

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS
DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD QUERÉTARO**

Caracterización del proceso de la adhesión oblea-metal(extender-bond) y su influencia en el proceso de pulido de obleas de Al_2O_3TiC en la producción de cabezas electromagnéticas para discos duros.

Tesis que presenta

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Jorge Rodríguez Ramírez

para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

EN LA ESPECIALIDAD

DE MATERIALES

**CINVESTAV
IPN
ADQUISICION
DE LIBROS**

DIRECTORES DE LA TESIS:

Dr. José Martín Yáñez Limón

Dr. Juan Muñoz Saldaña



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y
DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL
INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL**

**COORDINACIÓN GENERAL DE
SERVICIOS BIBLIOGRÁFICOS**

Santiago de Querétaro, Qro.

Julio de 2008

CLASIF.: IA 404.2 . R63 2008
ADQUIS.: SSI 115
FECHA: 25/III/2009
PROCED.: Den. - 2009
\$ _____

ID. 158313-1001

AGRADECIMIENTOS

A la vida tal y como es con sus limitaciones para lograr el entendimiento de lo que nos rodea y las oportunidades de ser que da el supremo con opciones de tomar o dejar las tareas que enaltecen el conocimiento.

Al CINVESTAV. Querétaro por todas las facilidades ofrecidas durante este periodo de estudio e investigación. Sin su ayuda, paciencia y motivación este programa de cooperación entre Industria y centros de investigación no hubiera sido posible.

A mis maestros y amigos estudiantes por su generosa ayuda y consejos en la preparación de experimentos y reportes de gran valor para la composición de este trabajo. Sus comentarios y experiencias compartidas han sido de gran ayuda en todo este proceso de investigación.

Especial agradecimiento a los siguientes Doctores Investigadores del CINVESTAV por su tiempo dedicación y amplio conocimiento en los temas desarrollados:

Directores de Tesis:

Dr. José Martín Yáñez Limón

Dr. Juan Muñoz Saldaña

Sinodales de Tesis:

Dr. Rafael Ramírez Bon

Dr. Francisco Javier Espinoza Beltrán

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	2
INDICE GENERAL	3
INDICE DE FIGURAS	5
INDICE DE TABLAS	8
RESUMEN.....	9
ABSTRACT	11
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	13
INTRODUCCIÓN.....	14
OBJETIVOS.....	21
CAPITULO 1 DESCRIPCION DE LOS PROCESOS DE FABRICACION	22
1.1. Generalidades de procesos de adhesión.....	22
1.1.1 Tecnología de adhesión.....	22
1.1.2 Mecanismos de adhesión	23
1.1.3 Preparación de superficies:.....	24
1.1.4 Propiedades mecánicas de los adhesivos epóxicos.....	25
1.1.5 Aplicaciones de adhesivos epóxicos.....	25
1.1.6 Procesos de adhesión del quad-extendor	26
1.1.7 Proceso de curado en dos etapas.	28
1.1.8 Descripción del proceso de Pulido y Corte de quads.	29
1.1.9 Ensamble del quad-extendor en el molde de pulido y preparación para pulir.....	31
1.1.10 Descripción del proceso de corte del quad en rows.....	33
1.1.11 Descripción del mecanismo utilizado en la pulidora.....	34
1.2 Descripción de los materiales críticos del proceso Extender bond y Pulido.....	37
1.2.1 Extender.....	37
1.2.2 Adhesivo.....	40
1.2.3 Quad.....	42
1.2.4 Sistema Quad-extendor	44

1.2.5 Molde de pulido "Carrier"	45
CAPITULO 2 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN	47
2.1 Perfilometría.....	47
2.2 Parámetros de la rugosidad	48
2.3 Interferometria (Interferómetro ZYGO).....	50
2.4 Medición de fuerza crítica de adhesión.	51
CAPITULO 3 EXPERIMENTACION.....	54
3.1 Dureza del adhesivo y del quad.....	54
3.2 Mediciones de rugosidad en los dos adherentes (quad y extender).....	55
3.3 Medición de la fuerza de adhesión practica en los adherentes.	56
3.4 Determinación de los límites de flexión del quad-extender en el molde de pulido. (Carrier)	58
CAPITULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
4.1. Dureza en adhesivo y en quad.....	60
4.2. Mediciones de rugosidad en adherentes (quad y extender)	69
? Fuerza de adhesión práctica desarrollada actualmente por el proceso de adhesión.	71
4.4. Límites de flexión del quad-extender en el carrier de pulido.	82
4.5. Curva de deformaciones en el quad-extender ensamblado en el carrier durante el proceso de pulido.	87
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.....	98
BIBLIOGRAFIA.....	102

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Principales componentes de un disco duro de computadora.	14
Figura 2 una cabeza magnética y su suspensión.....	15
Figura 3.El slider adherido al al brazo de la suspensión.....	16
Figura 4 El quad-extender.	17
Figura 5 Proceso general de fabricación de cabezas magnéticas o “Sliders”	18
Figura 6 Esquema de los procesos de transformación del wafer, a Quads, rows y sliders, en los cuales se utiliza un proceso de adhesión.	19
Figura 7 Líneas de propagación de fuerzas para adherentes adheridos por adhesivos(a) y por ensamble mecánico (b).....	24
Figura 8 a) Una oblea de AlTiC 10 pulgadas de diámetro, b) Corte de precisión con tolerancia de micrómetros.....	27
Figura 9 a) El pulido se controla por tiempo basado en el coeficiente de remoción de material por unidad de tiempo. b) Detalle de la máquina pulidora.....	27
Figura 10 a) Acercamiento del equipo suministrador de adhesivo epóxico. b) Esquema de ensamble de los adherentes en el molde con sujeción para el pegado.	28
Figura 11 a) Cámara de precurado en vacío b) Disecadores de Nitrógeno seco presión interior 137.9KPa.	29
Figura 12 Efecto de orientación del elemento electromagnético en el disco al escribir.....	30
Figura 13 Inspeccion cualitativa de las superficies a pulir.	30
Figura 14.Descripción del flujo del proceso que se sigue para preparar el material quad-extender para pulir.	31
Figura 15 Muestra el proceso de inspección de alineación del extender en el carrier antes de pulirse	32
Figura 16 Carrier con el quad-extender ensamblado a) Base b) Tope de zirconio c) quad d) Resorte lineal e) Tapa del carrier.	33
Figura 17 Parte del mecanismo utilizado para hacer cortes del quad en rows.....	34
Figura 18 Descripción del mecanismo completo que se utiliza en la pulidora.....	35
Figura 19 Descripción del mecanismo que se utiliza en la pulidora	36
Figura 20 Representación del mecanismo básico utilizado en la maquina.....	37
Figura 21 Características especiales del extender	38
Figura 22 Plano de diseño del extender donde se especifica el material y dimensiones a utilizar durante el maquinado.....	40
Figura 23 Esquema de las partes que componen al carrier de pulido. Note las dimensiones del quad respecto del carrier	46

Figura 24 Esquema del ensamble de la unidad de micro cilindros al carrier para corregir el arqueado durante el pulido.....	46
Figura 25. a) Perfilador de superficie "TENCOR P10", b) Extender colocado en el perfilador de superficie.	47
Figura 26. Diagrama esquemático de las partes del perfilómetro.....	48
Figura 27. Designación de los parámetros de rugosidad.....	49
Figura 28. a) "Interferómetro – ZYGO", b) Esquema de las partes del Interferómetro ZYGO.....	51
Figura 29. Medidor de fuerza de adhesión	52
Figura 30. Curvas típicas de los ensayos de nano indentación obtenidas de las muestras M1 utilizada para calcular dureza y modulo de elasticidad reducido.	62
Figura 31. Curvas típicas de los ensayos de nano indentación obtenidas de las muestras M2 utilizada para calcular dureza y modulo de elasticidad reducido.	62
Figura 32. Fotos de las superficies encontradas en las muestras de adhesivo curados con diferentes procesos. A) M1 con precurado en vacío a 30 mm _{Hg} . B) M2 muestra curada a presión atmosférica en Nitrógeno seco.....	63
Figura 33. Resultados del análisis de la superficie de las muestras de adhesivo preparadas con procesos de curado diferentes posterior a los ensayos de nanoindentación.	65
figura 34. Micrografías de las huellas hechas por el método de indentación utilizando el indentador Vickers.	67
Figura 35 .Promedio de rugosidades obtenidas en extenders y quads.	70
Figura 36 .Promedio de rugosidades obtenidas en extenders y quads.	70
Figura 37. Uso de las laminas reveladoras Fijifilm para revelar los puntos de contacto que el carrier ejerce en el extender.....	72
Figura 38 Mapas de deformación obtenidos del análisis por elementos finitos de la deformación del quad- extender con fuerza de 5Kg _f flexión máxima 654 micrómetros.....	73
Figura 39. Resultados de la simulación por elementos finitos de la distribución de esfuerzos en el sistema quad-extender debidos a una fuerza de 5Kg _f aplicada en el extremo del quad.	73
Figura 40 Diseño del mecanismo para adaptar el dinamómetro y el material de prueba al sistema de medición y microscopio para medir la fuerza adhesión en el quad- extender.....	75
Figura 41. Grafica obtenida del software JMP 5 análisis estadístico de la Fuerza de adhesión practica del proceso de pegado en Hitachi GST planta Guadalajara.	77

<i>Figura 42. Grafica obtenida del software JMP 5 análisis de regresión predictiva de la Fuerza de adhesión practica que se obtiene en proceso de pegado en Hitachi GST planta Guadalajara.</i>	80
<i>Figura 43 En esta combinación de Medias de variables se muestra el comportamiento del proceso si se reduce la variación a los valores promedio de cada variable.</i>	81
<i>Figura 44. Predicción del desempeño que tendría el proceso si las variables se controlaran bajo rangos ideales especificados en la prueba.</i>	81
<i>Figura 45. Grafica de predicción de respuesta del proceso si se controla las variables económicamente factibles.</i>	82
<i>Figura 46 Dispositivo utilizado para medir la relación de fuerza- deflexión desarrollada por el extender bajo el dominio del carrier.</i>	83
<i>Figura 47. Flexión de grupos de quads en el mismo carrier de pulido.</i>	84
<i>Figura 48 .Sistema de reforzamiento de flexión del quad-extender por el carrier para producto pico y femto</i>	87
<i>Figura 49 Esquema del mecanismo básico que se utiliza en la maquina pulidora.</i>	89
<i>Figura 50 Límites de flexión del quad respecto las posiciones relativas al plato de pulido.</i>	90
<i>Figura 51. Flexión del quad-extender en función de su posición respecto al plato durante su trayectoria circular. Los recuadros muestras una vista lateral del quad en cada posición.</i>	91
<i>Figura 52. Curvas de deformación del quad en relación a su posición de recorrido en el plato de pulido.</i>	92
<i>Figura 53. Esquema del ensamble del actuador y modo de compensación de arqueado durante el pulido.</i>	93
<i>Figura 54. Efecto transversal de flexión de los actuadores durante la compensación de arqueado durante el pulido para extenders con cero rows de producción.</i>	94
<i>Figura 55. Efecto transversal de flexión de los actuadores durante la compensación de arqueado durante el pulido. Para quads de varios tamaños</i>	94
<i>Figura 56. Resorte lineal del carrier de pulido A) reforzado con laines de calibración para prototipo. B) Rediseño del resorte para aplicación en material femto y pico.</i>	96
<i>Figura 57. Desempeño del defecto quads despegados del 2006 al 2007</i>	96

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de composición para aceros de serie 400 (4).....	39
Tabla 2 Propiedades mecánicas del acero serie 400 (4).....	39
Tabla 3 Propiedades de los materiales que componen al Epóxico “sin curado” [LOC05-5].....	41
Tabla 4. Propiedades del adhesivo curado. [LOC05-5].....	41
Tabla 5 Propiedades del epóxico curado y en pruebas con diferentes substratos [LOC05-].....	42
Tabla 6. Propiedades del material que compone la oblea ALTiC.....	43
Tabla 7. Reforzamiento por partículas para la alumina Al ₂ O ₃	43
Tabla 8 Comparación de propiedades entre ALTiC y Sic	44
Tabla 9. Especificaciones del medidor de fuerza digital [IMA06-].....	53
Tabla 10 Especificaciones de el material requerido para la experimentación de la fuerza de adhesión en el quad-extender.	57
Tabla 11. Dimensiones de la huella de indentación, los cálculos de dureza y tenacidad a la fractura.	68
Tabla 12. Matriz de combinaciones de material para caracterización de la fuerza de adhesión.	76
Tabla 13. Efecto de la prueba t-Student confirma el peso estadístico Prob> [t] de influencia de las variables tratadas.....	80
Tabla 14 Valores de las posiciones angulares del quad respecto su deformación teórica permitida por el carrier.	89

RESUMEN

El principal proceso de la planta industrial de Hitachi Global Storage Technologies en Guadalajara consiste en procesar sensores de lectura y escritura de discos duros. Tales sensores son conocidos como sliders. Los sliders se obtienen sobre una oblea de un compuesto cerámico de $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$ (AlTiC) en la cual se forman por medio de procesos de escarbado y depositado de diferentes elementos metálicos. Esos elementos metálicos cumplen la función de lectura y escritura en discos duros. Para separar los sliders de la oblea se utiliza un proceso de corte y de pulido. En el proceso de pulido se tiene la problemática relacionada con el pegado de obleas tales como despegues y consecuentemente fractura de obleas. El fenómeno de despegues de obleas que sucede durante el pulido ha sido descrito como el despegue inesperado de una parte rectangular de la oblea fabricada de un compuesto de alúmina reforzada con carburo de titanio llamada quad, la cual ha sido adherida a una pieza de acero inoxidable tipo 440c conocida como extender. Ambas piezas se adhieren para pulir el quad y obtener acabados de superficie en niveles de rugosidad y planicidad nanométricos. En el presente trabajo se realizaron estudios para encontrar las causas del defecto de producción, que fue descrito como despegue del quad-extender. Se realizaron caracterizaciones de los adherentes y adhesivo en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas, condiciones de curado del adhesivo, rugosidad, etc. Además se revisaron las condiciones de operación del herramienta de pulido. También se diseñó un dispositivo para medir las condiciones de adhesión por medio de un ensayo de flexión y se realizaron simulaciones por medio de elementos finitos de las condiciones de esfuerzo y deformación del quad-extender sometido a las condiciones del pulido del mismo. Los resultados demostraron que hay un fuerte efecto negativo del pre-curado del adhesivo en vacío. Se encontró también que la planicidad y rugosidad del extender juegan un papel importante en las condiciones de la adhesión. Estos parámetros fueron fuertemente afectados por las condiciones del herramienta desgastado que estaban utilizándose. A partir del

método desarrollado de ensayos de flexión se determinó que la fuerza de adherencia es uno de los parámetros que describen adecuadamente el proceso de pegado. El análisis hecho al modelo obtenido por elemento finito de la distribución de deformaciones y esfuerzos causados por el efecto de la cinemática del pulido permitieron identificar las condiciones extremas en las cuales el quad-extender podría fallar por esta razón se analizaron, las direcciones de deformaciones que se presentan en las diferentes direcciones de pulido. Esta información fue útil para definir el sistema completo de deformaciones al que el quad-extender es sometido durante el proceso de pulido de sensores. Al trazar la curva de deformaciones en función de las posiciones del herramental respecto del plato de pulido y siguiendo la cinemática del mismo, se deduce que las deformaciones son cíclicas y periódicas y pueden causar fatiga en la unión del quad-extender. Sin embargo esta área queda pendiente para desarrollarse en trabajos futuros. Finalmente se encontró que los fenómenos de despegue son mayoritariamente por un defecto de diseño del herramental de pulido, cuyo origen está relacionado con el cambio de tecnología a cabezas electromagnéticas de menor tamaño. Para esta conclusión se propuso un diagrama de dominios del comportamiento de las curvas de deformación de cada tipo de producto sea pico y femto, con el que se explicó la influencia del herramental de pulido sobre la deformación manteniéndolos en la zona elástica. Las dos causas principales identificadas que provocan los despegues en el quad-extender tipo femto son: a) Las dimensiones del quad de sensores tipo femto causó que las superficies de contacto entre los adherentes disminuyeran afectando los niveles de fuerza de adhesión normalmente alcanzados con producto pico; y b) El límite de flexión controlado por el diseño del herramental, adaptado originalmente para sensores de tecnología tipo pico, el cual no era funcional para el tipo femto. Con el ajuste de las dimensiones críticas hechas en herramental se eliminó en gran medida el problema de quad-extenders despegados. La solución del presente problema condujo a considerables beneficios económicos a la empresa. Y a la obtención de un proceso capaz de procesar productos para nuevas tecnologías como femto.

ABSTRACT

The main process of Hitachi Storage Technologies industrial plant in Guadalajara consists in processing sensors for reading and writing operation in hard disk drives. These sensors are known as sliders. Sliders are obtained on an $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$ (AlTiC) composite wafer, where they have been formed by etching and metal depositing processes. Those metallic elements accomplish the reading-writing function in hard disks. To separate sliders from the wafer, cutting and lapping process among others are used. In the lapping process, problems associated with extender bond such as debond and consequently broken wafers are frequently reported. The phenomenon of wafers debond that happen during lapping process has been described as unexpected debond of a rectangular part of the AlTiC wafer, which is adhered to a stainless steel piece made of 440C, known as extender. Both pieces were bonded in order to polish the quad to obtain finishing surfaces on roughness and flatness parameters in nanometric levels. In this present work, studies were done in order to find out the cause of the production defect which has been described as quad-extender debond. Characterizations in both adherents and adhesive were done considering their physics and mechanic properties, cure process conditions, roughness, etc. Additionally, the conditions and design of the lapping tools were reviewed. Further on, activities of construction of a device specially designed to measure adhesive conditions by flexion tests as well as simulations by finite elements to determine the strain and stress distributions of the extender were also carried out. Results showed a strong negative effect caused on adhesive properties by vacuum conditions exposure during pre-cured process. Furthermore, flatness and roughness from adherents's surfaces were found to be very important parameters to determine the best adhesion performance of the quad-extender. These parameters were very strong affected by wear conditions due to the age of used tools. The flexion tests allowed the determination of the ultimate adhesion force, which is one of the characteristics used to describe the bond process performance. The analysis done by finite element modeling of the extender combined with the analysis of the kinematics of

the lapping process allowed us to identify the extreme conditions, in which the quad-extender could debond. For this, the stress conditions in all directions during the lapping process were analyzed. This information was useful to define the strain conditions of the quad-extender during the sliders lapping process. The strain curves as a function of the relative positions of the fixture on the lapping plate show that deformations have periodic maximums and minimums that can lead to fatigue effects of quad extenders. However, further work has to be done in the area of fatigue analysis. The quad-extender debond phenomenon is mostly due to a design defect of the fixture tools for lapping, whose origin is related to a change made in the process due to new technologies requirements to produce smaller electromagnetic heads (femto type). For this conclusion a domains diagram of adhesion behavior using the flexion tests of each type of product pico and femto was proposed. This diagram was useful to explain the influence of the lapping tools on the deformation behavior of the different products and to define the flexion elastic limits. Two main identified causes of femto quad-extender debond are: a) The smaller dimensions of the "femto" quads reduced the contact conditions of the quad-extender, affecting the typical adhesion behavior compared with the one was performed by the product "pico"; and b) The flexure limit defined by the fixture, which was originally designed for "pico" quads, was not functional for "femto" quads. Redesigning the critical dimensions of lapping fixtures the problem of quad extender debond was almost completely reduced. This solution led to considerable economical benefits to the company. Hitachi claimed to own a stable process with capabilities to manufacture the new technologies based on femto hard disks heads.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Adherencia practica: Máxima adherencia medida en Kgf al despegue.

Al₂O₃: Alúmina (Oxido de aluminio)

Asymtek: Dosificador de adhesivo

Carrier: Molde de pulido donde se ensambla el quad-extend

CREEP: Es la zona de penetración a fuerza constante durante la nanoindentación, Proporciona información sobre la viscoelasticidad de un material.

Elasticidad: Capacidad de un material de recobrar su forma primitiva cuando cesa la causa que lo deforme.

Encoders: Motores de precisión de avance por impulsos eléctricos (por pasos)

Extender-bond: Proceso de pegado donde el extender es uno de los adherentes.

Finishing: Proceso de pulido donde el acabado de la superficie es controlado

Harmony: Area donde se encuentran los procesos de escarbado y depositado.

Job: Grupo de 24 rows unidos por el sistema de manufactura

KLA TENCOR: Herramienta de medición (Perfil, Rugosidad, Planicidad)

Lapping: Proceso de pulido donde la cantidad removida es controlada

Polished: Pasado del verbo pulir para abrillantar alguna superficie.

POR: Process of record (Proceso actual)

Quad: Arreglo rectangular de "Sliders" que se fabrica a partir de la oblea. Se obtienen 14 de una sola oblea de tamaño similar.

Quad-extend: Sistema de dos piezas unidas para pulir el quad.

Ra: La rugosidad media (Ra) representa el promedio aritmético de las desviaciones del centro del plano.

Row bond: Proceso donde se acomodan todos los rows para ser tratados en harmony.

Row. Hilera de Sliders (existen dos configuraciones: con 44 y con 60 Sliders)

SEM: Scanning Electrón Microscope (Microscopio de escaneo por electrones)

SiC: Carburo de Silicio

Slider: Nombre genérico que se le da a la cabeza magnética

Split and Trim: Procesos donde se corta el wafer para obtener quads.

TiC : Carburo de Titanio

Wafer. Más comúnmente conocida como Oblea. Es un arreglo de 5" de diámetro en forma circular que contiene miles de cabezas magnéticas.

INTRODUCCIÓN

En el proceso de fabricación de cabezas electromagnéticas de lectura escritura para discos duros de computadora, hay etapas de su procesamiento en las cuales es indispensable utilizar adhesivos como elementos de fijación. El estudio y caracterización del sistema adherido, así como su desempeño en etapas posteriores es muy importante en el proceso de obtención de las cabezas electromagnéticas. HITACHI Global Storage Technologies es una empresa de alta tecnología que se dedica a la investigación, el desarrollo, la fabricación y venta de sistemas de almacenamiento de información digital. La división a la que pertenece la planta de Guadalajara es conocida como Head & Media, en la cual se fabrican las cabezas electromagnéticas de escritura lectura, ésta división es la parte de la cadena productiva responsable del sistema de almacenamiento comúnmente conocido como disco duro. En la figura 1 se muestra un esquema de las partes principales que componen este dispositivo.



Figura 1 Principales componentes de un disco duro de computadora.

El disco duro, que es conocido en idioma inglés como HD (Hard Drive) ó HDD (Hard Disk Drive) es un dispositivo de almacenamiento de información no volátil ó permanente, el cual almacena información codificada digitalmente en platos rotatorios apilados que tienen superficies magnéticas, a éstos platos se les llama discos, sobre éstos se sitúan las cabezas de lectura/escritura que son las encargadas tanto de grabar como de recuperar información, estos dispositivos son producidos en las instalaciones de Hitachi ubicadas en Guadalajara y las actividades de investigación y desarrollo de tecnología que se hacen en esta empresa están enfocadas en la optimización de estas cabezas electromagnéticas, éste elemento es conocido como cabeza de lectura/escritura, por sus características de trabajo en inglés es conocido como slider. En la figura 2 se muestran el slider ensamblado en su mecanismo de suspensión que le permite volar sobre los discos donde se graba y se lee información. Este es un ejemplo de una aplicación de procesos de pegado de alta precisión que se utiliza en la industria electrónica donde no se pueden utilizar ensambles mecánicos.

