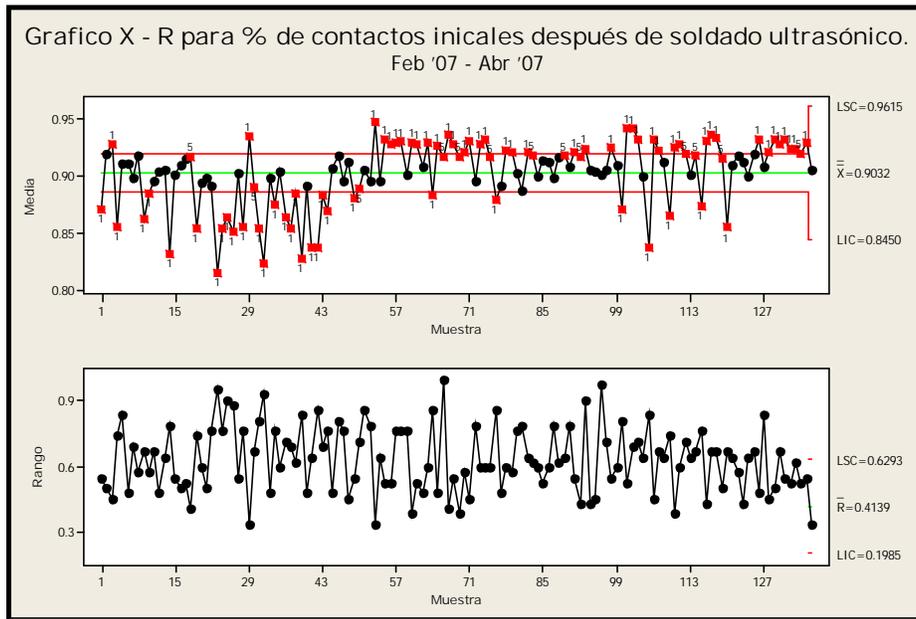


Figura 5. 11 Carta de control X-R para el porcentaje % de contactos eléctricos inicial en el proceso de Vertical Lap.

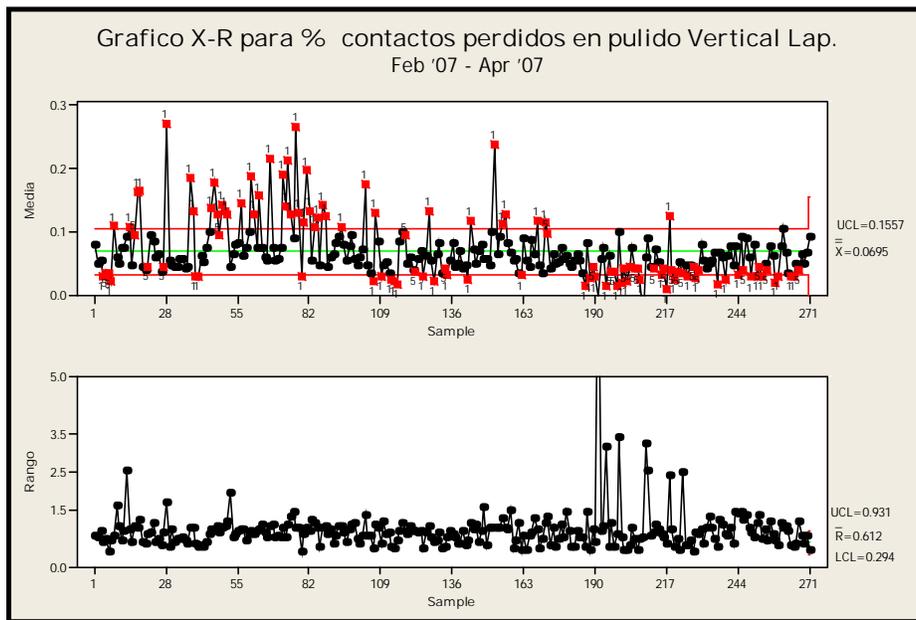


Figura 5. 11 Carta de control X-R para el porcentaje de contactos eléctricos perdidos a través del proceso de Vertical Lap.