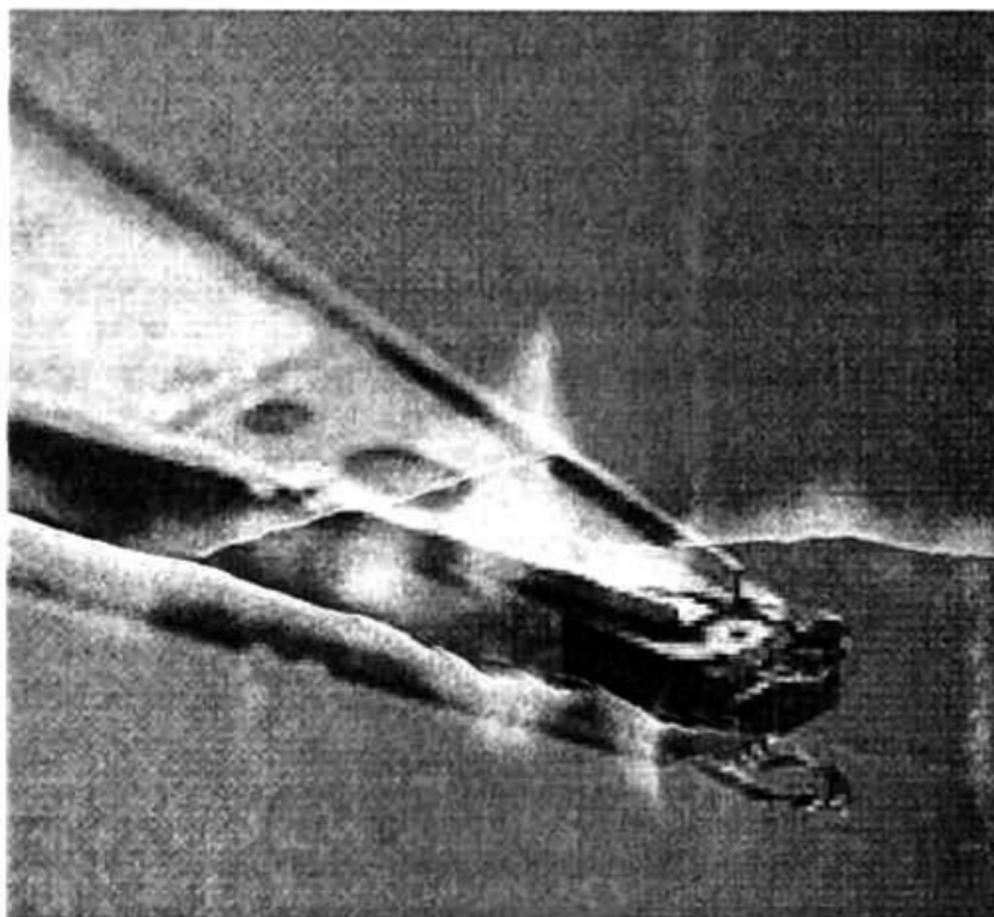


Figura 2 una cabeza magnética y su suspensión

La figura 3 muestra los detalles de conexión entre cables y contactos del slider, obsérvese que los contactos del slider deben presentar características adecuadas de rugosidad y de pureza para lograr un soldado del cable con alta

durabilidad, dichos contactos son depositados desde que se fabrica la oblea de AlTiC y pasa por los procesos de pegado, corte y pulido, por esta razón es de vital importancia el cuidado de los mismos durante todos los procesos de transformación involucrados.

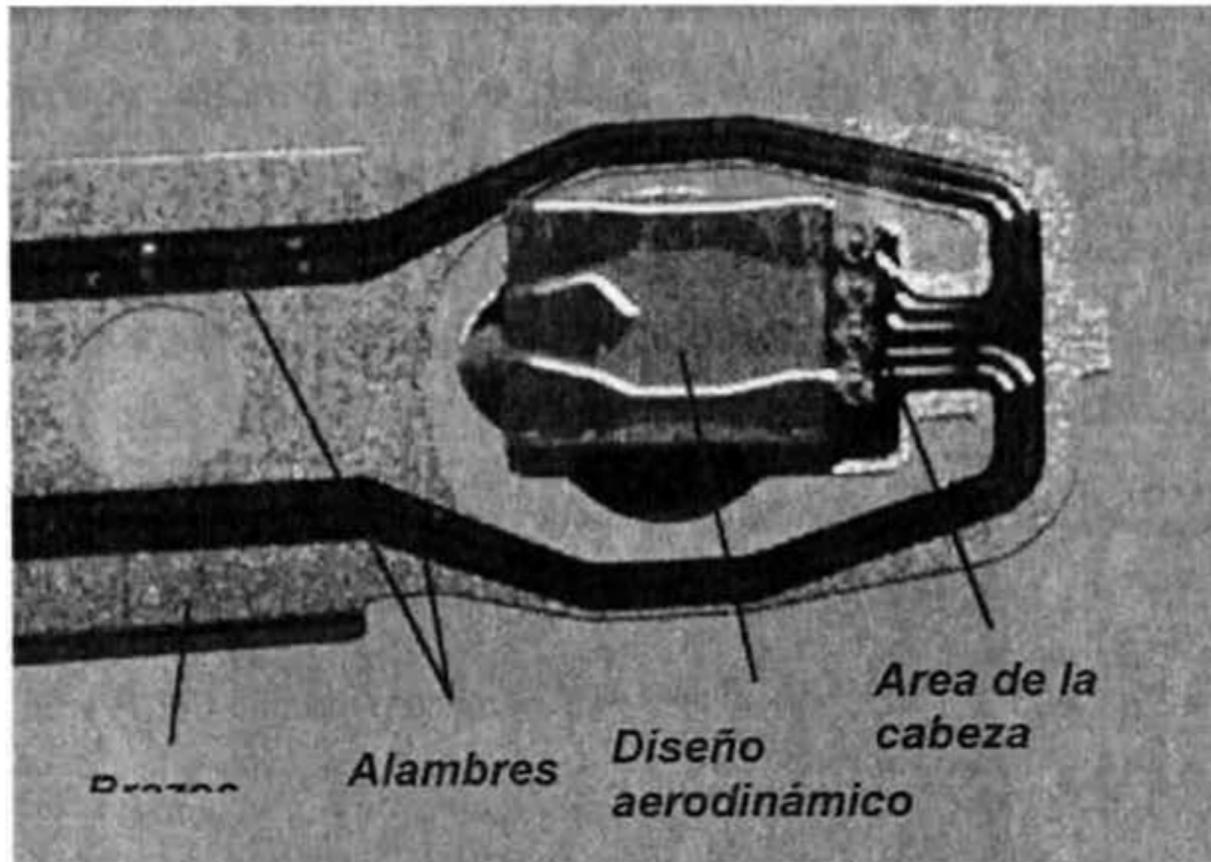


Figura 3. El slider adherido al al brazo de la suspensión

En la manufactura de dispositivos electrónicos cada vez más pequeños y sensibles a deformaciones no deseables, en algunas etapas de los procesos de transformación no es posible utilizar ensambles mecánicos para fijarlos sin causarles algún daño, como alternativa se utilizan adhesivos como herramientas de fijación para obtener precisión de maquinado durante las etapas del proceso de producción. Hoy en día, la industria electrónica de fabricación de dispositivos electrónicos tipo nano requiere de medios de fijación de maquinado cada vez más sofisticados para transformar las cabezas electromagnéticas a través de algunas de las etapas del proceso. Estos métodos de fijación temporal ahora se desarrollan basados en procesos de adherencia en los cuales, la adhesión práctica es la característica más importante que se debe controlar para evitar daños a los dispositivos al pegarlos y separarlos de su instrumental de maquinado. La necesidad del uso de adhesivos como elementos de fijación para el maquinado en el proceso de fabricación de cabezas electromagnéticas es fundamental en la etapa de corte y pulido de *quads* en *rows*. La Figura 4, muestra el principal

elemento y objeto de estudio de este trabajo llamado "*quad-extend*". El *extender* es el herramental de acero inoxidable que se adhiere al *quad*, en el *quad* se encuentran depositados los dispositivos electrónicos conocidos como *sliders* los cuales serán definidos durante el avance de este trabajo. El *quad-extend* es el ensamble donde se desarrollan los fenómenos de adhesión y despegue cuya caracterización y estudio son el tema del presente trabajo de tesis. La caracterización de los fenómenos de corrosión, esfuerzos y deformaciones que afectan la capacidad del adhesivo para el desempeño del *quad-extend* en su interacción con los esfuerzos a los que se somete durante el proceso de pulido, es esencial para poder resolver la problemática del despegue del *quad-extend* durante el pulido.

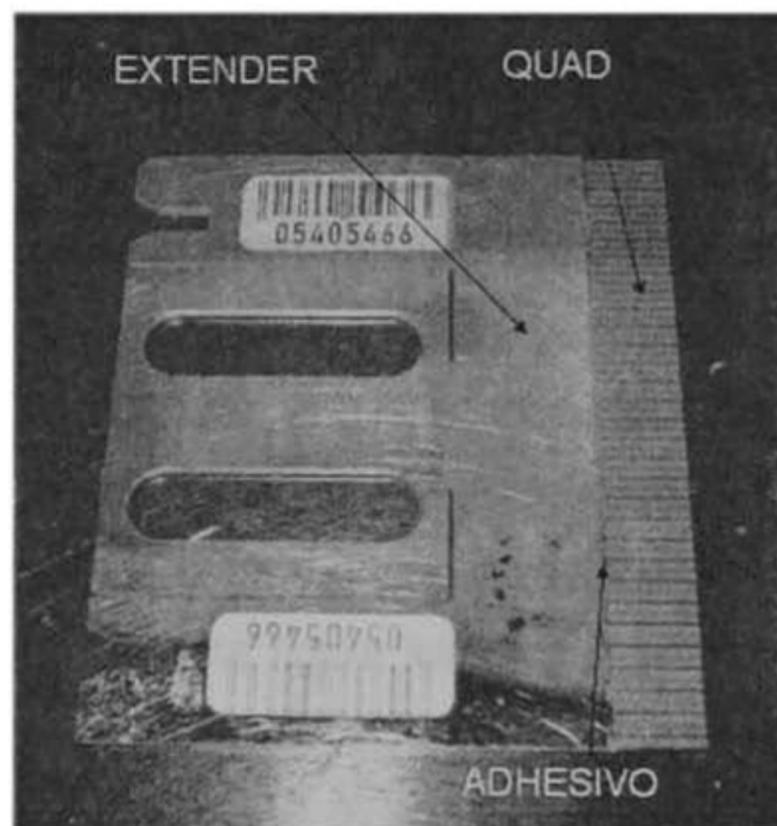


Figura 4 El quad-extend.

El *quad-extend* es un producto final procedente de procesos previos al pulido, conocidos como *split and trim* y *extender Bond* en Fab1 es el enlace de dichos procesos con el resto de los procesos de producción. La figura 5 representa la transformación a la que se somete una oblea de AlTiC mediante procesos de corte y de pulido para obtener los dispositivos llamados *sliders*.

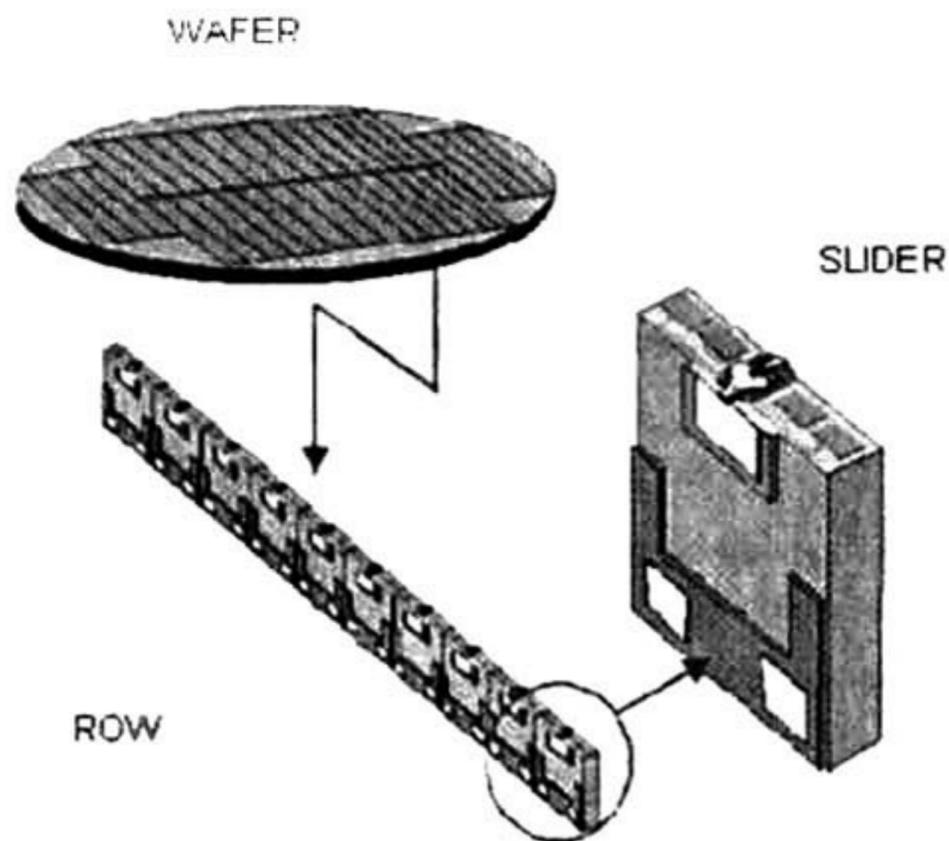


Figura 5 Proceso general de fabricación de cabezas magnéticas o "Sliders"

En la figura 6 se muestran las diferentes etapas de transformación de wafers a *quads*, *rows* y *sliders*, obsérvese que una oblea de AlTiC se divide en 14 *quads* mediante procesos de corte, cada *quad* se adhiere al *extender* donde se obtiene el conjunto *quad-extender*, el cual se somete a procesos de corte y pulido para obtener los *rows* que posteriormente se agrupan en moldes para ser enviados a otros procesos de corte y pulido mas finos donde serán separados del *row* para obtener *sliders*. En esta figura se hace especial énfasis en los proceso de bond que se utilizan en algunas de las operaciones de fabricación. Hay que tomar en cuenta que no solamente el proceso *extender* bond sino que existen otros procesos relacionados con la producción de cabezas electromagnéticas que también deberán ser objeto de estudio para mejorar los niveles de productividad de la empresa. Cabe mencionar algunos de los procesos que se utilizan para ubicar el proceso *Quad* bond en la etapa que le corresponde dentro del proceso de producción.

Wafer Bond: Es la etapa para cortar la oblea en *quads*. *Quad* Bond: Es la etapa para preparar el *quad* y unirlo al *extender*. *Row* Bond: Es la etapa para fijar *rows* en diferentes sub procesos en Fab.1 y harmony en el planarizado: Es la

etapa donde se fija el Job completo a nivel slider después de procesos de corte para inspección y clasificación de pruebas.

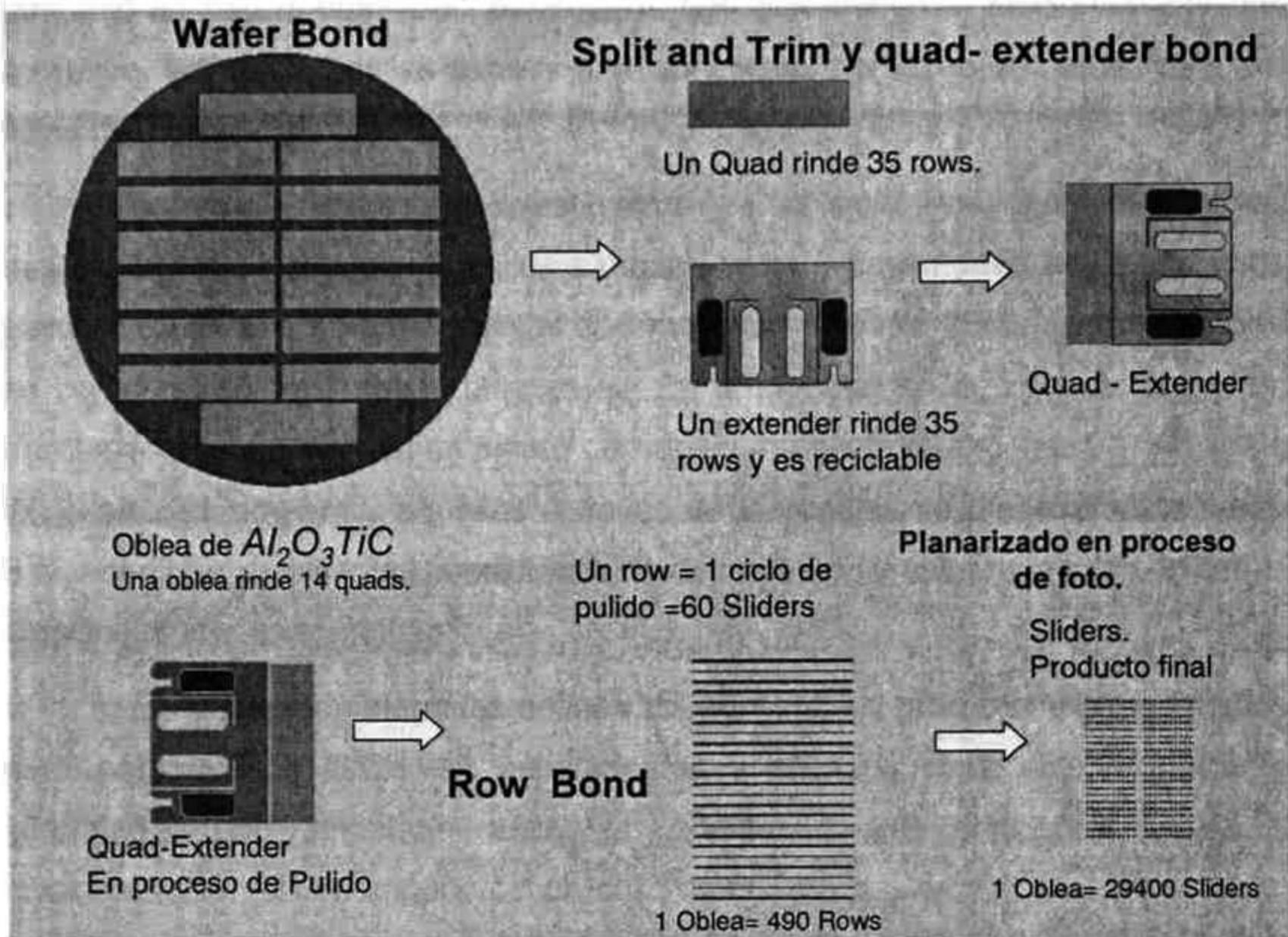


Figura 6 Esquema de los procesos de transformación del wafer, a Quads, rows y sliders, en los cuales se utiliza un proceso de adhesión.

Actualmente no se cuenta con ninguna técnica implementada en la planta de Hitachi Global Storage Technologies de Guadalajara, que determine parámetros característicos que permitan predecir el desempeño de la unión de los sensores de lectura de discos duros a un molde fijador para los procesos de pulido antes de provocar pérdidas o retrasos por retrabajos. Las pérdidas por despegue durante el proceso de pulido es cercano al 0.05% en la tecnología pico, este problema se ve incrementado drásticamente en la nueva tecnología denominada femto, la cual involucra dimensiones menores del slider y las pérdidas por despegue fluctúan entre un 0.5 a 0.6%. Este problema que se presenta en la nueva tecnología femto, en gran parte es debido al desconocimiento y falta de control del proceso de pegado y su desempeño en la etapa de pulido, ya que se

desconoce el sistema de esfuerzos y deformaciones al que el *quad-extend* es sometido y no se cuenta con estudios sistemáticos del desempeño del adhesivo, tampoco se han determinado parámetros que determinen el funcionamiento del adhesivo, por lo cual no se sabe si el despegue es por fallas del adhesivo o por fallas del proceso de pulido.

En este trabajo de investigación se abordan los problemas antes mencionados relacionados con las características y desempeño en la etapa de pulido del proceso de adhesión del sistema *quad-extend*. Este trabajo de tesis se compone de tres etapas principales. En la primera, se describe el elemento *quad-extend* y su medio ambiente de trabajo, es decir los procesos a través de los cuales se prepara y aquellos a través de los cuales se procesa. Esta etapa está enfocada a definir las condiciones de deformación y esfuerzos a los cuales el *Quad-extend* es sometido.

En la segunda etapa, se definen los elementos y procedimientos utilizados para preparar los diferentes experimentos y ensayos para obtener datos e información que permitan realizar un análisis de las principales variables involucradas en el desempeño del proceso de adhesión.

En la tercera etapa y en base al análisis del conjunto de la información recabada en la etapa experimental, se establecen las conclusiones generales sobre el estudio del proceso de adhesión y su desempeño en la etapa de pulido, de tal forma que se definen los parámetros que pueden utilizarse para crear tablas de control de proceso. Esta información será muy importante y debe tomarse como referencia ante cualquier propuesta de cambio, ya sea en el proceso de adhesión o bien en los procesos de corte y de pulido.

Los conceptos y técnicas de medición utilizados en este trabajo pueden ser aplicados a procesos similares donde la pieza a maquinar es tan pequeña que no es rentable o algunas veces no es posible fabricar moldes mecánicos de fijación, por esto no necesariamente son exclusivos para la industria electrónica. Siempre que exista un proceso con limitaciones en la fijación de las piezas estará presente la posibilidad de utilizar algún proceso de adhesión como alternativa de solución.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL:

Caracterizar el proceso de adhesión de oblea del *Quad-extender* (AlTiC-acero440) y definir el sistema de esfuerzos y deformaciones que suceden entre esto adherentes durante su interacción con los procesos de pulido.

OBJETIVOS PARTICULARES:

Caracterización de las propiedades mecánicas del pegamento epóxico y del *quad*. Modelado del mapa de esfuerzos y deformaciones que sufre el *quad-extender* debido al efecto de la fuerza de fricción del pulido.

Definición mediante experimentación de los parámetros más influyentes en el desempeño de la fuerza de adhesión.

Descripción de las causas principales por las cuales suceden despegues en el *quad-extender*.

CAPITULO 1 DESCRIPCION DE LOS PROCESOS DE FABRICACION

1.1. Generalidades de procesos de adhesión.

Un adhesivo es un material que puede aplicarse a las superficies de los materiales y los mantiene unidos. El termino adherente y substrato es utilizado para referirse a un cuerpo o material que va a ser pegado por un adhesivo. Otros términos básicos son el shelf time para referirse al tiempo máximo de almacenamiento que tiene un adhesivo para ser aplicado después de ser mezclado y el pot life que es el máximo tiempo de espera en que el pegamento puede ser aplicador desde su preparación hasta su aplicación. En este capitulo se resumen definiciones descriptivas del proceso utilizado para pegado, herramental y los procesos de pulido con los que el material interactúa. La mayoría de estas descripciones están referenciadas a procesos internos de la planta Hitachi en Guadalajara

1.1.1 Tecnología de adhesión

La tecnología de adhesión es un campo multidisciplinario, el cual encierra aspectos de Ingeniería así como de Física y de Química orgánica. Todo ensamble hecho por medio del uso de un adhesivo se le conoce como unión adhesiva. En cualquier proceso de adhesión más elemental siempre existen tres elementos como mínimo; Estos son los dos adherentes y el adhesivo. Adhesión es el fenómeno en el cual existe transmisión de cargas entre adherentes a través del medio conocido como adhesivo. Todo esfuerzo de adhesión esta determinado por las características y propiedades mecánicas de los adherentes y del adhesivo. El término que define la medición física del esfuerzo presente durante una adhesión se llama adhesión práctica y para describir la química y las propiedades de los adhesivos es necesario discutir y entender la relación de dependencia entre

adhesión práctica, adhesión y los mecanismos de disipación de energía que tienen lugar en la unión. [AVP96-1]

1.1.2 Mecanismos de adhesión

Un mecanismo de adhesión define los fenómenos que suceden al unir dos partes para algún fin o aplicación. El mecanismo más apropiado en lo específico depende de la aplicación, el medio y el tiempo de durabilidad de cada uno. Los mecanismos de adhesión más comunes son el de unión adhesiva y el de unión mecánica. La principal diferencia entre una unión adhesiva y una unión mecánica es que en la segunda por lo general el adherente es unido por medio de algún sujetador mecánico lo suficientemente fuerte como para soportar el ensamble y cuando esta unión se hace por medios mecánicos siempre uno de los adherentes tiene creado un orificio el cual permite sujetar un adherente a el otro. Para ilustrar este fenómeno se presentan dos ejemplos de adherentes. El ejemplo (a) en la Figura 7. Ilustra la trayectoria de las líneas de fuerza al propagarse a través de una unión con adhesivos obsérvese que las líneas obedecen una trayectoria perfectamente lineal en contraste con la trayectoria que siguen las fuerzas en una unión mecánica ejemplo (b) donde se observa una concentración de esfuerzos en los límites de los orificios utilizados para fijar el ensamble. Este fenómeno conocido como punto de concentración de esfuerzos es la causa principal de fracturas y desprendimientos del material en ensambles mecánicos y se debe a que las líneas de fuerza no pueden ser continuas a través de adherente y tiene que ir alrededor del orificio de esta manera en los límites del orificio la fuerza experimentada por el material es mucho mas grande que la fuerza experimentada en las zonas remotas al mismo. [AVP96-1]

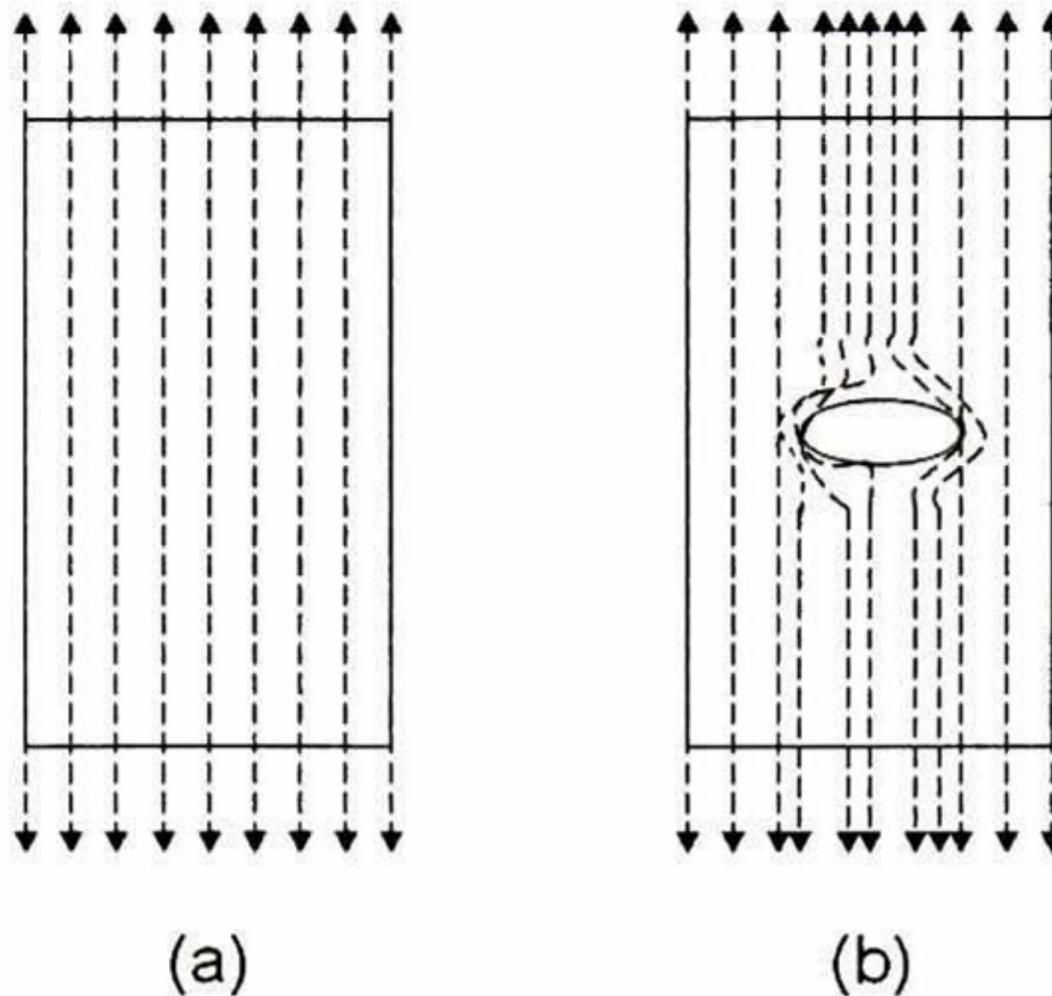


Figura 7 Líneas de propagación de fuerzas para adherentes adheridos por adhesivos(a) y por ensamble mecánico (b).

1.1.3 Preparación de superficies:

La preparación de superficies de los adherentes es tan importante como el mismo adhesivo. En procesos de adhesión que son efectivos, se ha puesto especial atención en la calidad de las superficies a unir. El concepto “compatibilidad de superficies” es común encontrarlo cuando se decide que parámetros deberán tener las superficies de los adherentes que se van a unir. Así, por ejemplo un adhesivo demasiado espeso no sería recomendado para utilizarse en superficies con rugosidades altas ya que se obtendrían superficies que no se mojarían debido a la viscosidad del adherente. Unir a este ejemplo, el caso de un segundo adherente con bajas rugosidades se obtiene puntos con capa de adhesivo de espesor insuficiente. Una técnica que se utiliza para preparar las superficies de los adherentes para lograr compatibilidad entre ambos con el tipo de epóxico que se quiera utilizar es preparar ambos adherentes con los mismos agentes abrasivos y los mismos equipos esta técnica ofrece mejores posibilidades

de ser exitoso en la obtención de superficies compatibles en los adherentes a unir en un proceso de pegado. [AVP96-1]

1.1.4 Propiedades mecánicas de los adhesivos epóxicos

Los polímeros tienen un bajo peso en comparación con el vidrio, además de baja absorción al agua y su alto índice de refracción. Su principal desventaja para todas las aplicaciones es su superficie suave y con ello la baja resistencia mecánica al raspado y abrasión, conduciendo a la dispersión de luz y la disminución de transmisión y calidad óptica. Para superar esos problemas, se han utilizado "recubrimientos duros" basados en poliorganosiloxanos. Consisten en una doble red de polímeros en la cual el agrupamiento o estructuras de este tipo son ligados por grupos orgánicos o fragmentos de polímeros. El incremento de resistencia mecánica se atribuye a la columna vertebral "inorgánica", considerando que la red tridimensional del recubrimiento ligado, muestra ventajas en comparación con la red bidimensional formada en cruz del polisiloxano. Sin embargo, la extensión de esta última, entre los bloques nanoscópicos inorgánicos construidos de la matriz, se ha considerado importante en las altas propiedades mecánicas del híbrido.

Las superficies de los polímeros proveen dificultades técnicas para depositar óxido u óxido basado de recubrimientos directamente, conduciendo necesariamente a su tratamiento o modificación. Como resultado, una variedad de técnicas mecánicas han sido estudiadas para alcanzar ese buen secado y deposición para recubrimientos óxidos cambiando químicamente la superficie del polímero. [HES94-2]

1.1.5 Aplicaciones de adhesivos epóxicos.

La incorporación de materiales orgánicos/oligoméricos/poliméricos dentro de las redes orgánicas/inorgánicas por el proceso sol-gel hace posible optimizar las propiedades seleccionadas independientemente. Específicamente, la introducción de grupos orgánicos dentro de una red inorgánica conduce una nueva variación estructura-propiedad, por consiguiente se promueven nuevas

potenciales aplicaciones para los materiales compuestos resultantes, como por ejemplo: Puede ser introducida flexibilidad por la incorporación de materiales orgánicos/oligoméricos/poliméricos dentro de las redes inorgánicas.

Nuevas propiedades electrónicas, tales como conductividad, propiedades redox, etc., pueden ser alcanzadas introduciendo polímeros conductores junto con alcóxidos de metales de transición. Por la incorporación de tintas orgánicas o polímeros conjugados dentro de las redes inorgánicas, las propiedades ópticas pueden ser sistemáticamente alteradas tanto en las propiedades ópticas lineal (OL) y no lineal (NLO). Aunque muchos de los sistemas de redes constan de componentes que tienen muy diferentes índices de refracción, los materiales resultantes pueden frecuentemente ser preparados óptimamente transparentes debido a su pequeña escala resultante sobre la cual la fase de separación puede existir. Como resultado, estos materiales compuestos pueden encontrar aplicaciones en muchos campos que están fuera del alcance de aplicación de materiales compuestos tradicionales y esta es una importante razón por el fuerte interés en la aplicación de los materiales híbridos orgánicos/inorgánicos. [AVP96-1]

1.1.6 Procesos de adhesión del quad-extender

En este proceso los adherentes son dos piezas de diferentes materiales: *Extender* y *quad*, Estas dos piezas tienen que ser unidas con tal fuerza de adhesión suficiente para soportar todo el sistema de esfuerzos, deformaciones y ciclos de fatiga al que serán sometidos durante los proceso de pulido y corte.

El *quad* se obtiene de obleas de ALTIC de 10 pulgadas de diámetro las cuales son sometidas a procesos de corte. En este proceso la oblea es cortada en fracciones llamadas *quads*. El *quad* es uno de los adherentes de nuestro sistema de adhesión que esta en estudio. La Figura 8 muestra la posición de los 14 *quads* obtenidos de una oblea posteriormente estos *quads* acondicionan a una rugosidad y planicidad adecuada en su sección transversal para ser unidos al *extender*. [PIH04-3]

Posteriormente se somete cada uno de los *quads* a procesos de pulido para tratar su superficie apropiada para la adhesión al *extender*.

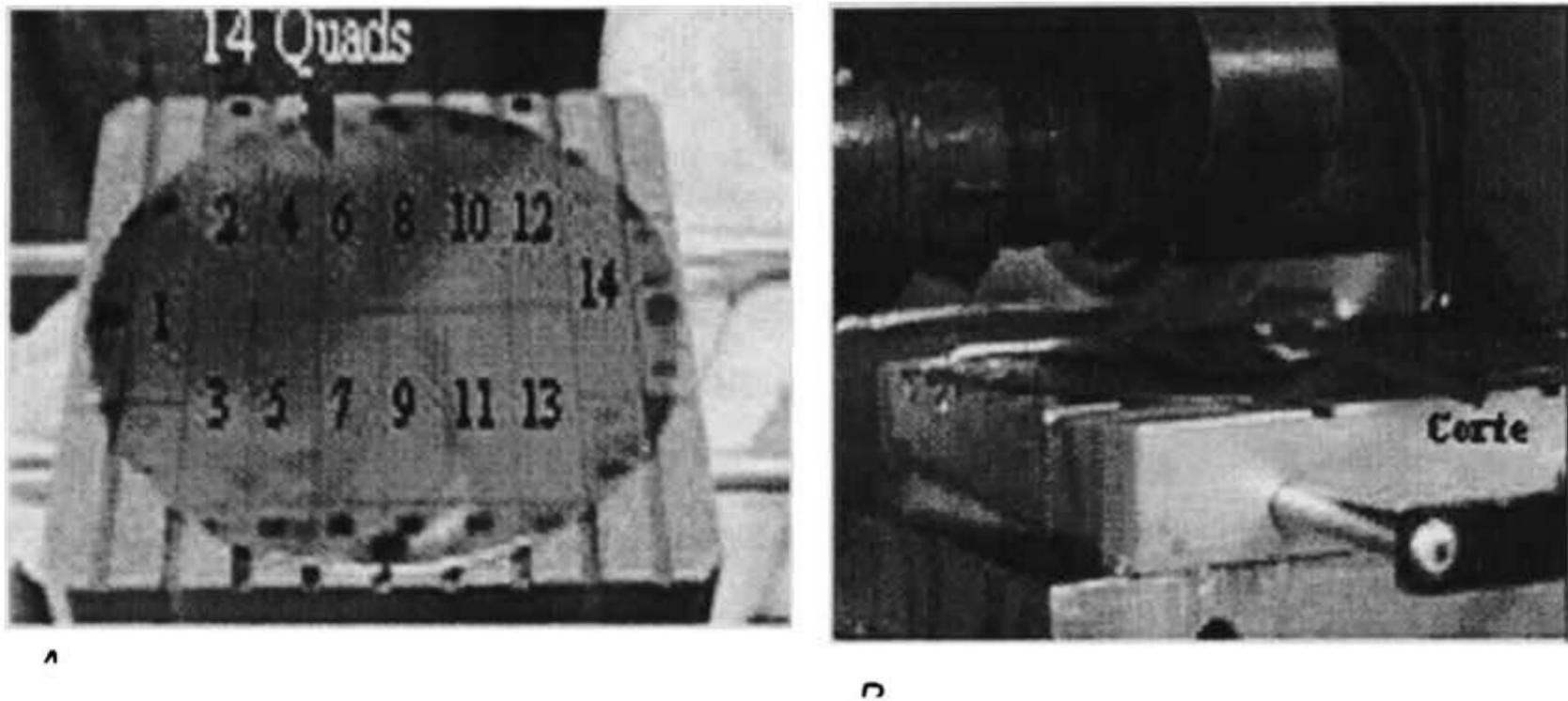


Figura 8 a) Una oblea de AlTiC 10 pulgadas de diámetro, b) Corte de precisión con tolerancia de micrómetros.

En el proceso de preparación de superficies del quad y del extender. se eliminan defectos de superficie en el *quad* provocados durante el corte tales como perpendicularidad y astillas provocadas por la separación al final del corte. Además en el *extender* elimina defectos tales como deformaciones provocadas por mal manejo del material. La Figura 9 muestra los herramientas y el equipo utilizado

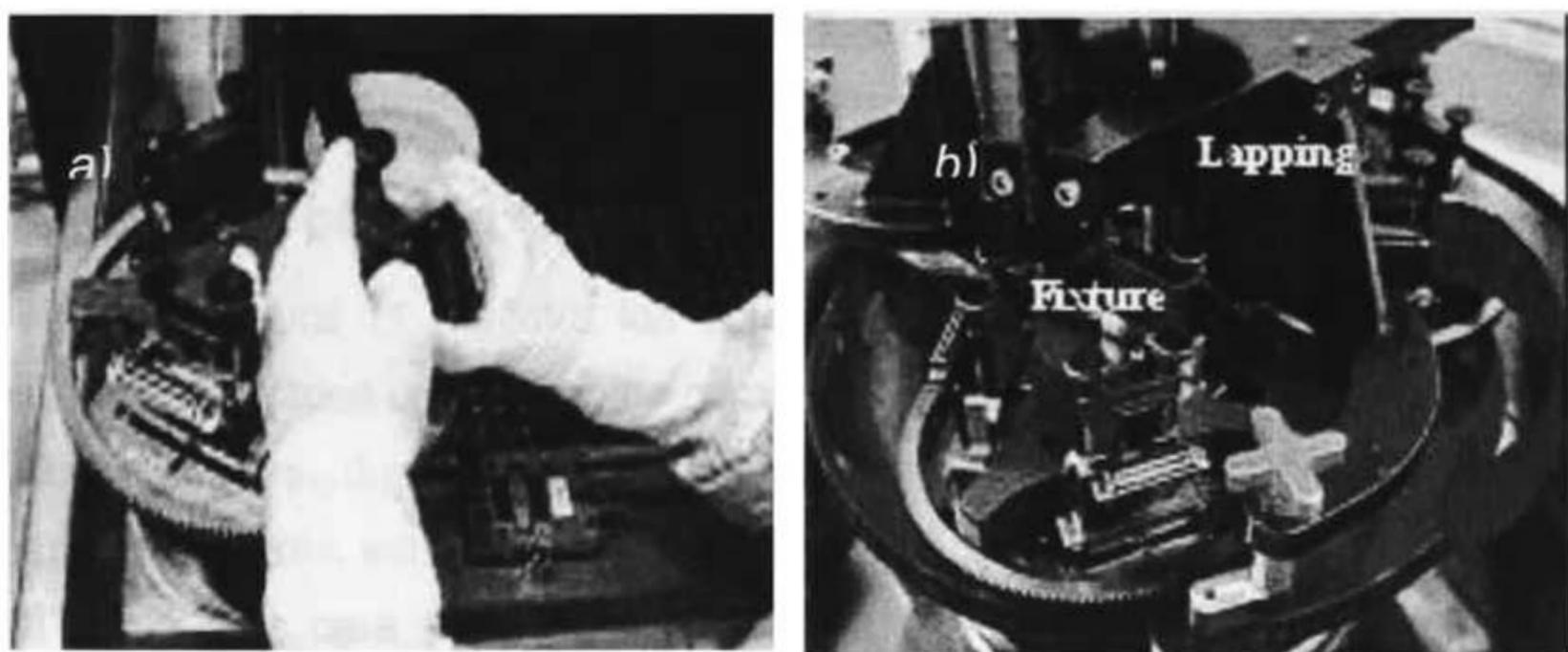


Figura 9 a) El pulido se controla por tiempo basado en el coeficiente de remoción de material por unidad de tiempo. b) Detalle de la máquina pulidora.

El proceso de adhesión del *quad-extend* es de alta precisión y requiere de un equipo aplicador de adhesivo de alta precisión en cantidad aplicada así como en localización del lugar indicado. Cuando se trata por ejemplo de suministrar una cantidad exacta de 0.017gm de pegamento perfectamente distribuidos en una área de 0.91x 46mm² y más aún si se requiere que esta operación sea continua y con rapidez de ejecución para que pueda competir en líneas de manufactura entonces se requieren equipos con sistemas de visión y ejes movidos por servomotores de alta precisión. La figura 10 muestra parte del mecanismo para suministrar adhesivo y el herramental para fijar los adherentes hasta que la unión del pegamento haya endurecido o curado. [HIP04-3]

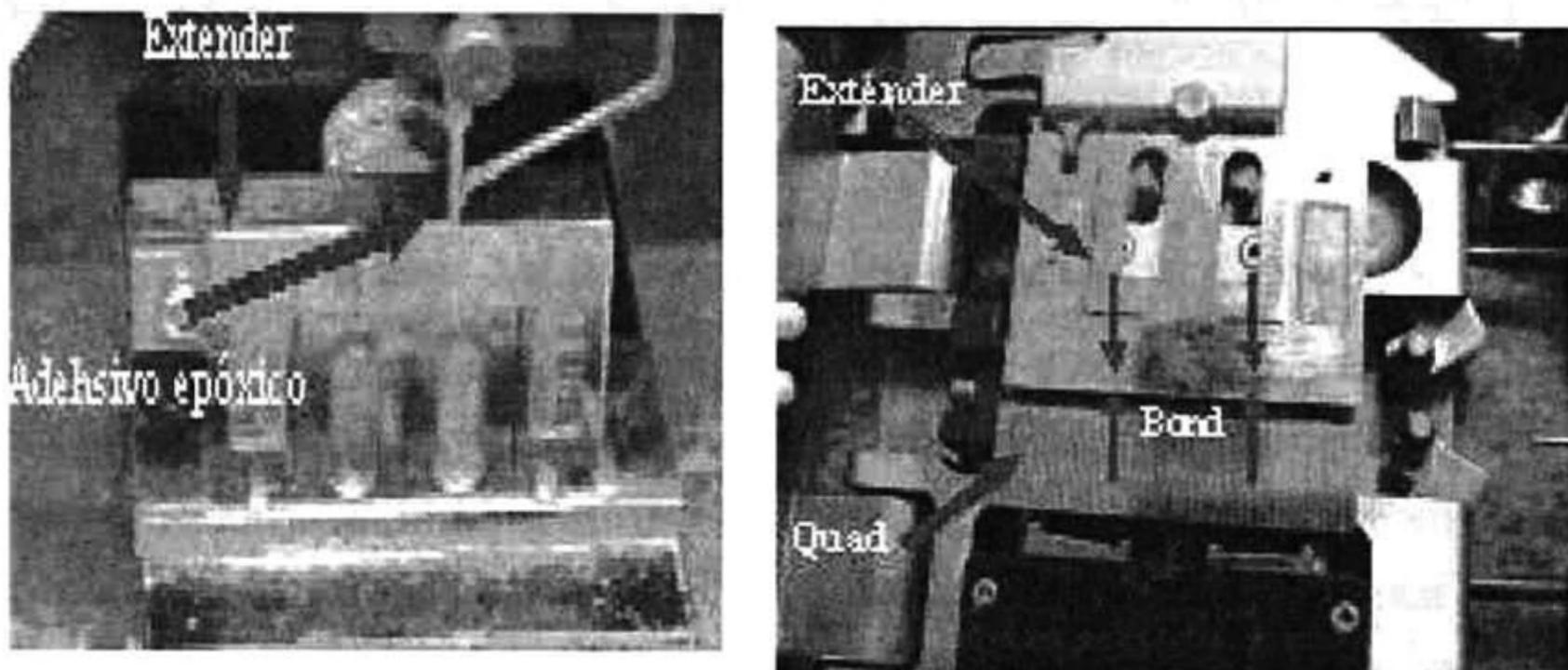


Figura 10 a) Acercamiento del equipo suministrador de adhesivo epoxico. b) Esquema de ensamble de los adherentes en el molde con sujeción para el pegado.

1.1.7 Proceso de curado en dos etapas.

La figura 11 muestra los equipos utilizados para almacenar los *quad-extenders* pegados en proceso de curado. El material se almacena en cámaras de vacío a 25 mm_{Hg} durante 30 minutos posteriormente en disecadores de nitrógeno durante 24 horas, esta operación se ejecuta así debido a dos razones principales. La primera es para evitar contaminación por humedad o partículas durante el endurecimiento de la capa de adhesivo el cual requiere de 24 horas para alcanzar su máxima dureza. La segunda es para evitar problemas de corrosión por

oxidación de los depósitos integrados que constituyen la función de cada una de las cabezas electromagnéticas.