Las graficas en la Figura 5. 11 y Figura 5. 12, se calculan para un período de operación de 60 días. El desempeño del proceso observado en éste período representa las condiciones operativas previo y posterior a la aplicación de los cambios discutidos en las fases de mejora del proyecto.

La documentación de las acciones específicas ejecutadas en la solución de estos puntos, corresponde a la ejecución de las actividades que se describen en el plan de control de la tabla 5.1. La descripción de las actividades específicas ejecutadas en esta para estos no se incluye en éste trabajo al estar fuera de su alcance.

Como se demostró al inicio del capítulo 5 de éste trabajo, la disponibilidad de contactos antes del proceso de pulido (que se constituye también como la variable de salida fundamental del proceso de soldado ultrasónico), y la pérdida de contactos eléctricos a través del proceso de pulido de vertical lap, se constituyen como variables de entrada críticas al proceso de Vertical Lap para el control del valor de de resistencia en Vertical Lap.

Estas variables presentan un comportamiento como variables del tipo continuo, por lo que el uso de gráficos de medias y rangos es adecuado para su monitoreo y control.

De lo anterior es posible calcular los límites de control de para ambas variables teniendo los siguientes:

- **Porcentaje % de contactos iniciales antes de pulido.**
 - $X = 90.3 \%$
 - $LIC = 89.5 \%$
 - $LSC = 92.3 \%$

- **Porcentaje % de contactos perdidos en el proceso de pulido de Vertical Lap.**
 - $X = 6.95 \%$
 - $LIC = 0.0 \%$
 - $LSC = 10.1 \%$

Las reglas de control de proceso aplicables para el proceso, se fija la regla # 01, para contener las variaciones de grades de proceso y requieren de acción y atención inmediata, y la regla 02 que busca la prevención de un cambio de media en el proceso [1]. Estas 2 reglas, de acuerdo al nivel de influencia que tienen sobre el valor de la desviación estándar de R_c , favorecen el prevenir y mantener el valor de la desviación estándar de R_c en un nivel óptimo como ya se discutió en la sección 5.1 donde a mayor disponibilidad de

contactos iniciales de pulido y menor pérdida de contactos eléctricos a través de pulido puede obtener un menor valor de desviación estándar de Rc.

5.2.2 Auditorías

El proceso de auditorías al proceso de soldado ultrasónico y pulido de Vertical Lap se mantiene sin cambios fundamentales conforme a la mecánica de operación de ambos procesos, las conclusiones observadas y establecidas a partir del presente proyecto no ofrecen de ninguna manera cambios fundamentales que hayan imitado de alguna manera la habilitación de nuevos proceso de auditoría, y los ajustes aprendidos en el proceso de soldado ultrasónico aprendidos a partir de las conclusiones obtenidas en la fase de mejora se actualizan como parte de las auditorías a mantenimiento e Ingeniería.

La *Tabla 5. 6* presenta el sumario correspondiente a las auditorías ejecutadas al proceso.

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. 6 Elementos auditables por parte del proceso de auditoría del sistema de calidad

5.3 Cierre del proyecto

A partir de los ajustes de proceso aplicados a lo largo del desarrollo de éste proyecto, el desempeño del métrico primario es registrado a lo largo de las diferentes fases tal y como se muestra en las grafica de tendencia semanal del métrico primario de desviación estándar de Rc de la

Figura 5. 12.

Acciones fundamentales fueron aplicadas después de las fases de Análisis y las fases de mejora.

A partir del cálculo de la línea base establecido para un valor de $R_c = 7.34$ ohms y un objetivo de $R_c = 5.4$ ohms (tal y como se definió en el objetivo del proceso sección 1.22), en un periodo de de 38 semanas el proceso logro recuperar el valor del métrico primario hasta un valor de $R_c = 6.1$ ohms, observado en las 6 semanas posteriores a la aplicación de las acciones provenientes de la fase de mejora y que se indica también en la *Figura 5. 12* como el nivel mejorado. Al comparar dicho nivel contra el valor de línea base del proceso, dicha mejora representa un alcance contra el objetivo inicial del proyecto (valor objetivo 5.4 ohms) de 72.2%.