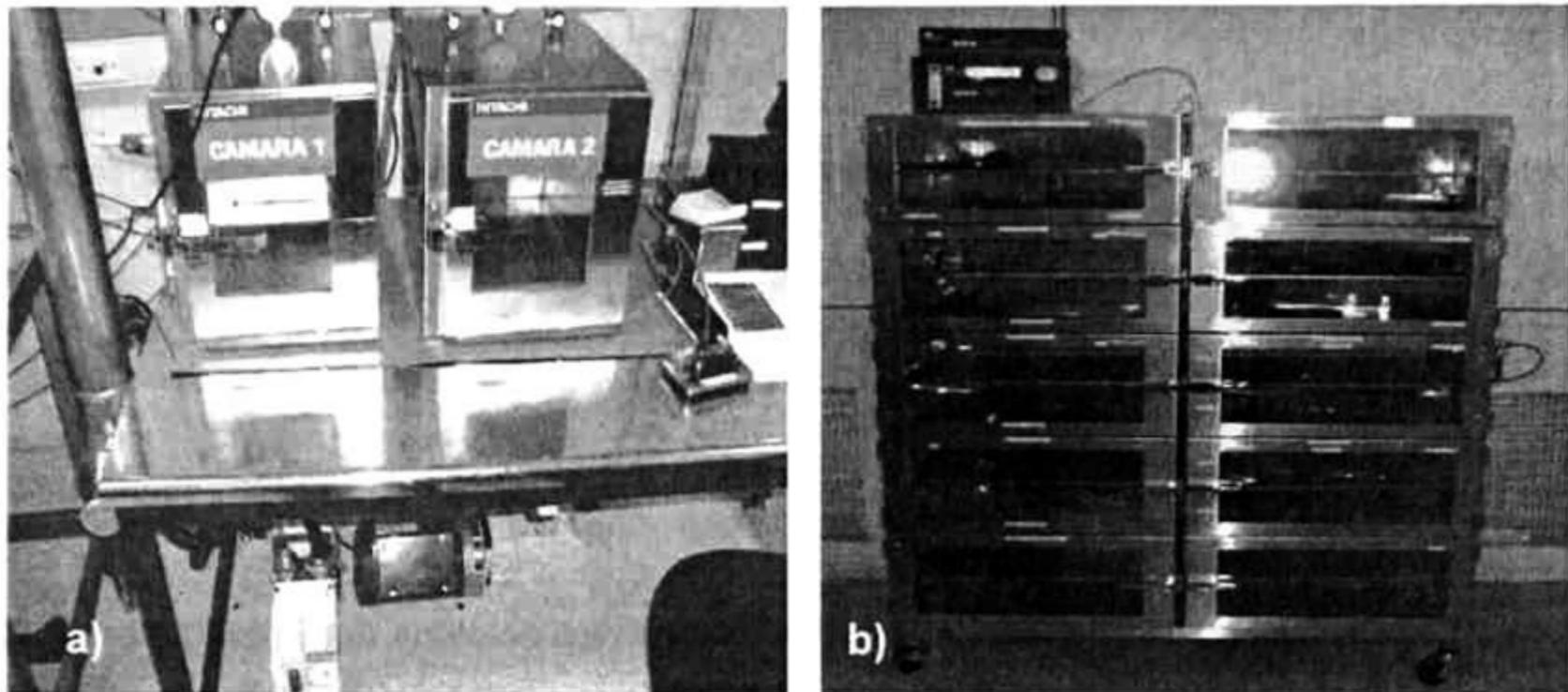


Figura 11 a) Cámara de precurado en vacío b) Disecadores de Nitrógeno seco presión interior 137.9KPa.

1.1.8 Descripción del proceso de Pulido y Corte de quads.

La función principal de los procesos de pulido y corte de *quads* es llevar los elementos electromagnéticos del *row* a valores precisos de resistencia de un valor promedio inicial de 4Ω a un valor de operación de 26Ω . De estos parámetros depende en gran medida el desempeño de cada cabeza electromagnética para leer o escribir en el disco duro orientando los átomos en la superficie del disco. Además de cumplir con parámetros de planicidad TIR de $0 < X < 1500\text{nm}$ y acabado de superficie Ra de $0 < X < 500 \text{ \AA}$. En la figura 12 se puede observar de manera esquemática el efecto de orientación mediante campo magnético que la cabeza electromagnética tiene sobre los átomos del disco duro al leer o escribir información.

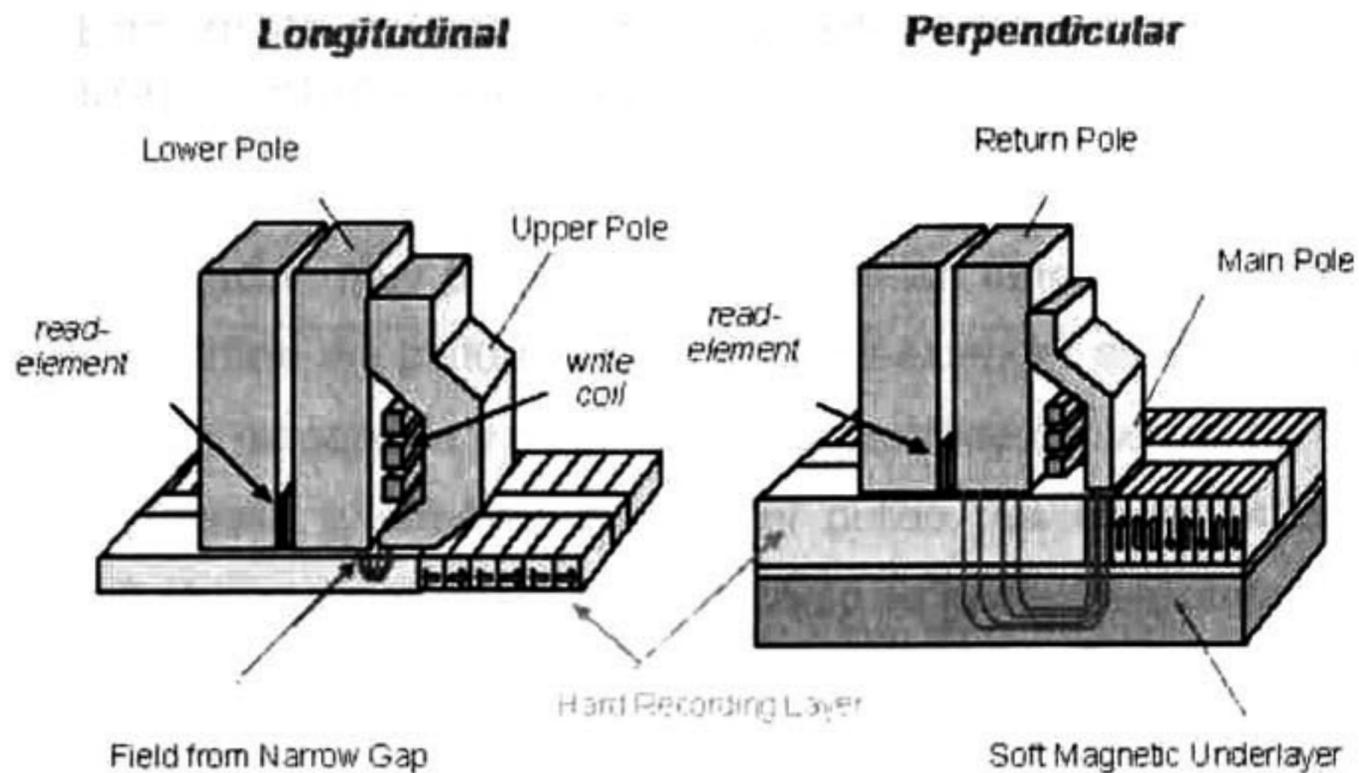
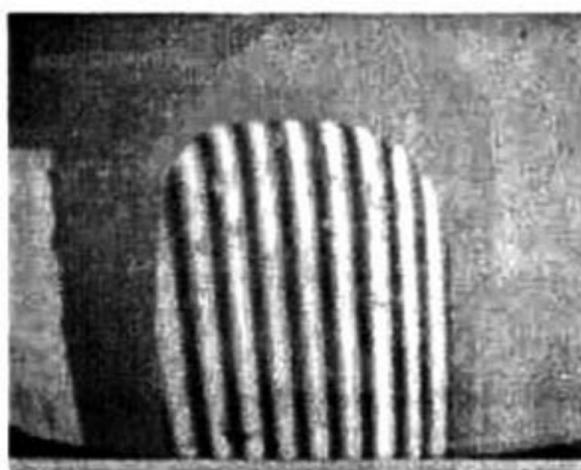


Figura 12 Efecto de orientación del elemento electromagnético en el disco al escribir

En lo que se refiere al proceso de corte, también se controlan parámetros de espesor y perpendicularidad que afectan al pulido ya que después del corte se obtiene una superficie relativamente imperfecta para la primera fase del pulido. Para evaluar si la calidad del corte es apropiada para el pulido de la superficie se hace una inspección cualitativa de la superficie del corte utilizando el interferómetro adaptado a un microscopio con coordenadas x, y. La figura 13 muestra en la toma a. Una superficie desastillada y en la toma b. Una superficie imperfecta no desastillada. La superficie desastillada esta preparada para someterse al proceso de pulido con control eléctrico.



a) Superficie desastillada preparada para pulirse

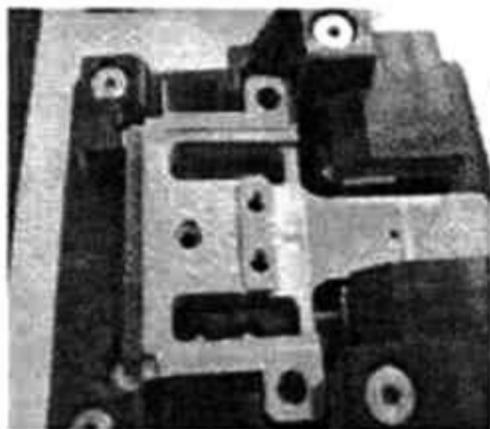


a) Superficie con defectos del corte sin desastillado

Figura 13 Inspeccion cualitativa de las superficies a pulir.

1.1.9 Ensamble del quad-extendor en el molde de pulido y preparación para pulir.

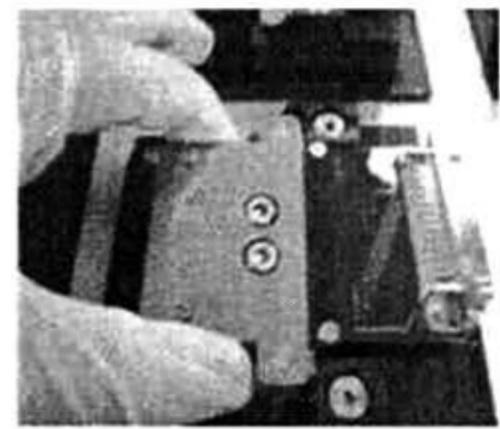
El *quad-extendor* para poder ser pulido debe cumplir con características de ensamble y fijación muy precisas que le permitan tener un desplazamiento a través de la superficie del plato abrasivo. El *quad-extendor* es ensamblado en un molde que le sirve de soporte y medio de transmisión de esfuerzos para regular la cantidad de material a remover durante el pulido. La figura 14 muestra un diagrama de flujo esquematizando la forma como se hace el ensamble y el equipo que se utiliza.



1-Base del carrier



2-Quad-extendor en carrier



3-Cubierta del carrier con cable



4-Sujecion de cubierta a carrier



5-Carga de carriers en pulidora



6-Ajuste del actuador al carrier



7-Conexion electrica a sensores



7-Soporte de carriers durante el pulido.

Figura 14. Descripción del flujo del proceso que se sigue para preparar el material quad-extendor para pulir.

Los Parámetros de alineación de exposición del *quad* en el *carrier* se requieren en máximo 50 micras en sus extremos y de exposición no más de 100 micras de la cerámica de soporte al filo de la superficie a pulir. Estos parámetros son indispensables si se quiere tener un pulido con el menor riesgo de quebraduras o fallas de despegues. La figura 15 muestra la manera en que se inspecciona estos dos parámetros del *quad- extender* ensamblado en el *carrier*. Además de asegurar que al ensamblar el *extender* en el *carrier* se asegura de cargar el *quad* con la secuencia correcta según el serial del *row* a pulir, esto es debido a que en el sistema de control del proceso cada *row* y cada *slider* son controlados por su único número de identificación.

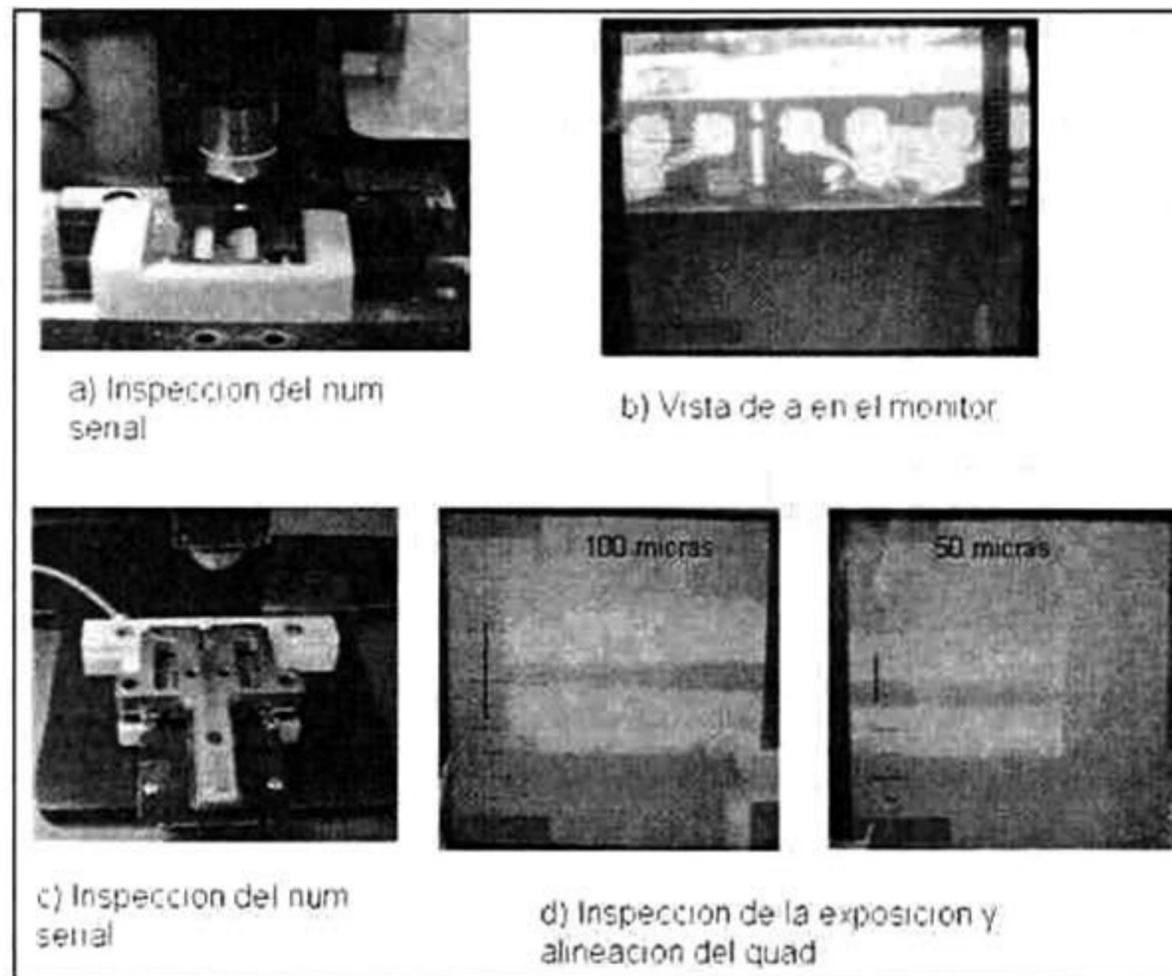


Figura 15 Muestra el proceso de inspección de alineación del extender en el carrier antes de pulirse

Al final de todo el proceso de ensamble del *quad- extender* se obtiene una pieza clave para el proceso de pulido, es el *carrier* ensamblado, en este molde es donde internamente suceden los efectos que provocan que el *quad* se despegue, aquí se manifiesta el problema y del análisis mecánico interactuando con la cinemática de los procesos de pulido y de corte se deben obtener las mejores condiciones mínimas necesarias de pegado para permanecer con el epóxico

actual o cambiar a algún otro tipo que mejore los paramétricos que este trabajo pretende implementar. [HIP04-3]

En la Figura 16. Se pueden observar las partes del *carrier* que soportan el *quad* durante el pulido. La base del *carrier* en a), Proporciona referencia de planicidad y es perfectamente perpendicular a el plato cuando se ajusta a el molde del carro de pulido del equipo, esta base es construida con acero inoxidable tipo 410c. b) Es la cerámica que protege al *quad* de deformaciones de la base por desportilladuras. c) muestra la sección transversal del *quad*. d). muestra el resorte lineal que mantiene el cable en contacto con las terminales de los sensores durante el pulido, la tapa del *carrier* donde se observa el resorte lineal que da soporte y límite de flexión a el *quad- extender* esta representada por e), esta tapa del *carrier* sostiene mediante tornillos todo el arreglo del *quad-extender* y mantiene el cable de mediciones de resistencia de manera fija a los sensores durante el pulido. [HIP04-3]

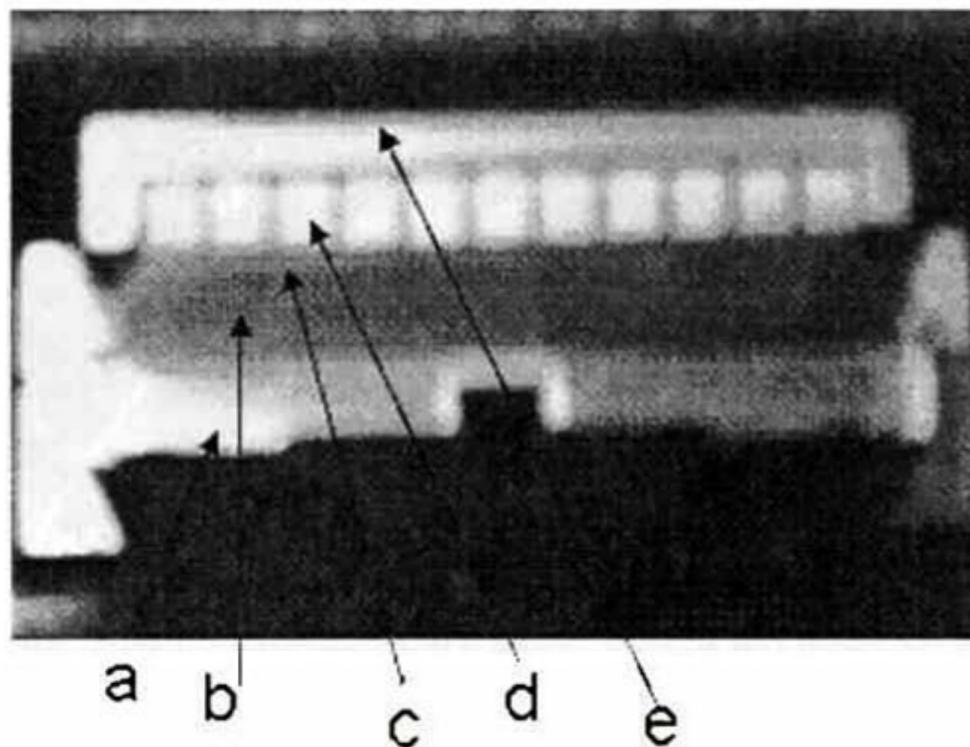


Figura 16 Carrier con el quad-extender ensamblado a) Base b) Tope de zirconio c) quad d) Resorte lineal e) Tapa del carrier.

1.1.10 Descripción del proceso de corte del quad en rows.

El proceso de corte de *quads* en *rows* es un proceso cíclico de 35 vueltas del material incluyendo todo el manejo y la fase del pulido. Durante este ciclo el

material en estudio se somete a esfuerzo de deformación y fatiga de la unión donde actúa el pegamento que nos ocupa. Esfuerzos cortantes y tangenciales son transmitidos al *quad- extender* y por consecuencia deben ser soportados por la unión de los dos adherentes. En la Figura 17 se puede observar parte del equipo que se utiliza para cortar esta fracción de la oblea en barras más cortas y en la segunda rutina agregar un proceso de esmerilado con el fin de eliminar los filos que deja los defectos del corte. Obsérvese como el *extender a.* es sujetado por la base montada en la mesa corrediza *d.* Los discos de la navaja y del esmeril girando a 12,000 rpm permanecen fijos en su desplazamiento *b* y *c.* La mesa se mueve a una velocidad de 300 mm/min en el proceso de corte y a 200 mm/min durante el proceso de esmerilado.

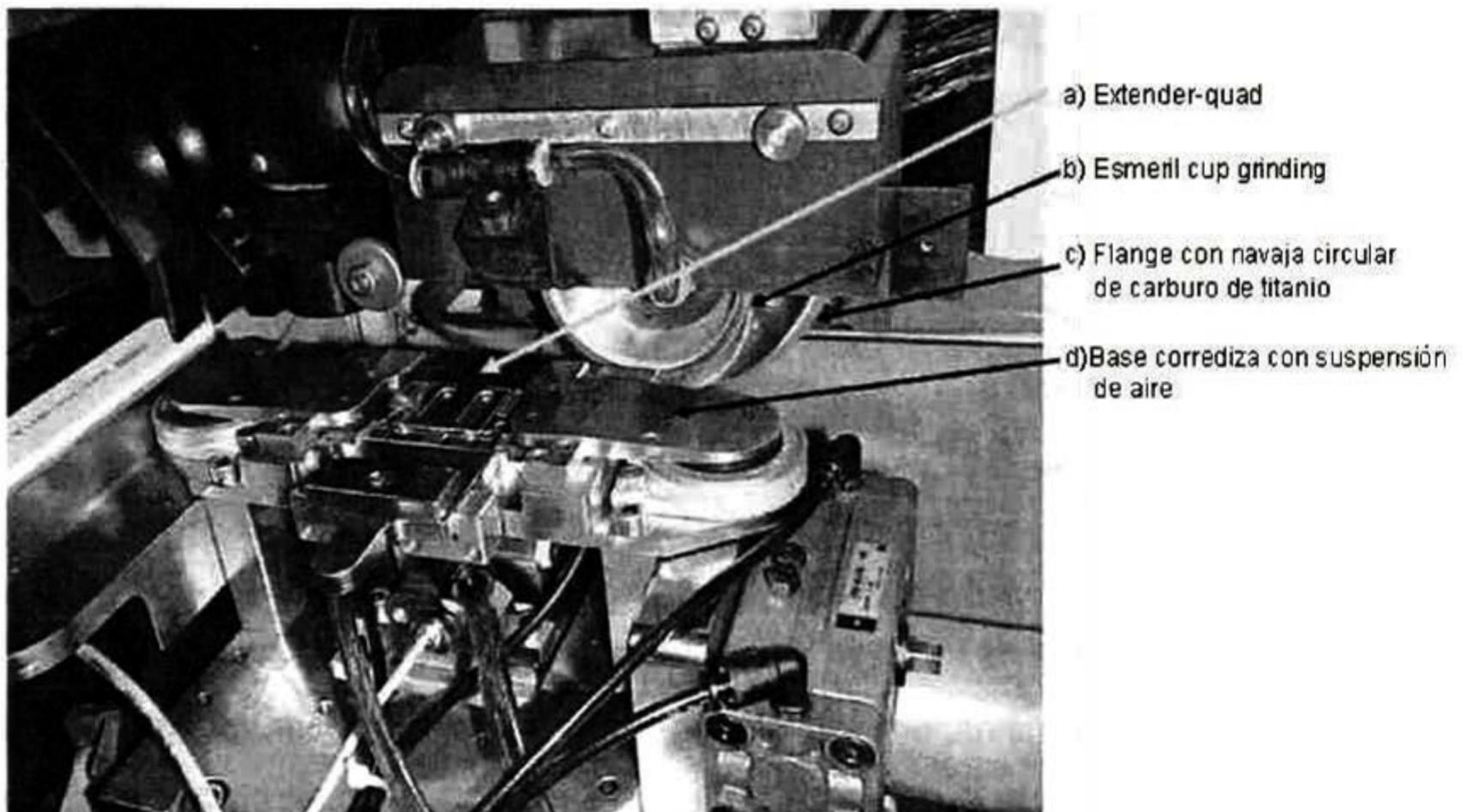


Figura 17 Parte del mecanismo utilizado para hacer cortes del quad en rows.

1.1.11 Descripción del mecanismo utilizado en la pulidora

El 90% de los eventos de *quads* rotos suceden en el proceso de pulido. Pero no necesariamente tienen su origen en este proceso, se dan muchos casos en los que el material ya está fracturado o puede tener adherencia insuficiente. Obviamente esto no se puede saber porque no existen pruebas previas para medir la calidad de la adhesión obtenida en el proceso de *extender bond*. Para

empezar a conocer las condiciones de esfuerzo a los que el *quad-extend* es sometido se empieza por analizar la cinemática del proceso de pulido. El mecanismo que mueve al carro se compone de una corredera acoplada a la flecha de un motor de corriente directa. La corredera proporciona aumento de diámetro de desplazamiento sobre el plato y reducción del torque requerido para mover el carro. La Figura 18. Muestra una vista exterior del mecanismo de la pulidora. El mecanismo del carro se desliza sobre dos ejes paralelos que solo guían el molde de pulido sobre el plato.

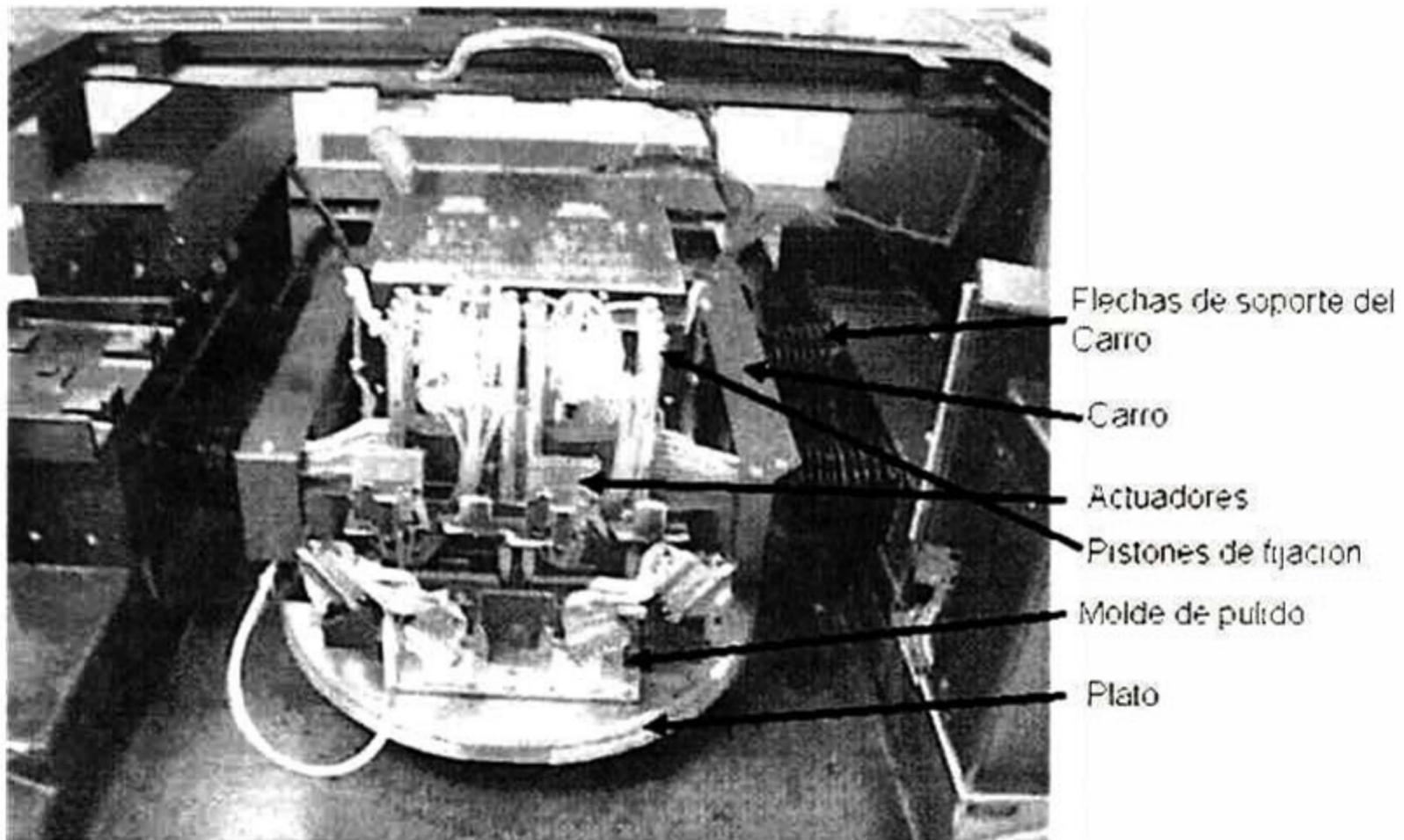


Figura 18 Descripción del mecanismo completo que se utiliza en la pulidora

Para poder describir mejor el acoplamiento del mecanismo y con el objetivo de explicar el ciclo de deformaciones a que es sometido el *quad-extend* debido a la cinemática del pulido nos hemos auxiliado de la siguiente Figura 19 donde se muestra el esqueleto básico del mecanismo. [HIP04-3]

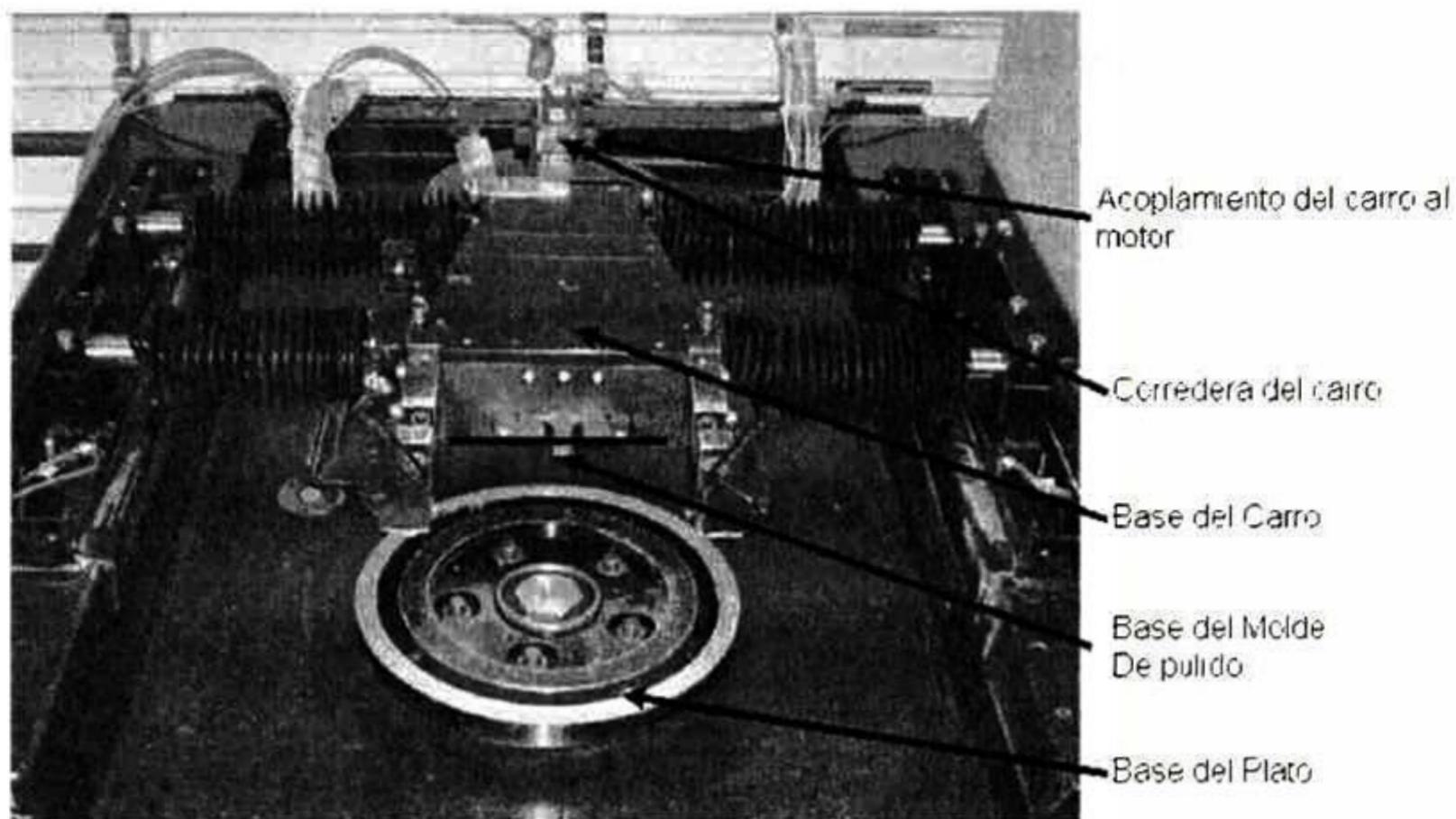


Figura 19 Descripción del mecanismo que se utiliza en la pulidora

Este mecanismo desarrolla un movimiento armónico simple donde la velocidad es constante sobre una trayectoria circular. Cualquier punto ubicado en la superficie del *quad* puede ser analizado independientemente, debido a que el molde de pulido es simétrico, el modelado sobre un punto describirá lo que sucede en el resto del cuerpo.

En la Figura 20 se muestra el acoplamiento del carro para ejecutar una trayectoria circular sobre el plato, de tal manera que cuando se coloca el molde de pulido se puedan pulir los cuatro *extender* contenidos en los *carriers*. Nótese que durante el ciclo de pulido los puntos que tienen contacto con la superficie del plato son los cojinetes del molde y los *quads*, Marcados de manera representativa en la Figura 21 como. (Cuatro *carriers* / corrida).

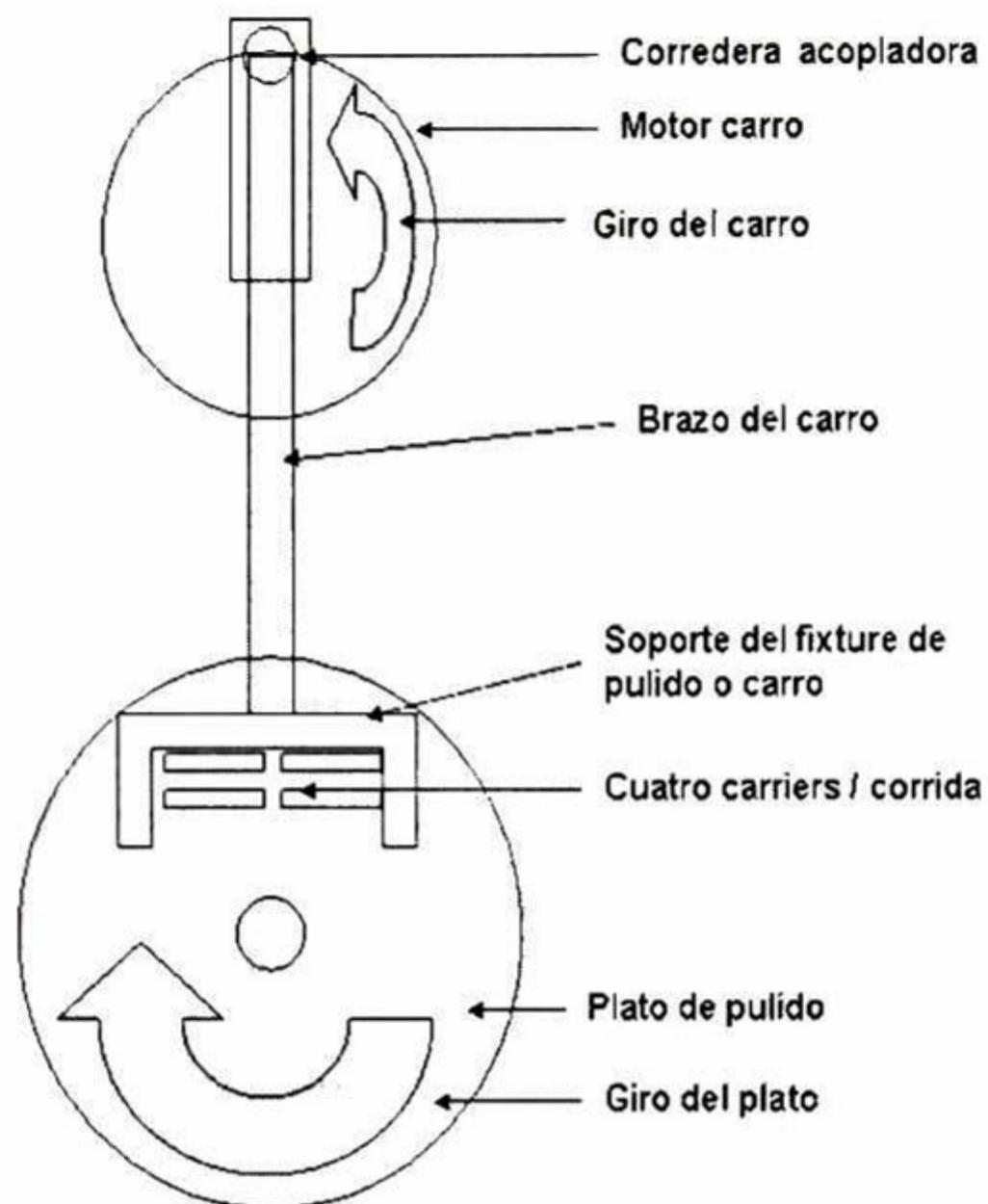


Figura 20 Representación del mecanismo básico utilizado en la maquina.

1.2 Descripción de los materiales críticos del proceso *Extender bond* y Pulido.

En todo proceso objeto de estudio es indispensable definir las propiedades de los materiales críticos que están involucrados directamente en la parte del proceso que se esta estudiando. Para este caso definimos mediante diferentes técnicas las propiedades consideradas importantes para el tipo de defectos en estudio. Partes como el *extender*, El adhesivo, *quad-extender* y el ensamble del molde de pulido "El *carrier*" serán definidos de manera individual.

1.2.1 Extender.

El *extender* es la parte metálica de acero inoxidable que se une al *quad* por lo tanto es el segundo adherente de nuestro objeto de estudio y parte esencial

del problema, por lo tanto debe estudiarse y definir su función así como sus propiedades mecánicas.

En la Figura 21 Se describen varias vistas del *extender* donde se muestran algunas características que definen su función durante el pulido. Los canales que aparecen en los extremos hacen que la pieza tenga una flexibilidad adecuada para las fuerzas que se aplican mediante el actuador para compensar el arqueado de acuerdo a los valores de resistencia de los sensores localizados en el *quad*. También se muestra la superficie de contacto del *extender* con el adhesivo. Esta superficie es la que se trata y acondiciona a rugosidades adecuadas para lograr la mejor adhesión. El *extender* no es solamente una pieza que se una a el *quad* como medio de transporte sino que es un medio de transmisión de esfuerzos compensatorios de arqueado para lograr la mejor planicidad del *quad*.

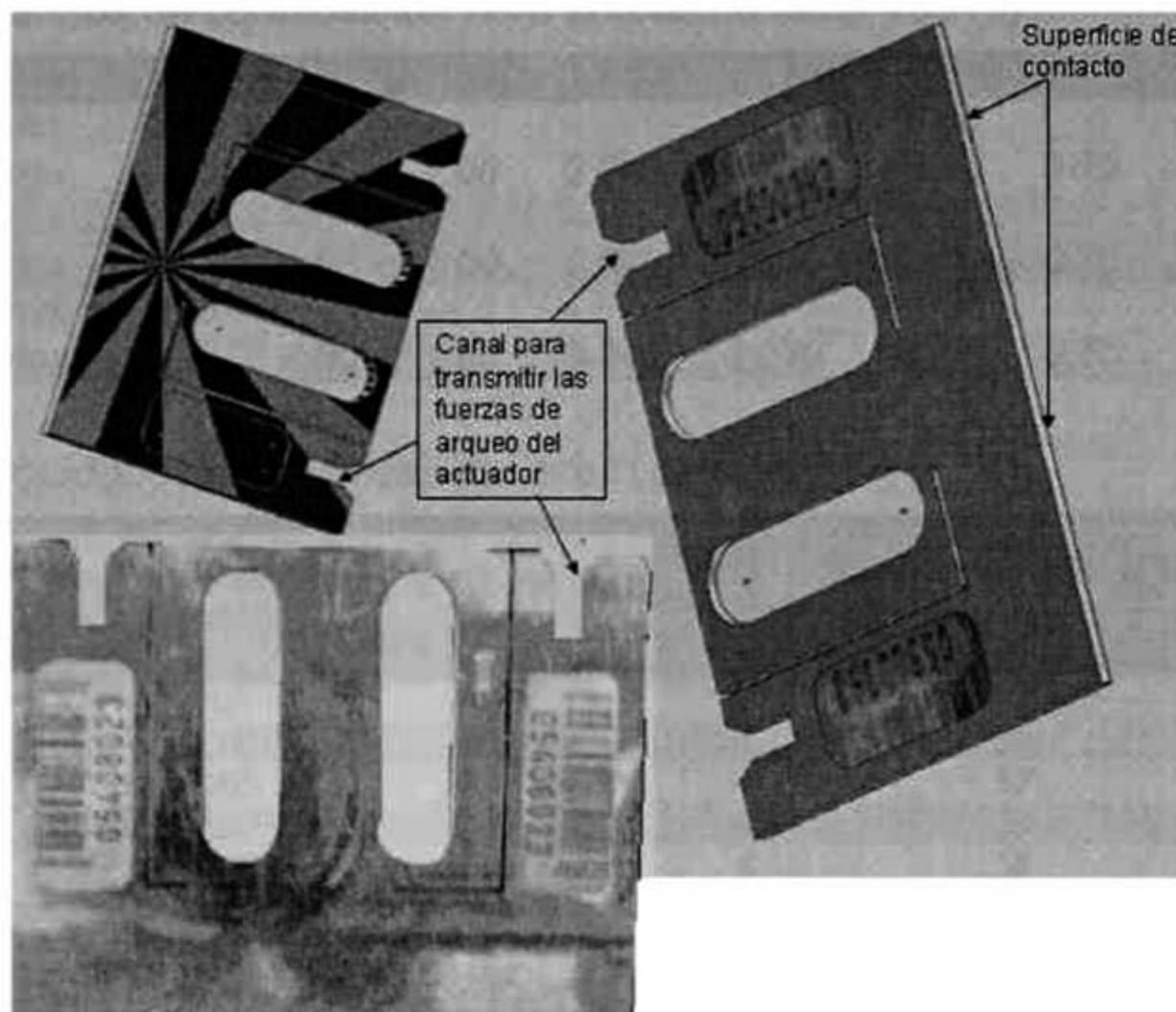


Figura 21 Características especiales del extender

Los *extenders* son reciclables, cada vez que cumplen con su ciclo de operación se vuelven a acondicionar en el proceso de preparación de superficies y se someten a la medición de su perfil de acabado en este proceso se controlan dos parámetros importantes La planicidad (TIR) y la rugosidad (Ra). [HIP04-3]

El material utilizado para construir esta pieza es el acero inoxidable 440C-SST, la dureza medida en el laboratorio de Ingeniería Hitachi; en unidades Rockwell C es de RC-55-62. El grado de acero 440C es capaz de obtener la mas alta dureza y alta resistencia a el desgaste después del tratamiento térmico, ya que es una de las mejores aleaciones de acero. Por su gran contenido de carbón es el mismo material que se utiliza para fabricar balas de balero y algunas partes de válvulas. El acero martencita es optimizado para alta dureza y por lo general no son muy propicios para soldarse. Además son muy resistentes a la corrosión y son perfectamente maquinables a velocidades de corte adecuadas. [ASM06-4]. En las tablas 1 y 2 se proporcionan datos sobre la composición y propiedades mecánicas de aceros de la serie 400. La figura 22 muestra las dimensiones de diseño del extender y sus rangos de tolerancia en términos de planicidad

Tabla 1. Rangos de composición para aceros de serie 400 (4)

		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N
440A	min.	0.65	-	-	-	-	16.00	-	-	-
	max.	0.75	1.00	1.00	0.040	0.030	18.00	0.75	-	-
440B	min.	0.75	-	-	-	-	16.00	-	-	-
	max.	0.95	1.00	1.00	0.040	0.030	18.00	0.75	-	-
440C	min.	0.95	-	-	-	-	16.00	-	-	-
	max.	1.20	1.00	1.00	0.040	0.030	18.00	0.75	-	-

Tabla 2 Propiedades mecánicas del acero serie 400 (4)

Tempering Temperature (°C)	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength 0.2% Proof (MPa)	Elongation (% in 50mm)	Hardness Rockwell (HR C)	Impact Charpy V (J)
Annealed*	758	448	14	269HB max#	
204	2030	1900	4	59	9
260	1960	1830	4	57	9
316	1860	1740	4	56	9
371	1790	1660	4	56	9

* Annealed properties are typical for Condition A of ASTM A276

Brinell Hardness is ASTM A276 specified maximum for annealed 440A, B and C.