La ejecución del proyecto termina en ese período y con ese nivel de desempeño para el de R_c . Factores incidentes adicionales que se detectaron como contribuyentes para no lograr el alcance del 100% del objetivo son:

- Eventos asignables en desempeño fuera de objetivo de equipos de pulido de Vertical Lap por condiciones de equipo y herramental, como los discutidos en el capítulo 3.
- Ajustes del algoritmo de pulido en Vertical Lap.
- Modificación del valor objetivo para el valor de resistencia modificado de $X=50$ a $X=55$ ohms.

Dichos factores han quedado fuera del alcance del proyecto, y en el caso de las causas asignables al desempeño de equipos de pulido fueron tratados en proyectos independientes al presente.

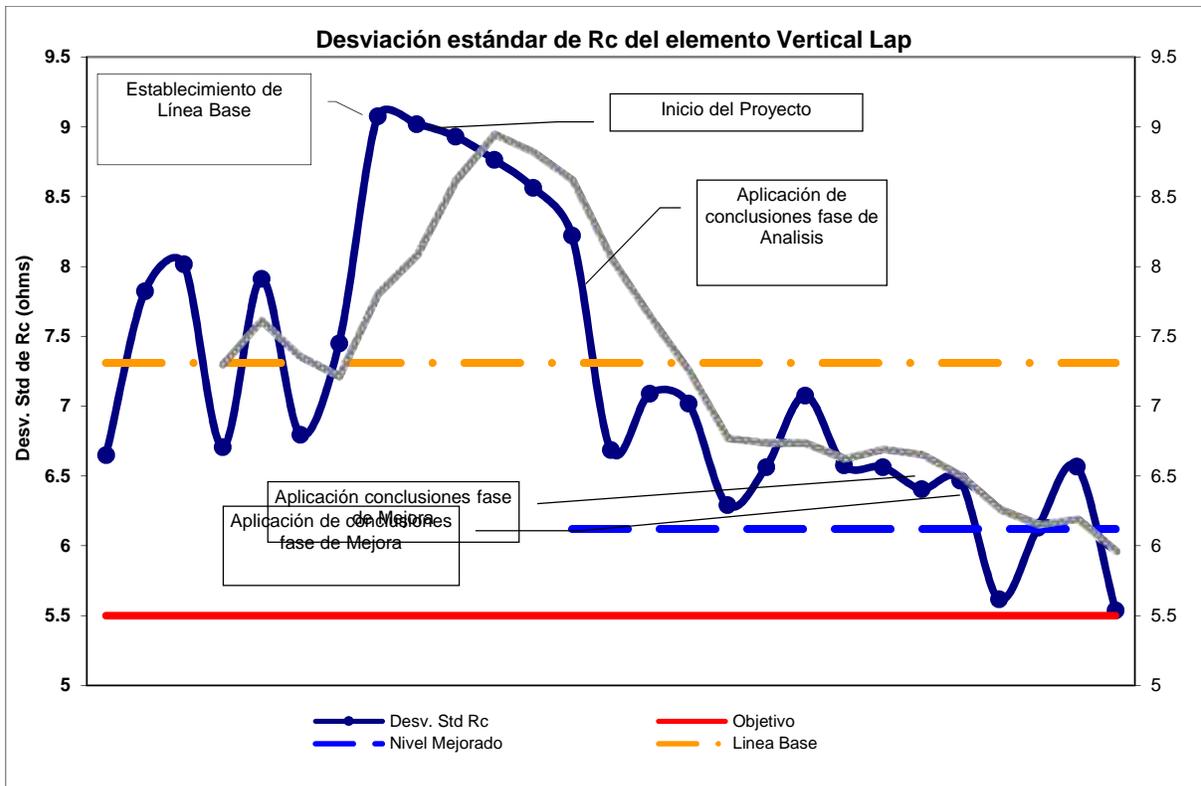


Figura 5. 12 Tendencia del métrico primario desviación estándar de Rc durante la ejecución del proyecto.