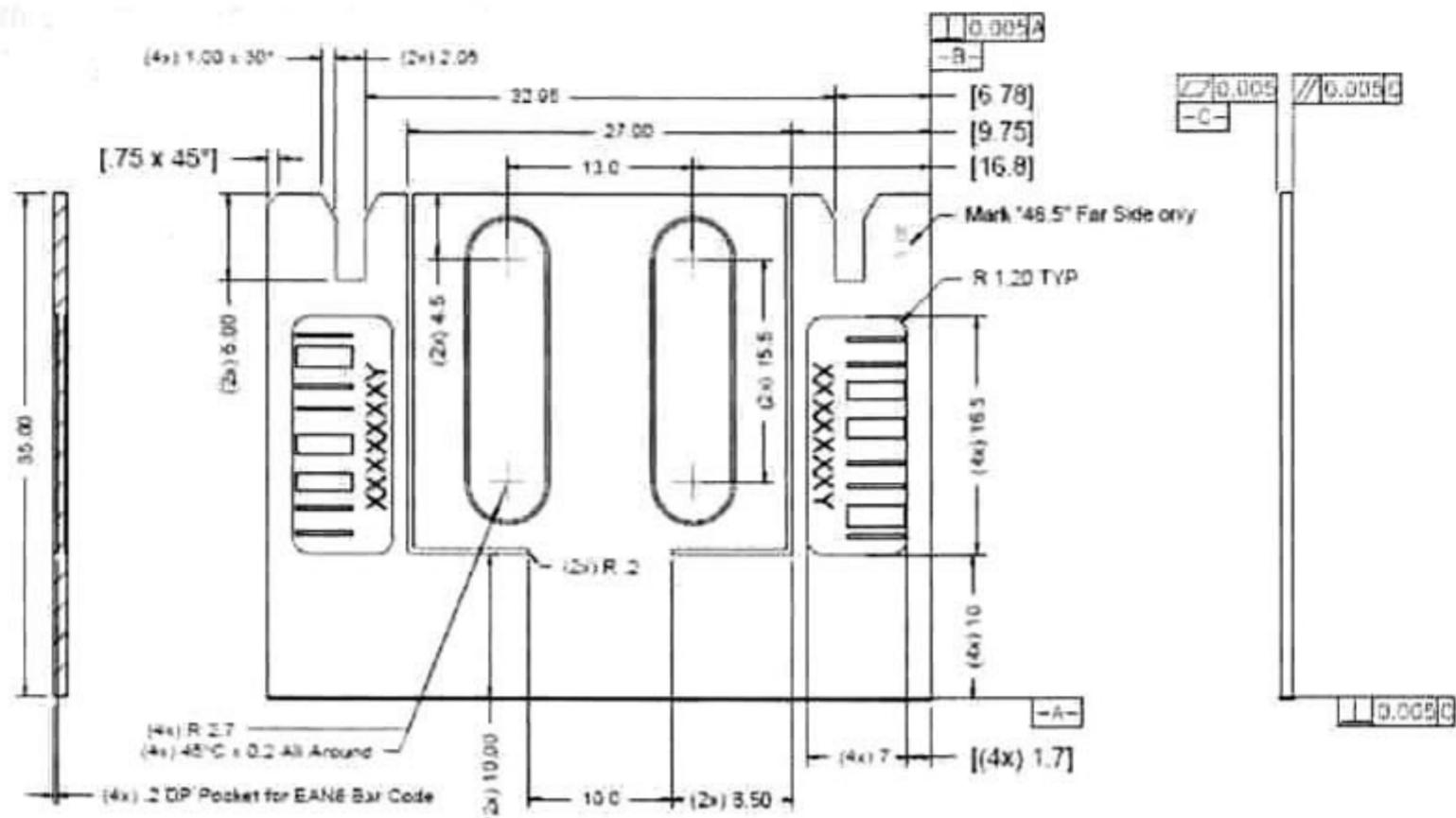


Figura 22 Plano de diseño del extender donde se especifica el material y dimensiones a utilizar durante el maquinado.

1.2.2 Adhesivo.

El adhesivo utilizado para unir el *quad* al *extender* es material epóxico de alta viscosidad, cuyo nombre comercial es Loctite E60-HP. En las tablas 3 y 4 se presentan las propiedades del epóxico sin curado y con curado respectivamente. Este epóxico se compone de dos materiales uno es el llamado base o resina y el otro es el endurecedor o acelerador el cual al mezclarse con la resina reacciona endureciéndolo y generando calor aunque para esta aplicación esta relación de mezcla de 2 a 1 unidades, el calor generado es despreciable. Este producto (Loctite E60-HP) está diseñado para aplicaciones que requieren una velocidad de adhesión lenta que permita hacer ajustes durante el ensamble de unión por esto requiere de moldes fijadores. Los productos de curado mediante un mecanismo de luz UV ofrecen una alternativa para los productos de adhesión con aceleradores a un costo moderado.

La tabla 5. Muestra algunas magnitudes las propiedades físicas y eléctricas del adhesivo curado. Como referencia de este tipo de prueba se presenta las propiedades de otros sustratos en esfuerzos cortantes.

Tabla 3 Propiedades de los materiales que componen al Epóxico "sin curado" [LOC05-5]

RESINA		
Propiedad	Valor	Rango
Tipo de químico	Epóxico	
Apariencia	Ámbar claro a tenue	
Gravedad específica	(25°C)	1
Gravedad específica	(25°C)	1
Viscosidad	(25°C - cP) 67,500	50,000 a 85,000
Punto de combustión	>93°C (200°F)	

ENDURECEDOR		
Propiedad	Valor	Rango
Tipo de químico	Amina	
Apariencia	Líquido amarillo ámbar	
Gravedad específica	(25°C)	1
Viscosidad	(25°C - cP) 7,000	5,500 a 8,000
Punto de combustión	>93°C (200°F)	

Tabla 4. Propiedades del adhesivo curado. [LOC05-5]

Propiedades del adhesivo curado Curado con luz UV, 100mW/cm ² a 400 nm, 10 segundos por lado y con 24 horas temperatura ambiente							
Tratamiento o Propiedad	Fuerza de tensión y rompimiento, ASTM D-882, psi (N/mm ²) ... 5,200 (35.8)	Elongación y rompimiento, ASTM D-882,	Modulo, ASTM D-882, psi (N/mm ²)	Dureza, ASTM D2240, Shore D-2	Encogimiento, ASTM D-792,	CTE ASTM D696, ppm/ °C	Tg, ASTM E228, °C
Valor	5200 (35.8)	8.70%	237,000 (1,630)	72	12.80%	73.9 x 10 ⁶	106

Tabla 5 Propiedades del epóxico curado y en pruebas con diferentes substratos [LOC05-5]

Propiedades típicas de el adhesivo (curado a 25°C a menos que se indique diferente temperatura)		
Propiedades físicas	Valores típicos	Unidades
Intencidad dielectrica	500	Volts/mil
Resistencia a la tensión ASTM D638	5,100	psi
Resistencia a la elongacion ASTM D638	9	%
Dureza ASTM D-1706	80	Shore D
Temperatura de transición vitrea	70	centigrados
Esfuerzo cortante contra substrato(Substrato curado por 5 dias a 22°C)		
Pulido cortante	Valores típicos	
	N/mm ²	psi
Arenilla-Hierro soplado	28.8	4320
Aluminio escarbado- capas 3 a 9 mm	29.9	4340
Aluminio anodizado	17.9	2600
Acero inoxidable	12.6	1830
Policarbonato	1.9	270
Nylon	11.3	1640
Esfuerzo cortante	Valores típicos	
	N/mm ²	psi
PVC	11.8	1710
ABS	12.8	1850
Epoxy	28.8	4030
Acrilico	1	150
Vicrio	31.7	4590

1.2.3 Quad.

El material que se utiliza para la elaboración de las cabezas lectoras de discos duros es un compuesto con matriz de Alúmina reforzada con partículas de Carburo de Titanio. A este compuesto se le ha dado en la literatura el nombre de ALTIC. Este tipo de compuesto fue desarrollado por la necesidad de mejorar la tenacidad a la fractura de los cerámicos que se utilizan en este tipo de productos. El reforzamiento con TiC hace de la alúmina un material ideal para la elaboración de cabezas magnéticas de discos duros. Por su resistencia a la deformación y tiempo de vida además por su simetría es muy estable para procesos de depositado de otros elementos.

Las principales propiedades del compuesto cerámico que se utiliza para la fabricación de las cabezas lectoras, se presentan en la tabla 6:

Tabla 6. Propiedades del material que compone la oblea ALTIC.

Composición: Al₂O₃: 64 ± 2 wt % / TiC: 36 ± 2 wt % Otros: ≤ 0.6 wt %
 Densidad: 4.28 - 4.33 g/cm³
 Tamaño de grano promedio: 1.0 ± 0.2 μm
 Dureza (Hv): 18.8 ± 1.0GPa (@ 20 Kg. carga)
 Coeficientes N y K: N = 2.14 ± 2.14 (@ λ = 579 nm). K = 0.49 ± 0.06 (@ λ = 579 nanometros)
 Modulo de Young: > 390GPa
 Fuerza de Flexión: > 550 MPa
 Coeficiente de expansión térmico: 7.3 ± 0.3 x 10⁻⁶ / °C (40 – 400°C)
 Conductividad térmica: > 15 W/m * K
 Resistividad del volumen: < 10⁻² Ω * cm.
 Permeabilidad magnética: < 1.005
 Densidad magnética residual: < 50m * Gauss

Una de las maneras utilizadas para incrementar la tenacidad a la fractura es agregar al cerámico mecanismos adicionales a través de los cuales la energía de fractura pueda ser disipada y esto puede lograrse haciendo más difícil el crecimiento de una grieta a través del cerámico, por ejemplo agregando interacciones con imperfecciones estructurales como fronteras de grano o con la interacción de fases secundarias como partículas o fibras. En la Tabla 7 se muestra la mejora en la tenacidad a la fractura para la alúmina así como una referencia para algunos materiales cerámicos. [GAT96-6]

Tabla 7. Reforzamiento por partículas para la alumina Al₂O₃.

MATERIAL	Fuerza de flexión Mpa	Tenacidad a la fractura Mpa.m ^{1/2}
Base Al ₂ O ₃	420	4
Sinterizado Al ₂ O ₃ - 30wt% TiC	480	4.4
Prensado en caliente Al ₂ O ₃ - 30wt% TiC	583	4.5
Sinterizado-HIP Al ₂ O ₃ - 30wt% TiC	638	4.4

El compuesto $Al_2O_3 - TiC$ es un sistema en el cuál la fase secundaria puede interferir con la propagación de las grietas a través de la deflexión a la interfase y a través de interacciones con los campos de tensión residuales locales que se presentan debido a los diferentes coeficientes de expansión térmica de la Al_2O_3 y el TiC .

1.2.4 Sistema Quad-extender

El *quad-extender* es el material central de este trabajo y para esta descripción se va a tratar como un solo cuerpo compuesto por dos adherentes y un adhesivo. Ambos adherentes y el adhesivo ya han sido descritos en los artículos anteriores. Para conocer las propiedades mecánicas de estos tres elementos como una unidad se considero como un solo cuerpo ya que esto nos permitirá entender la causa de los despegues *quad-extender*. Durante el pulido ha sido necesario hacer algunas mediciones en varias muestras tomadas al azar de la línea de producción. Para hacer esta medición se ha decidido medir su deformación con incrementos de fuerza de 1 kgf hasta llegar a su punto de ruptura. También nos hemos auxiliado de un programa de simulación por elemento finito llamado ALGORT con el fin de ilustrar la parte del elemento que soporta más esfuerzo y como la fuerza de fricción deforma el material para encontrar la parte del elemento que sufre mayor esfuerzo. Los valores considerados para hacer el modelado del elemento fueron: Para el adhesivo; El modulo de young es 2.4×10^9 Páscales, Constante de elasticidad es 9.9×10^6 lb/in² radio de poisson = 0.253, modulo de elasticidad al corte = 3.7×10^6 Lb/in² Para el ALTIC fueron utilizados los datos de la tabla 8. [GAT96-6]

Tabla 8 Comparación de propiedades entre ALTiC y Sic

Propiedades del Al ₂ O ₃ +TiC y SiC		
Parametro	Al ₂ O ₃ +TiC	SiC
Dureza Vickers(Kg/mm)	2000	2000
Resistencia a deformarse(Mpa)	880	640
Modulo de young	390	390
Coefficiente de expansión termica(10 ⁻⁷ /K)	78.5	44
Tamaño de grano(micrometros)	1.5	2
Densidad(10 ³ kg/m ³)	4.25	3.34

El modelado de deformaciones por esfuerzo durante el pulido se puede ver en los siguientes modelos que se explican en la sección de resultados y discusiones en el capítulo 4.

1.2.5 Molde de pulido “Carrier”

El molde de pulido o “El *carrier*” es el ensamble que contiene al *quad-extender* durante todo el pulido. Tiene la función de mantener el *quad-extender* conectado a el sistema de control mediante sus contactos grabados en la oblea y el cable de interfase, también tiene la función de establecer los límites de flexión a los cuales el *quad-extender* puede ser sometido sirviendo como amortiguador del sistema. Obsérvese en la Figura 23. Las partes de ensamble del *carrier*. El acoplamiento de la unidad de Micro cilindros neumáticos de doble efecto que son los que compensan el arqueado del pulido se representa en la Figura 24. [PIH04-3]

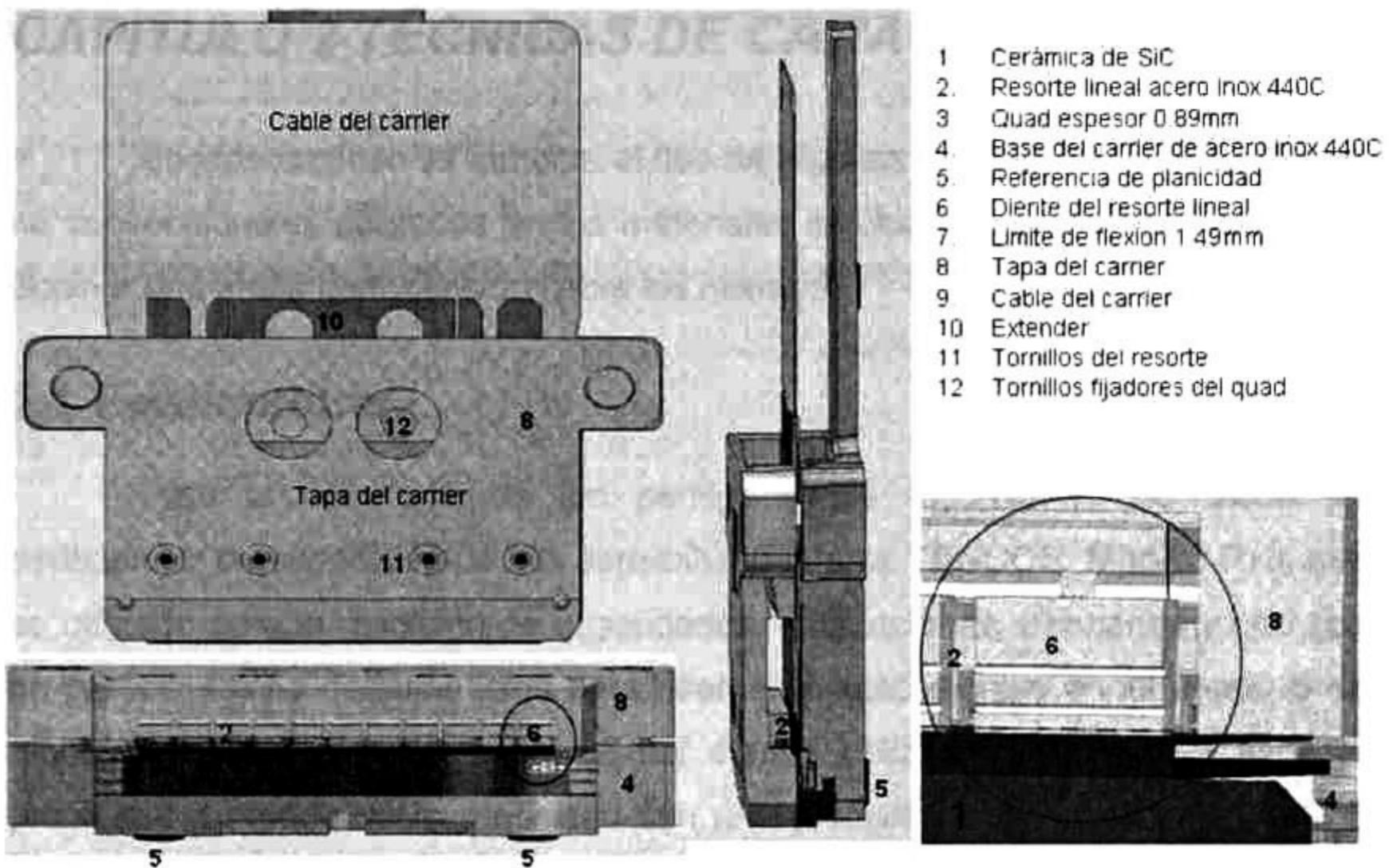


Figura 23 Esquema de las partes que componen al carrier de pulido. Note las dimensiones del quad respecto del carrier

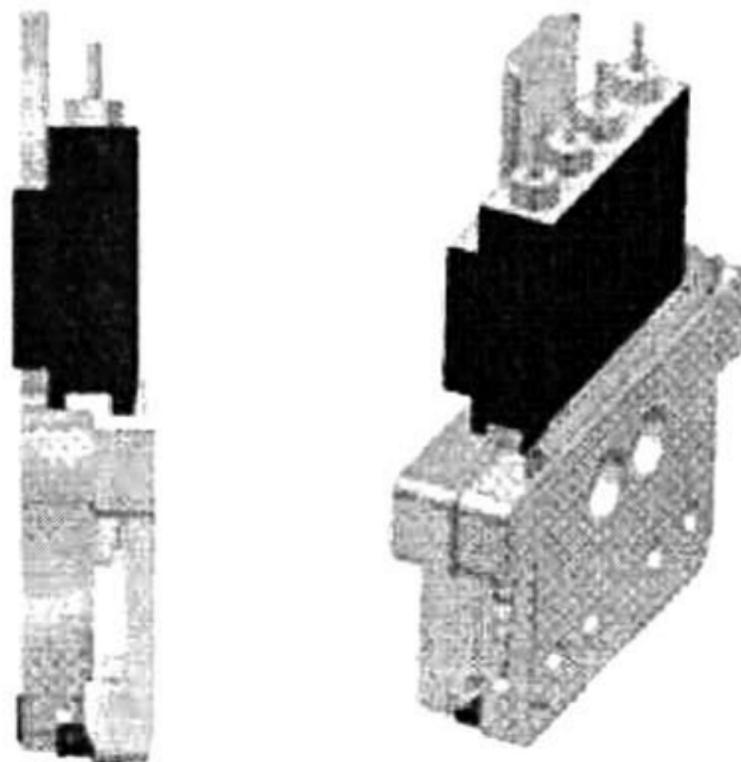


Figura 24 Esquema del ensamble de la unidad de micro cilindros al carrier para corregir el arqueado durante el pulido.

CAPITULO 2 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN

En este capítulo se muestra el uso de algunas técnicas de caracterización no convencionales utilizadas en los materiales involucrados, con el propósito de obtener una mejor comprensión sobre los mismos.

2.1 Perfilometría.

Para la obtención de los perfiles y las rugosidades se utiliza un perfilómetro de superficies de alta sensibilidad (Marca TENCOR, Modelo P10, que es utilizado para la medición de rugosidades, ondulaciones, escalones y otro tipo de características de superficies para diferentes aplicaciones. en la figura 25 se muestra la vista externa e interna del equipo utilizado. este equipo tiene la propiedad de medir micro rugosidad con una precisión hasta de 0.5 \AA (0.002 \mu pulg.) sobre pequeñas distancias y mediciones de ondulaciones (waviness) en un rango máximo de hasta 60 mm. (2 pulg.) . El sistema corre bajo un ambiente de Windows, con la capacidad de realizar mediciones de manera automática y análisis de datos. [KLA-95-7]

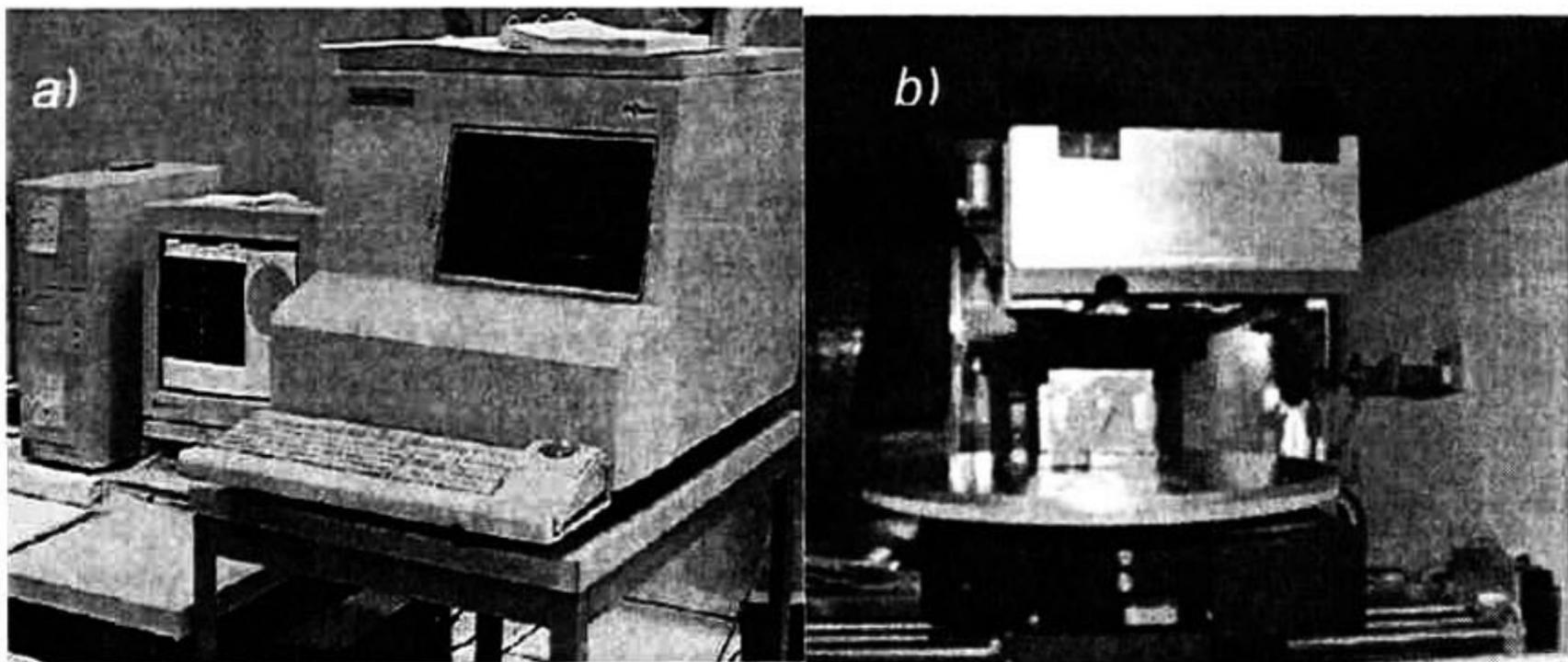


Figura 25. a) Perfilador de superficie "TENCOR P10", b) Extender colocado en el perfilador de superficie.

En la Figura 26 se muestra el diagrama a bloques del perfilómetro Tencor, se puede ver la función del sensor de alta sensibilidad el "stylus" la cual se

desplaza a lo largo de la superficie con la ayuda de un "eje motorizado" Al momento de hacerlo, el movimiento es detectado a través de un "transductor" que graba la posición o el perfil de la superficie recorrida. Esta señal es procesada y enviada a un controlador que la interpreta. Las ondulaciones son promediadas y se obtiene como respuesta un perfil de planicidad TIR que nos proporciona una referencia para comparar superficies de adherentes y saber si estas son compatibles. [JOW96-8]

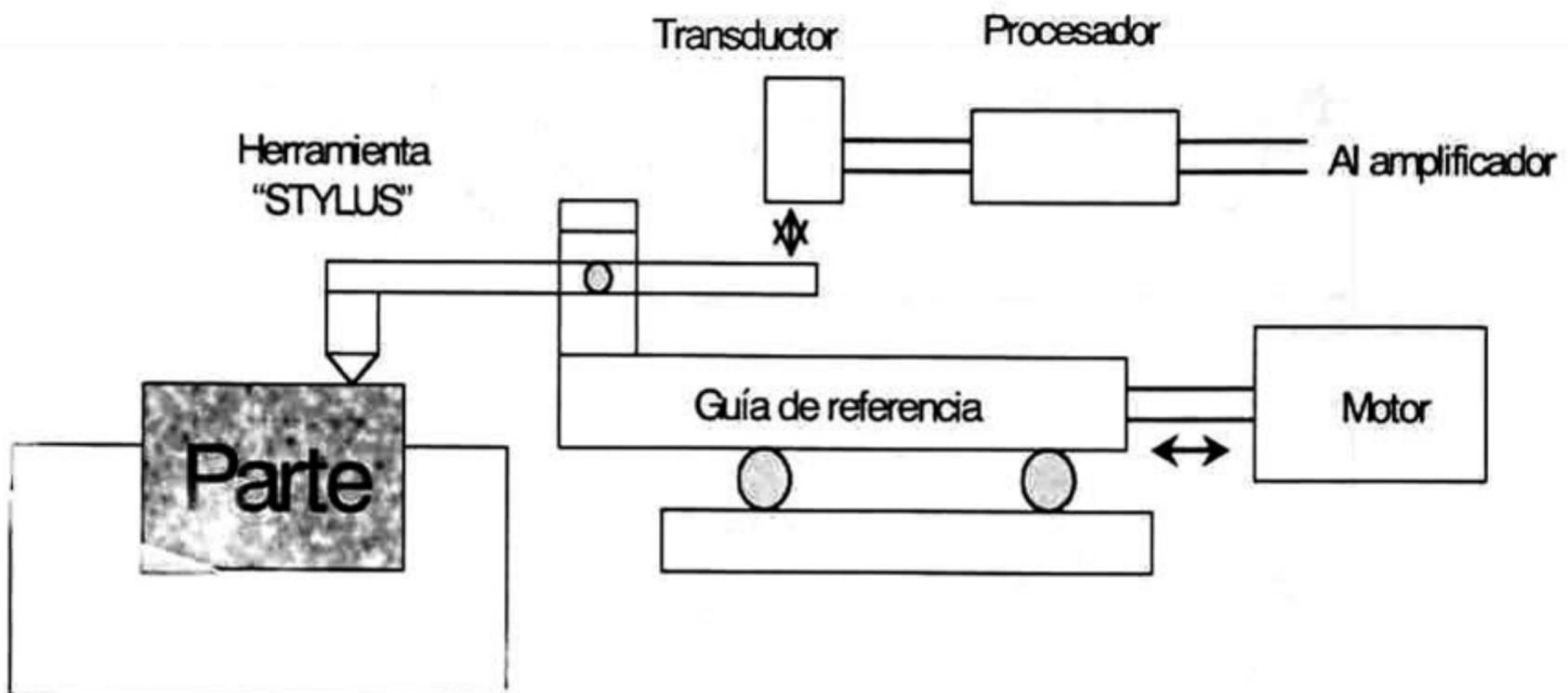


Figura 26. Diagrama esquemático de las partes del perfilómetro

2.2 Parámetros de la rugosidad

En general los parámetros para cuantificar la rugosidad se identifican como la distribución estadística de alturas del perfil o superficie bajo análisis. La figura 27 muestra el esquema de un perfil para ilustrar crestas y valles de una superficie

Ra: Rugosidad promedio, es el promedio de los valores absolutos de las alturas y medidas a partir de la línea central.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y - x| dx \quad \text{Donde "L" es la longitud del muestreo.}$$

Rms: Se define como el promedio de las desviaciones cuadráticas respecto a la altura media, es la desviación estándar de la distribución estadística de alturas, que a su vez es la raíz cuadrada de la varianza. [MHR01-9]

$$R_{rms} = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2 dx}$$

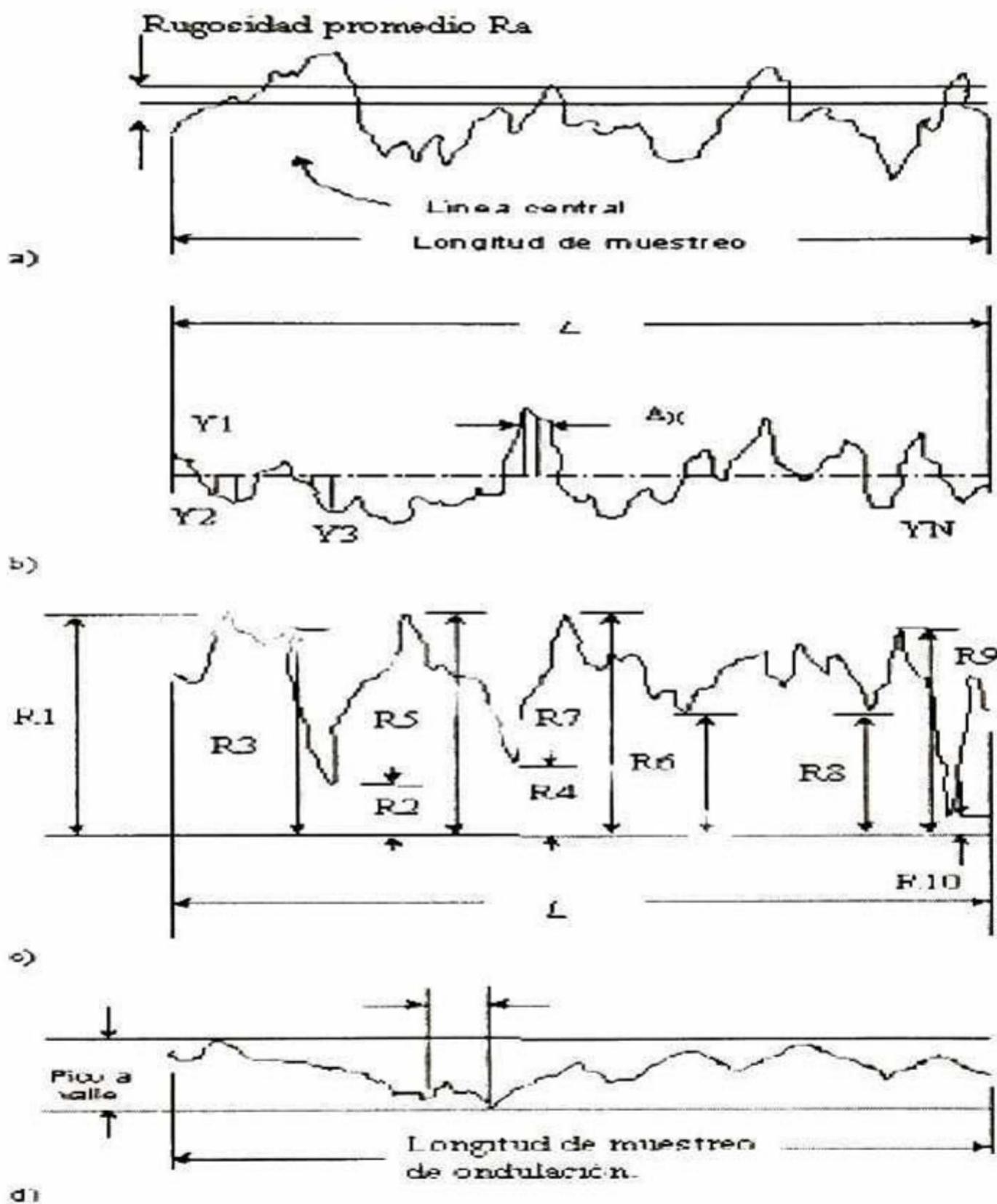


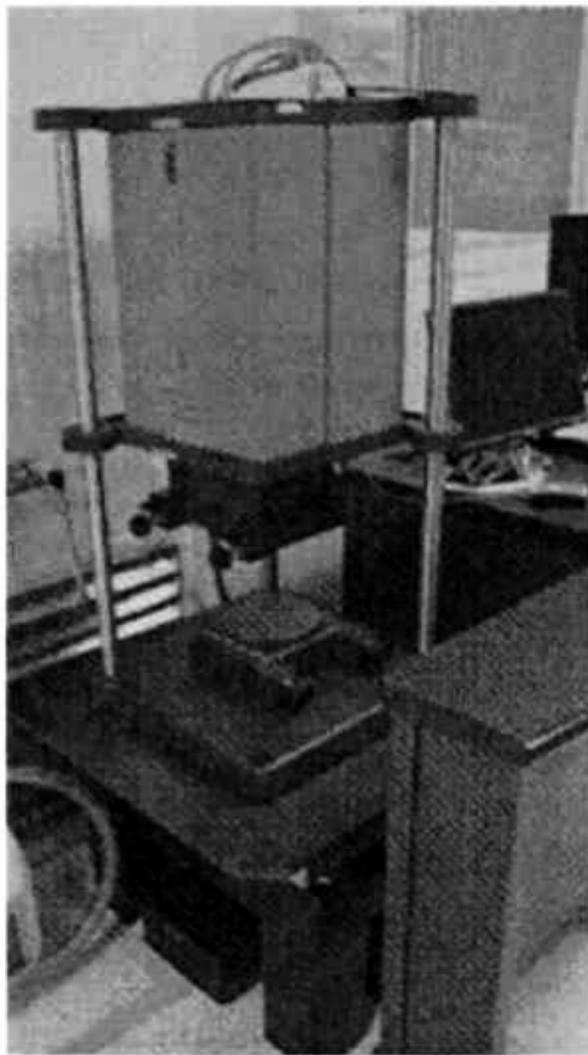
Figura 27. Designación de los parámetros de rugosidad

2.3 Interferometría (Interferómetro ZYGO)

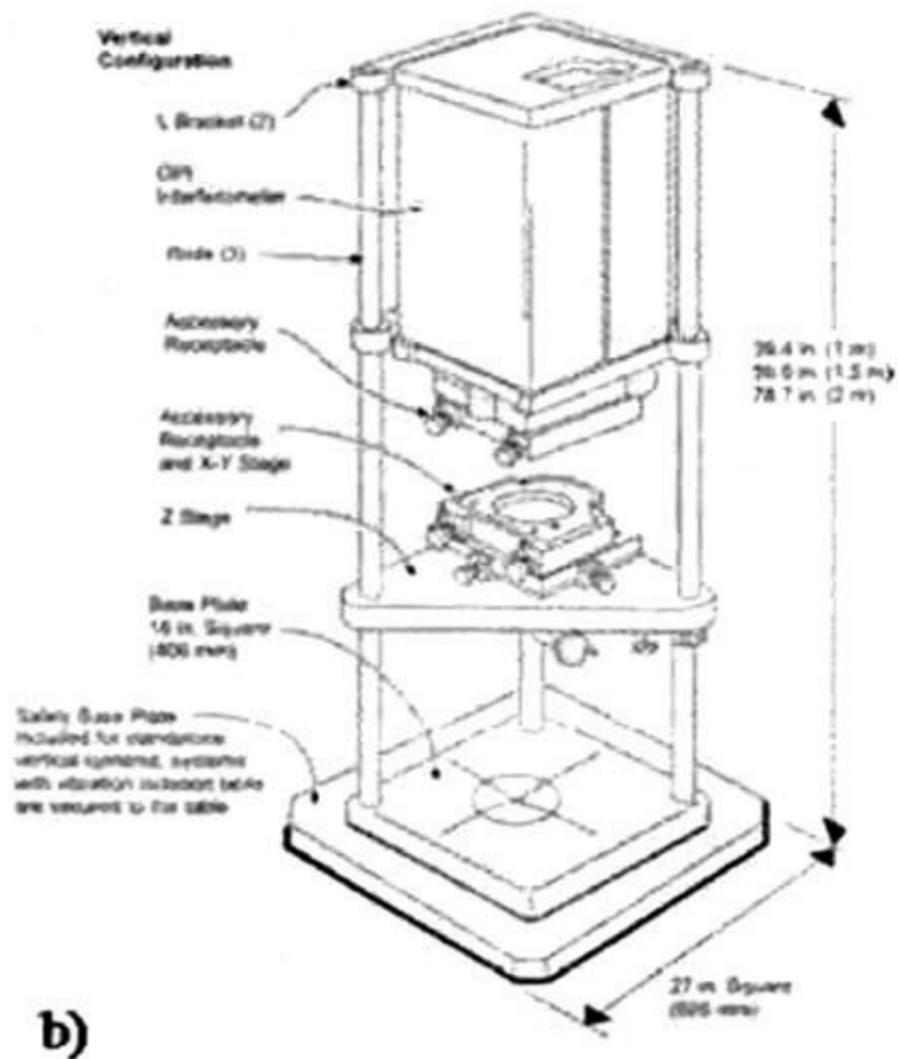
Un interferómetro óptico es un instrumento que utiliza el fenómeno de interferencia basado en las propiedades ondulatorias de la luz, funciona dividiendo un haz láser en dos o más partes una será utilizada como referencia y la otra como instrumento de medición, ya que ambos haces viajan diferentes distancias y caminos y luego son recombinados formando el patrón de la medición.

La diferencia óptica se mide en longitudes de onda. Dado que la geometría del objeto en medición y su índice de refracción determinan el camino a seguir por el láser, el interferómetro mide la diferencia en la geometría cuando los haces atraviesan el mismo medio o las diferencias en índice de refracción cuando las geometrías seguidas por ambos haces es la misma. El láser tiene una frecuencia constante en el tiempo y mide garantizando de esta manera que su longitud de onda no varía, por tanto sirve como estándar de longitud permitiendo medir a lo largo de su trayectoria. La tarjeta contadora permite el conteo de longitudes de onda que se ha desplazado el objeto que se quiere medir. El interferómetro ZYGO consiste en un sistema de Interferometría láser el cual consta de una cabeza láser estabilizado en frecuencia, una tarjeta contadora, un sistema óptico, termómetros para sensar la temperatura del material y del aire, barómetro y una computadora para el control y adquisición de datos. La figura 28 muestra el equipo GPI que es un Interferómetro tipo Fizeau, el cual tiene una óptica muy sencilla y alta precisión. Su fuente de luz es un haz láser de helio-neón el cual se expande de 10 a 15 cm.

Los interferogramas se pueden interpretar haciendo una analogía con mapas topográficos donde los colores representan alturas relativas. Cuando en el mapa de intensidad hay líneas separadas estas se interpretan en el software del equipo como mayor altura y le asigna un color el cual se refleja en el mapa de dos y tres dimensiones. [ZYG06-10].



a)



b)

Figura 28. a) "Interferómetro – ZYGO", b) Esquema de las partes del Interferómetro ZYGO.

2.4 Medición de fuerza crítica de adhesión.

Para la medición de esta fuerza de adhesión entre la unión del quad y del extender se diseñó un dispositivo para adaptar un dinamómetro a la base de un microscopio óptico de tal modo que permitiera medir la deformación del quad-extender con incrementos de fuerza aplicada de un kgf. La figura 29 muestra el ensamble del dinamómetro ensamblado en el dispositivo utilizado para aplicar fuerza en incrementos conocidos, las cuales son aplicadas través del pivote conectado al dinamómetro a el cual se le aplica fuerza a través del avance de un tornillo sinfín de alta precisión. También se muestra el sistema de coordenadas controlado por encoders para medir la flexión de respuesta que desempeña el quad extender en dos ejes de coordenadas. Este mismo dispositivo también se utilizó para medir el comportamiento mecánico del herramienta de pulido conteniendo los dos tipos de producto de quad-extender los cuales son tipo pico y tipo femto.



Figura 29. Medidor de fuerza de adhesión

En la figura 29 se puede observar en A) un control numérico de dos ejes, en B) lente óptico 10X, C) quad-extender flexionado por el pivote aplicador de fuerza y en D) la Perilla de control del tornillo sinfín de avance para aplicar fuerza.

Tabla 9. Especificaciones del medidor de fuerza digital [IMA06-11]

<i>Precisión</i>	$\pm 0.2\% \pm 1 \text{ LSD}$		
<i>Unidades seleccionables</i>	Libras, Kilogramos o Newtons		
<i>Capacidad de sobrecarga</i>	200% de F.S., Pantalla parpadea a más de 105% de F.S.		
<i>Actualización de la pantalla</i>	20 veces/Segundo		
<i>Poder</i>	Batería Recargable NiCad o Adaptador AC		
<i>Indicador de batería baja</i>	Pantalla parpadea cuando la batería esta baja		
<i>Salidas</i>	RS-232C, Mitutoyo Digimatic y $\pm 1 \text{ VDC}$ salida analógica		
<i>Temperatura de operación</i>	32° a 100°F (0° a 40°C)		
<i>Rangos (Resolución) Precisión:</i>	$\pm 0.2\% \text{ F.S. } \pm 1 \text{ LSD}$		
<i>Modelo</i>	<i>Capacidad (Resolución)</i>		
	<i>libras/Onzas</i>	<i>Kilogramos/Gramos</i>	<i>Newtons</i>
DPS-44	44.09 (0.01 lbf)	20.00 (0.01 kgf)	196.1 N (0.1 N)

CAPITULO 3 EXPERIMENTACION

En este capítulo se describen los materiales los equipos y procedimientos que se utilizaron en la experimentación realizada en este trabajo de tesis. La experimentación realizada tiene como propósito recabar suficiente información que nos permita identificar y entender el papel de las variables principales que intervienen en los procesos de adhesión, pulido que puedan provocar el despegue del *quad-extender*. Todos los materiales fueron elegidos de los procesos de fabricación de cabezas electromagnéticas. Los mismos fueron ordenados según las características definidas en cada experimento. Los equipos utilizados para caracterización y medición son utilizados para la producción actualmente en la planta Hitachi global Storage Technologies planta Guadalajara y en algunos casos fue necesario realizar algunos experimentos con las muestras estudiadas en los laboratorios del CINVESTAV- Querétaro, por ejemplo las pruebas de nanoindentación.

3.1 Dureza del adhesivo y del quad

Para la determinación de la dureza del adhesivo (epóxico Loctite E60-HP Hysol) y del Quad (AlTiC) se utilizaron 4 muestras con epóxico y 4 muestras sin el epóxico, en un nanoindentador Hysitron UC-1. Las muestras del pegamento epóxico se prepararon exactamente del cartucho del proveedor, el cual contiene una proporción de base y acelerador del pegamento del 75 y 25 % respectivamente, utilizando una masa total de 10 gramos. En el caso de adhesivo se evaluaron muestras con dos tipos diferentes de preparación, similares a las condiciones iniciales del proceso, en el cual se aplicaba un pre-curado de 30 minutos en atmósfera de Vacío a 25 mmHg, seguido de un curado complementario de 24 horas en atmósfera de nitrógeno seco a presión de 137.89KPa (20 psi).

Muestra # 1. En esta se aplica un proceso de curado en vacío durante 25 min. A una presión de 30 mmHg, en una cámara de vacío Terra Universal con

capacidad de 5 a 45 mmHg, posteriormente se mantiene con un tiempo de reposo en cámaras de Nitrógeno a presión atmosférica durante 24hrs. En la muestra # 2 únicamente se aplica un proceso de curado de 24 hrs en cámaras de nitrógeno a presión atmosférica. Ambas muestras fueron pulidas 15 minutos en la pulidora de superficies Techprep con lija de 10 micras y glicol como lubricante de acabado para su posterior caracterización. En esta etapa se realizaron observaciones con microscopia electrónica de barrido (SEM) con el propósito de buscar diferencias en la morfología del adherente debido a las diferentes condiciones de curado. Para medir la dureza de *quads* se realizaron indentaciones utilizando cargas de 100g con incrementos de 10 g hasta lograr marcar la huella del indentador en la superficie del *quad*. Se analizaron las imágenes de las huellas para medir sus diagonales y la longitud de las grietas.

3.2 Mediciones de rugosidad en los dos adherentes (*quad* y *extender*).

Los dos adherentes; *quad* y *extenders* son acondicionados utilizando la pulidora de superficies planas Hyprez con platos de hierro colado y utilizando silicón carbide como agente friccionante el pulido se controla por tiempo basado en el cálculo por experimentación de la razón de material removido por minuto. Los dos tipos de adherentes son acondicionados bajo las mismas condiciones con el objeto de obtener superficies compatibles. Por lo general se someten al pulido con platos rectificadas a 5 micrómetros de planicidad y flujo de una mezcla friccionante a 2 ml-min durante 15 minutos la velocidad del plato se ajusta a 45 rpm. y el herramental se mantiene girando en sentido opuesto a razón de 30 rpm. en la figura 9 mostrada previamente en el artículo 1.1.6 se puede observar una vista del mecanismo utilizado en este proceso llamado *quad-extender lap*. Desafortunadamente no se manejan parámetros indicativos que proporcionen información sobre la calidad del acondicionamiento de las superficies, por lo tanto no se sabe si las superficies están acondicionadas apropiadamente. Por esta razón se realizó el siguiente diseño de experimentos para caracterizar los paramétricos de respuesta que tiene este proceso de acondicionamiento de

superficies. Se eligieron 75 *quads* de Al Tic de 35 *rows*. las dimensiones en el ancho de su superficie es de 0.95mm, se utilizaron 75 *extenders* de acero inoxidable 440 C. Ancho de superficie 0.95mm tomados del proceso en diferentes turnos y horarios durante una semana. Se colocaron en contenedores de 14 *quads* debidamente etiquetados para control de captura. Para medir la rugosidad de cada uno de los adherentes se utilizó el perfilómetro Tencor. Modelo P10 y el Interferómetro ZYGO. Para preparar las muestras se utilizo una *Pulidora HYPREZ* con plato de pulido hecho de hierro colado preparado con rugosidad de de 100 micras en promedio. Los datos obtenidos fueron analizados y graficados en cartas de control que se presentan en la sección de resultados. Adicionalmente también se utilizó el interferómetro Zygo para medir la flexión del *quad-extender*, flexión que se provoca en un plano perpendicular a el plano del plato por la acción del actuador de compensación de arqueado durante el pulido. Se muestrearon *extenders* con tamaños de *quads* de 16,5 y 0 *rows* para medir su perfil bajo fuerzas de flexión ejercidas por el actuador neumático. La respuesta del proceso se analiza en términos de rugosidad y de perfil desarrollado, con ayuda de las curvas de las mediciones se elaboró una carta de control que permite definir los rangos de operación del proceso de acondicionamiento de las superficies de los adherentes.