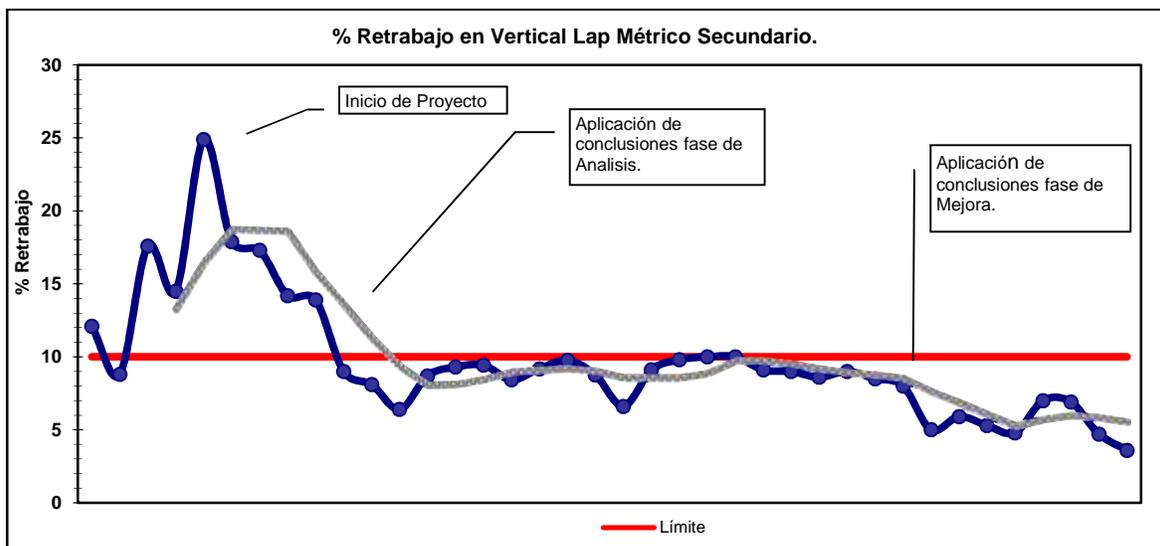


Figura 5. 13 Tendencia de los niveles de retrabajo de pulido en las 38 emanas de ejecución del proyecto.

Respecto del métrico secundario, la *Figura 5. 13*, muestra la tendencia observada para el métrico secundario, re trabajo de pulido en Vertical Lap. Es este el valor alcanzado para

las 6 semanas posteriores a la implementación de las conclusiones provenientes en la fase de mejora, el nivel medio del % de re trabajo observa un valor de 5.38% estando dentro del valor objetivo definido para esta operación, y quedo definido como objetivo secundario del presente trabajo en la fase de definición.

5.3.1 Resultados Financieros

La tabla 5.3 muestra el ahorro en total en el año 2007 posterior a la ejecución del proyecto en la fase de mejora y que constituye el valor central de la fase de realización, por reducción de perdida por scrap (scrap impact) y por reducción en el uso de materiales de producción (spending Impact) teniendo un ahorro total de \$2.513 millones de dólares.

Ahro en dolares x \$ 1000	1er cuarto 2007	2do. cuarto 2007	3er cuarto 2007	4to cuarto 2007	Total
Ahorro por Mejora de Scrap	\$ 631.60	\$ 601.40	\$ 474.90	\$ 398.50	\$ 2,106.40
Ahorro por materiales de producción	\$ 123.20	\$ 113.10	\$ 104.00	\$ 85.00	\$ 425.30
Total	\$ 754.80	\$ 714.50	\$ 578.90	\$ 483.50	\$ 2,531.70

Tabla 5. 7 Ahorros por reducción en perdida de resistencia, total anualizado año 2007 (en miles de dólares).

CAPITULO 6 – CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones generales

La aplicación de la metodología DMAMC para el análisis y mejora de las fuentes de variación en el proceso de pulido de Vertical lap permitió una mejora en el nivel de defectivo de resistencia sobre el límite de superior de proceso a través del manejo ordenado de las fuentes de variación hasta la identificación de oportunidades en el ajuste de las variables críticas identificadas.

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 más importantes o críticas que lo afectan.

En el presente trabajo fueron identificadas 14 variables, las cuales fueron analizadas por medio de la metodología DMAMC, concluyéndose en 3 variables críticas o determinantes, que demostraron una relación directa sobre el control de pulido en Vertical Lap. A partir de estas conclusiones se decidieron cambios en el proceso como el de la aplicación de la prevención de corto circuitos en el proceso de pulido lográndose una maximización de los contactos eléctricos disponibles a través del proceso de pulido.

Las variables del proceso de soldado ultrasónico fueron estudiadas, y por medio de la experimentación se validaron los niveles óptimos para estas variables que permitieran la maximización de los contactos eléctricos disponibles posterior al proceso de soldado o al inicio del proceso de pulido.

Como parte del trabajo desarrollado, se demostró la intrínseca relación existente entre la disponibilidad de contactos eléctricos en el proceso de pulido antes y durante el proceso de pulido, como función para la minimización de la desviación estándar de resistencia del elemento, y su impacto sobre la minimización en la pérdida de resistencia.

del mismo, de tal modo que el trabajo realizado en las fases de análisis y mejora, se enfocó a maximizar la disponibilidad de los contactos y su enfoque en la mejora de los métricos primario y secundario del presente proyecto, como quedo demostrado en los capítulos 4 y 5.

Al final se concluyó que los cambios fundamentales por medio de la prevención de cortos eléctricos en el proceso de pulido, y la optimación de las variables de soldado, redundo en una reducción de la perdida de resistencia superior a 8 puntos porcentuales al comparar los resultados finales contra los resultados observados al inicio del proceso.

El uso de la metodología de Seis Sigma fue clave en este proceso al poder descartar las variables criticas y analizar los niveles óptimos de las mismas en un modo ordenado y estructurado.

6.2 Trabajo futuro

Como cualquier otro proceso de la industria de la manufactura de los discos duros, el proceso de pulido requiere de un proceso de mejora continua con enfoque a la reducción de pérdidas y optimización de costos.

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

- a) Optimización de las cinemáticas de pulido para la optimización de los valores de la desviación estándar de resistencia del elemento.

- b) Optimización del numero de puntos de soldado eléctrico, con enfoque en la reducción del costo de alambre de oro utilizado en el soldado que representa al momento de la ejecución del presente proyecto, mas del 70% del costo de materiales producción utilizados en el proceso de soldado ultrasónico para pulido en vertical lap.

Estas son oportunidades identificadas y discutidas con el equipo participante en el presente trabajo de tesis, y que pueden conformarse como futuros trabajos de mejora, a través 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 ingles 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).
- **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.
- **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 Alterna (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.
- **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.
- **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.*
- **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.*
- **Yield:** *Porcentaje de piezas buenas en relación al total de piezas producidas.*

REFERENCIAS

Libros

- [1] BMG Corporation, 6 Sigma DMAIC, manuales de curso certificación Black belt, BMG, 2005.
- [2] Montgomery, Douglas C. Control estadístico de la Calidad. Grupo Editorial Iberoamericana. 1991.
- [3] Montgomery, Douglas C. Probabilidad y estadística aplicada a la ingeniería, Mc Graw Hill, 1998.
- [4] Johnson, Probabilidad y Estadística para Ingenieros, Prentice Hall, 1997.
- [5] Gutiérrez Humberto, Análisis y Diseño de Experimentos, Mc Graw Hill, 2003.
- [6] Montgomery, Douglas C. Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamericana. 1991.
- [7] Hair, Multivariate Data Análisis, Prentice Hall, 1998.
- [8] Brue, 6 sigma para directivos, Mc Graw Hill, 2002.
- [9] Chen&Roth, The big book of 6 sigma training, Mc Graw Hill,2005.
- [10] Gutierrez Humberto, Calidad Total y productividad Mc Grwa Hill, 2003.
- [11] Delgado Humberto, Desarrollo de una cultura de calidad, Mc Graw Hill, 1997.
- [12] Pyzdek *The Six Sigma Handbook*, Mc Graw Hill. USA,2003.
- [13] Harman, G. (1997), *Wire Bonding in Microelectronics: Materials, Processes, Reliability, and Yield, 2nd edition*, McGraw-Hill Electronic Packaging and Interconnection Series.
- [14] A. Harper, *Handbook of Materials and Processes for Electronics*, McGraw-Hill, 1970.
- [15] Rooney, *Evaluation of wire bonding performance, process conditions, and metallurgical integrity of chip on board wire bonds*, Product Analysis Center, Flextronics Inc., 2003.

Paginas de Internet

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