3.3 Medición de la fuerza de adhesión practica en los adherentes.

Este experimento fue diseñado para medir la fuerza de adhesión practica que el proceso es capaz de desarrollar. El cuantificar la fuerza de adhesión permite definir si el proceso utilizado es el correcto o es deficiente según la aplicación o proceso para el cual la unión de los adherentes ha sido diseñada. El diseño de experimento que se utilizó es el llamado Full factorial este tipo de experimento permite medir la respuesta de un proceso en función de las principales variables conocidas en sus rangos de operación. Para este proceso se eligieron 6 variables que se pueden manipular y ajustar de manera rápida y económica si así se requiere. La tabla 10 muestra la lista del material requerido preparado para experimentar con los valores máximo y mínimo del rango de

variación de cada una de estas variables. Tales variables son; Las primeras cuatro que tienen que ver con la calidad de superficies de los adherentes, rugosidad y perfil en sus valores máximo y mínimo, las dos restantes son tiempo de curado y cantidad de pegamento aplicado. La matriz de experimentación fue diseñada según la siguientes formula.

$$2^k \text{ con } n=i$$

$\xrightarrow{\text{Factores}}$
 $\xrightarrow{\text{Niveles (Alto y Bajo)}}$
 $\xrightarrow{\text{Numero de replicas}}$

Para este experimento en especifico $k = 6$ variables independientes descritas mas adelante en la tabla 10, el 2 indica los niveles de valores que toman dichas variables en este caso un máximo y un mínimo. n ; toma el valor de 1 porque solo se esta trabajando con una sola replica. Al sustituir los valores en la formula se obtiene que se debe obtener una matriz de 64 combinaciones entre las diferentes variables a experimentar.

Para hacer dicha matriz nos hemos apoyado en el software JMP 5.1 obteniendo la Tabla 12 que es la matriz de combinaciones mostrada en la sección de resultados 4.3. En esta matriz se especificaron las propiedades de los materiales para preparación y su forma de combinación para la experimentación. Obsérvese que se requirieron 64 *extenders*, 64 *quads*, Un cartucho de adhesivo 3M Hysol E60-HP, acetona pura para limpieza de las superficies y un mezclador de adhesivo para preparar las jeringas de inyección de pegamento que utiliza el equipo suministrador Asymtek.

Tabla 10 Especificaciones de el material requerido para la experimentación de la fuerza de adhesión en el quad-extender.

Requerimientos de material para medición de Fuerza Crítica de adhesión

Requerimientos de extenders					Requerimientos de Quads				
Grupo		Ra(Å)	TIR (µm)	Piezas	Grupo		Ra	TIR	Piezas
A	Extenders	5000	6	16	A	Quads	5000	6	16
B	Extenders	5000	3	16	B	Quads	5000	3	16
C	Extenders	1500	6	16	C	Quads	1500	6	16
D	Extenders	1500	3	16	D	Quads	1500	3	16
	Total			64		Total			64

Requerimientos de Curadol.			Requerimientos de Pegamento		
	Horas	Cantidad		Kg	Cantidad
Tiempo curando	24	32	Pegamento	0.005	32
	6	32		0.017	32

El equipo utilizado fue el: Asymtek C-703 que es un dosificador de pegamento con sistema de visión digital, Medidor de fuerza de adhesión. Dinamómetro adaptado a un Microscopio óptico con sistema de medición *Quadracheck 2000*, para medir la flexión del *quad* en función de la fuerza aplicada. Se utilizó el programa de análisis estadísticos *JMP 5.0* para analizar los datos y diseño de matriz de combinaciones.

Los rangos del material utilizado fueron seleccionados con las siguientes especificaciones debido a la variación del proceso de preparación de superficies. El material se agrupó de acuerdo a los límites de rangos de operación

- Rugosidad del *extender* (Min. <1500Å. Máx.1500 a 5000 Å)
- Planicidad del *extender* (Min. <3.0micrómetros. Máx. 3.0 a 6.0micrómetros)
- Rugosidad del *quad* (Min. <1500Å. Máx.1500 a 5000Å)
- Planicidad del *quad* (Min. <3.0micrómetros. Máx. 3.0 a 6.0micrómetros)
- Cantidad de pegamento suministrado (Min. 0.005g Máx. 0.017g)
- Tiempo de curado. (Min. 6hrs, Máx. 24hrs).

Para completar la información requerida por el diseño de experimentos, se midieron en la planta 500 muestras al azar tomadas de la línea de producción, realizando 100 mediciones diarias durante una semana tomando 10 cada hora 50% en día y 50% en el turno de la noche, para posteriormente seleccionar las muestras correspondientes al rango requerido.

3.4 Determinación de los límites de flexión del quad-extender en el molde de pulido. (Carrier)

Para llevar a cabo el proceso de pulido de los *quads*, el sistema *quad-extender* se coloca en un molde llamado *carrier*, la función de este último es importante ya que su influencia durante el proceso de pulido, puede ser diferente para los diferentes tipos de materiales que se procesan, a saber los materiales denominados *PICO* y *FEMTO*

La influencia del *carrier* sobre el *quad-extender* se midió en términos de flexión. Para hacer estas mediciones se utilizó un *carrier* modificado para poder ver las flexiones en el interior del mismo. Con el dinamómetro se flexiono el *quad* hasta su despegue o hasta que alcanzará el límite impuesto por la acción del *carrier*, esta prueba simula lo que sucede en caso de que las fuerzas de fricción involucradas en el proceso de pulido se salgan de control, y provoquen o el despegue del material o que lo flexionen hasta los límites impuestos por el *carrier*. Posteriormente se capturo la fuerza registrada al momento del despegue o al momento de limitar el movimiento.

Los materiales utilizados fueron: Un *carrier* modificado en la tapa con visibilidad hacia su interior, 5 *quad-extender* Tipo pico, 5 *quad-extender* tipo femto. La fuerza de adhesión al despegue o al límite de flexión se midió con el dinamómetro medidor de fuerza de adhesión. Especificado la sección 2.5. Un Microscopio óptico con Quadra check 2000 se utilizó para medir la flexión del *quad-extender* en una base diseñada especialmente para acoplar el *carrier* al dinamómetro. El Procedimiento para hacer las mediciones se hizo de la siguiente manera. Se flexiona cada uno de los *extenders* ensamblados en el mismo *carrier* con incrementos de fuerza de 1Kgf, hasta su punto de despegue o límite de flexión, lo que suceda primero y se toman las lecturas de fuerza y de deformación para cada uno de los ensayos.

CAPITULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En este capítulo se presentan, los resultados que ayudarán al entendimiento de los mecanismos de despegue del sistema *quad-extender*, Estos resultados incluyen, la caracterización de los materiales utilizados en el proceso de adhesión. El adhesivo, los adherentes y algunos moldes de sujeción para el pulido, (*Lapping carriers*) han sido estudiados Para establecer los rangos en los que se presentan los eventos de despegue y fractura La evaluación del despegue se realizó con un dispositivo desarrollado en el marco de actividades de este trabajo, diseñado especialmente para acoplarse a los equipos existentes en la línea de producción de Hitachi GST-Guadalajara. Una vez establecidos los parámetros que juegan el papel más importante en los eventos de despegue, se realizó un estudio del estado de esfuerzos del *quad-extender* y se estableció un diagrama de dominios en la gráfica fuerza-desplazamiento de los ensayos de flexión.

A continuación, se presentan, primeramente; los resultados de propiedades mecánicas del adhesivo en función de las condiciones de curado, posteriormente los resultados de las mediciones de dureza y rugosidad de los adherentes, *quad* y *extender*. Estos resultados, nos permitirán establecer los rangos de operación de cada uno de los parámetros que determinan el desempeño óptimo de rigidez y transmisión de esfuerzo durante el proceso de pulido, (*lapping*) que es parte del subproceso en la fabricación de cabezas electromagnéticas para discos duros de computadoras.

4.1. Dureza en adhesivo y en *quad*.

Los ensayos utilizados para medir la dureza del *quad* y del adhesivo respectivamente, como se mencionó en la sección de experimentación, se realizaron utilizando cargas de indentación máximas de 1micronewton con una velocidad de indentación de 100 micrónewton por segundo y un tiempo de permanencia de 30s a carga máxima de indentación. Esta prueba se utilizó, para realizar un análisis de la deformación (extra-penetración del indentador) en función

del tiempo $h(t)$ que proporciona información sobre el comportamiento visco-elástico (creep) que es típico al que se presenta en polímeros. Las Figuras 30 y 31 presentan las curvas características de dos muestras de epóxico, que han sido preparadas en procesos de curado casi idénticos, la única diferencia entre ambos, ha sido la aplicación de vacío a 25 mmHg durante 30 minutos iniciales en el curado de la muestra M1. En esta Figura se observa por ejemplo, que para la muestra M1 a una carga máxima de 1 micronewton sin tiempo de permanencia a la carga máxima, el indentador penetró aproximadamente 460 nm. La extra penetración que se presentó por el tiempo de permanencia del indentador a la carga máxima, fue de aprox. 140 nm. Este tipo de resultados se analizan por medio del método de Oliver y Pharr. Para obtener parámetros cuantitativos de dureza y módulo de elasticidad.

El método mencionado utiliza el concepto de rigidez de contacto, es decir, la pendiente de un ajuste lineal (dF / dh) de las primeras etapas de la descarga, que es en donde se presenta la recuperación elástica del material. La conveniencia de utilizar una etapa de indentación a carga constante durante un periodo específico de tiempo, permitió "extraer" experimentalmente cualquier contribución "viscosa" del comportamiento mecánico del polímero. Es decir, sin ese artificio experimental, la curva de descarga generaría una rigidez de contacto por pendientes "negativas" en el ajuste lineal de los datos. Es bien sabido que un fenómeno así carece de significado físico. Por lo tanto, a partir de este tipo de curvas se puede aplicar el método de Oliver y Pharr para la determinación de la dureza y módulo de elasticidad en polímeros. [ACF06-12] [JMS-0513]

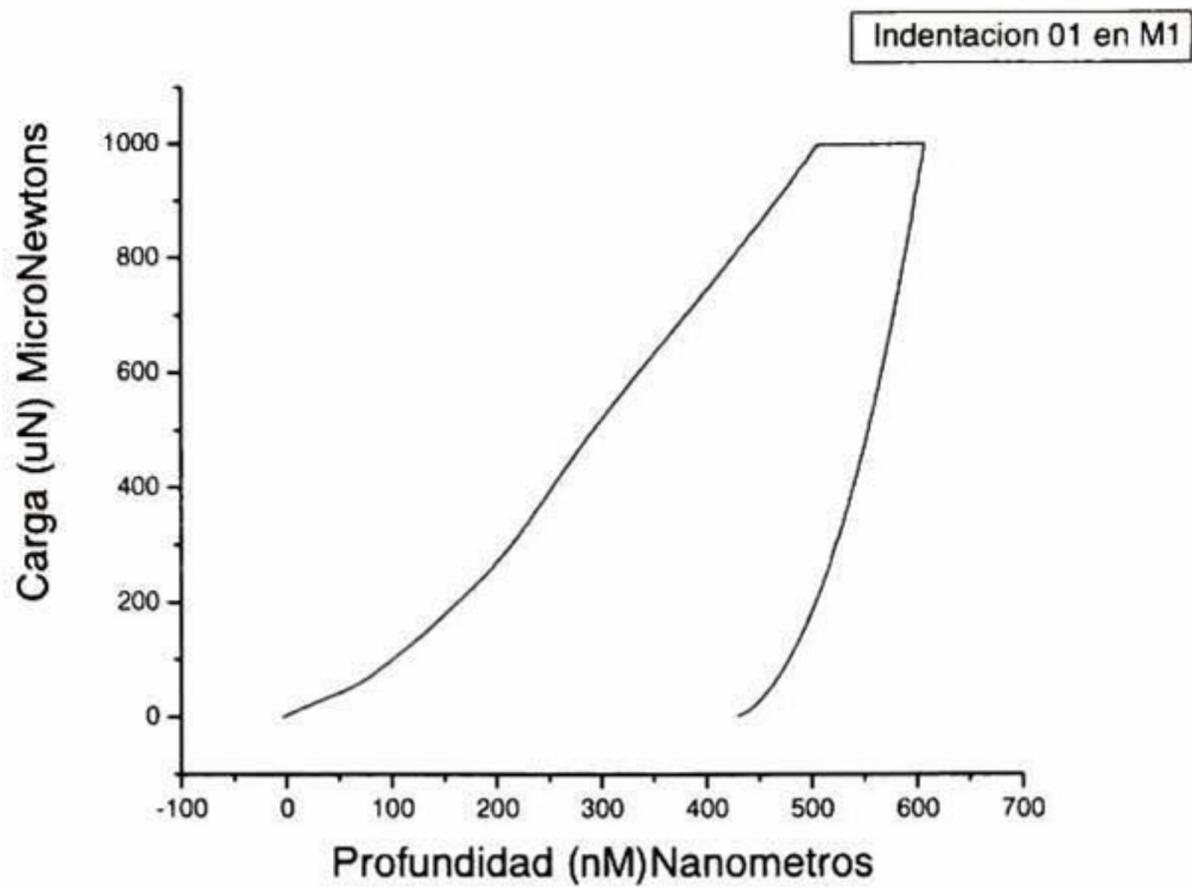


Figura 30. Curvas típicas de los ensayos de nano indentación obtenidas de las muestras M1 utilizada para calcular dureza y modulo de elasticidad reducido.

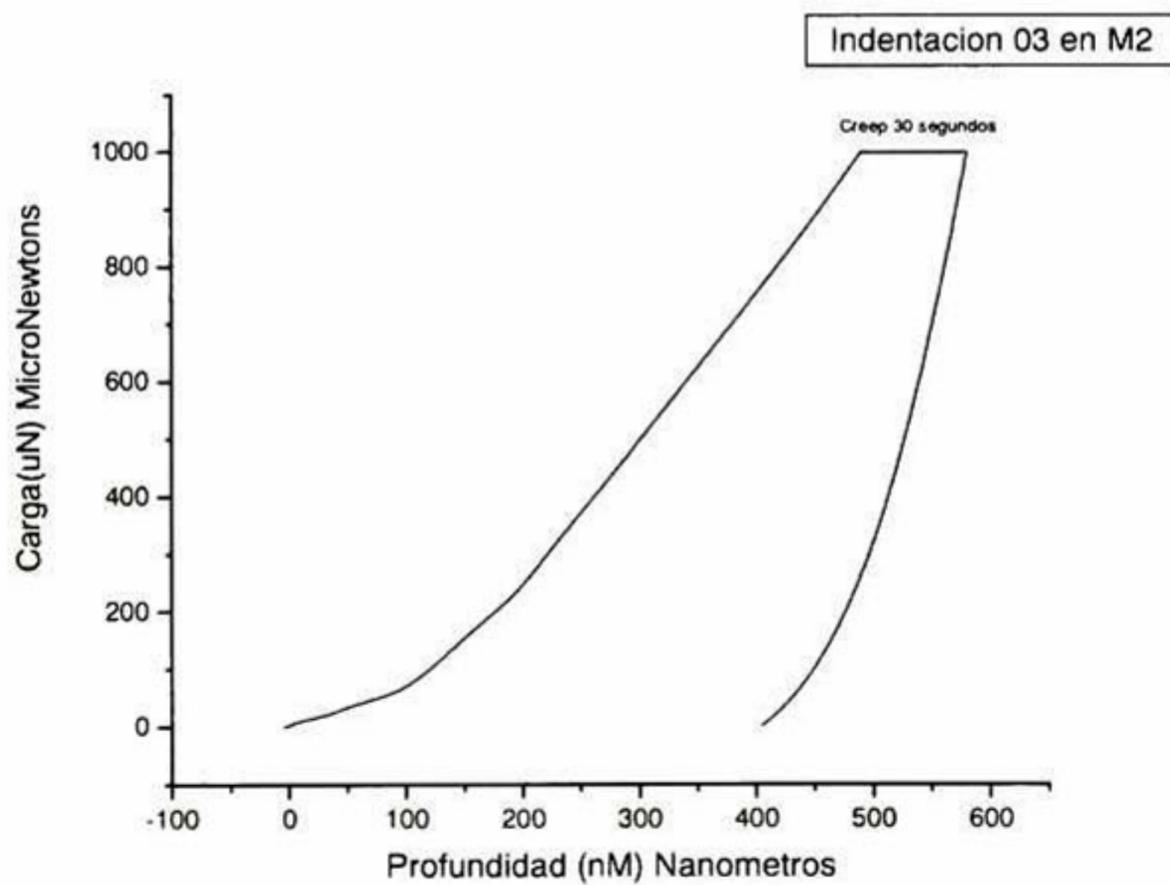


Figura 31. Curvas típicas de los ensayos de nano indentación obtenidas de las muestras M2 utilizada para calcular dureza y modulo de elasticidad reducido.

Los valores de dureza y modulo de elasticidad obtenidos de la experimentación, evidencian el efecto que se produce entre los procesos de

adhesión donde se utilizan presiones de vacío, de aquellos donde siempre se utilizan presiones atmosféricas. Las muestras de adhesivo curadas al vacío, presentaron valores de 3.023 y 0.1 GPa en el módulo de elasticidad y dureza, respectivamente. Estas magnitudes son menores a las que se obtuvieron de la muestra curada en nitrógeno seco (3.24 y 0.117 GPa). Los resultados sugieren que las muestras curadas en procesos donde se aplican presiones de vacío se ven afectadas en la reducción de su dureza y módulo de elasticidad. Las diferencias en el comportamiento mecánico pueden deberse a las características de densidad del epóxico mostradas en las micrografías de la figura 32. Obtenidas mediante la exploración de las muestras con el microscopio de barrido electrónico SEM, se pueden observar los efectos de las diferentes rutas de curado utilizadas. Se observó, además que la muestra sometida al proceso de curado en atmósfera de vacío M1 presenta porosidad, que ha sido provocada por el efecto de las presiones de vacío, que conducen a la formación de vapores no saturados, mismos que provocan ese tipo de defecto posterior al proceso de curado del polímero. La muestra M2 en contraste, presenta una superficie relativamente uniforme, donde los poros de las características como los que se observan en M1, no son perceptibles.

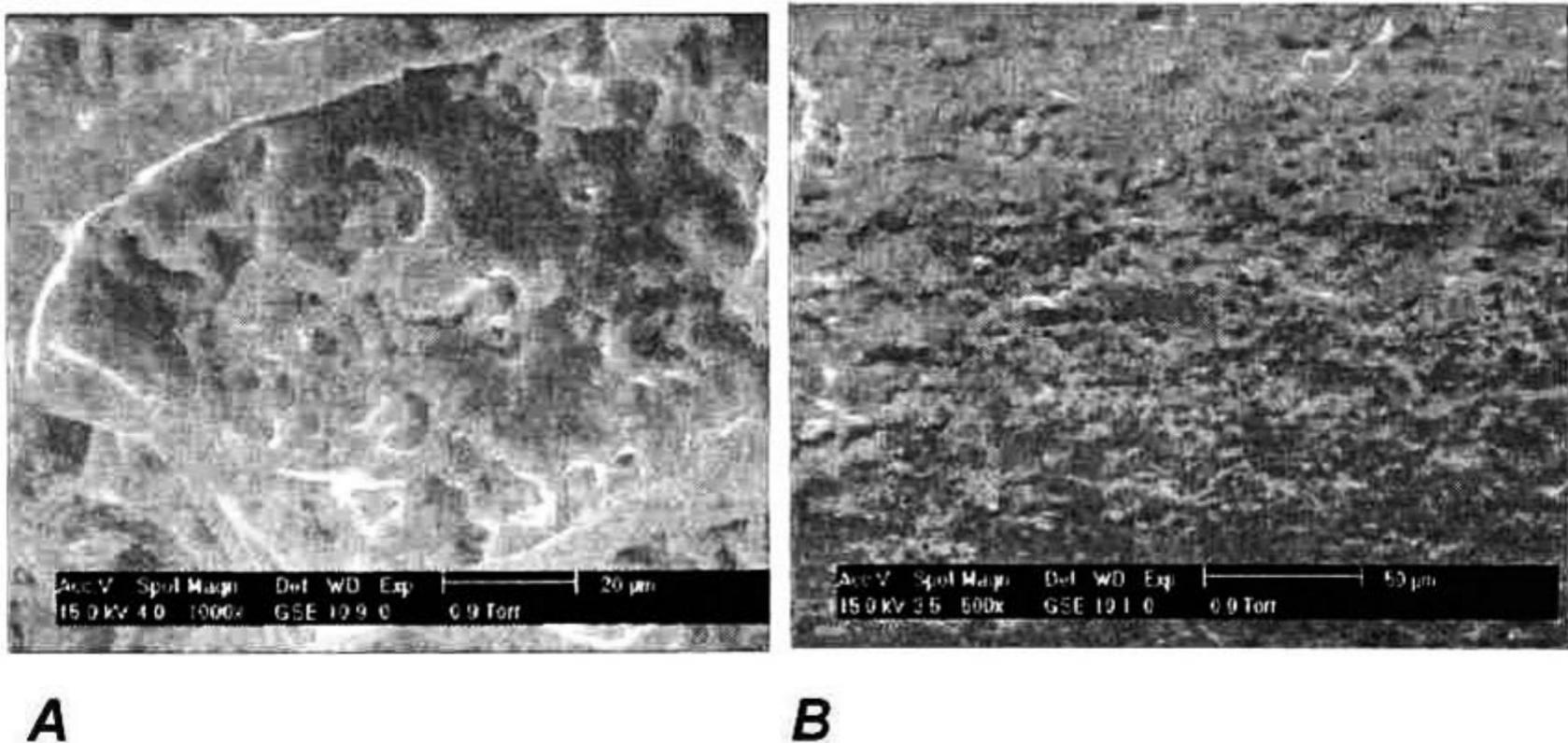


Figura 32. Fotos de las superficies encontradas en las muestras de adhesivo curados con diferentes procesos. A) M1 con precurado en vacío a 30 mm_{Hg}. B) M2 muestra curada a presión atmosférica en Nitrógeno seco.

En las micrografías de la Figura 33. Obtenidas por un barrido en contacto entre el indentador y la superficie de la muestra, tipo microscopía de fuerza atómica en modo de contacto, se observan las marcas de los ensayos de nano indentación hechas a cada muestra. Cada una de esas huellas de indentación tiene asociada una curva de carga- profundidad de indentación, mismas que se presentan en las figuras 30 y 31 respectivamente. Estas gráficas fueron utilizadas para el cálculo de las propiedades de dureza y módulo de elasticidad reducido, utilizando el método de Oliver y Pharr. En las micrografías de la Figura 33 se pueden obtener datos de rugosidades por medio de un análisis de perfil de la superficie. El detalle de ese análisis se muestra también en la misma Figura. Los resultados de las rugosidades determinadas con este método, muestran diferencias entre los dos tipos de adhesivo de 20 y 30 micrómetros para las muestras M1 y M2 respectivamente. Estos valores se consideran altos, si se les compara con las rugosidades nominales $Ra=0.5$ micrómetros que se encuentran al explorar el proceso de acondicionamiento de *quads* y *extender* en términos de rugosidad. Sin embargo, este resultado era de esperarse, ya que la viscoelasticidad del adhesivo y su transición de líquido a sólido durante el proceso de curado le permite ajustarse a la superficie de los adherentes al entrar en contacto superficial con ellos durante el proceso de pegado.

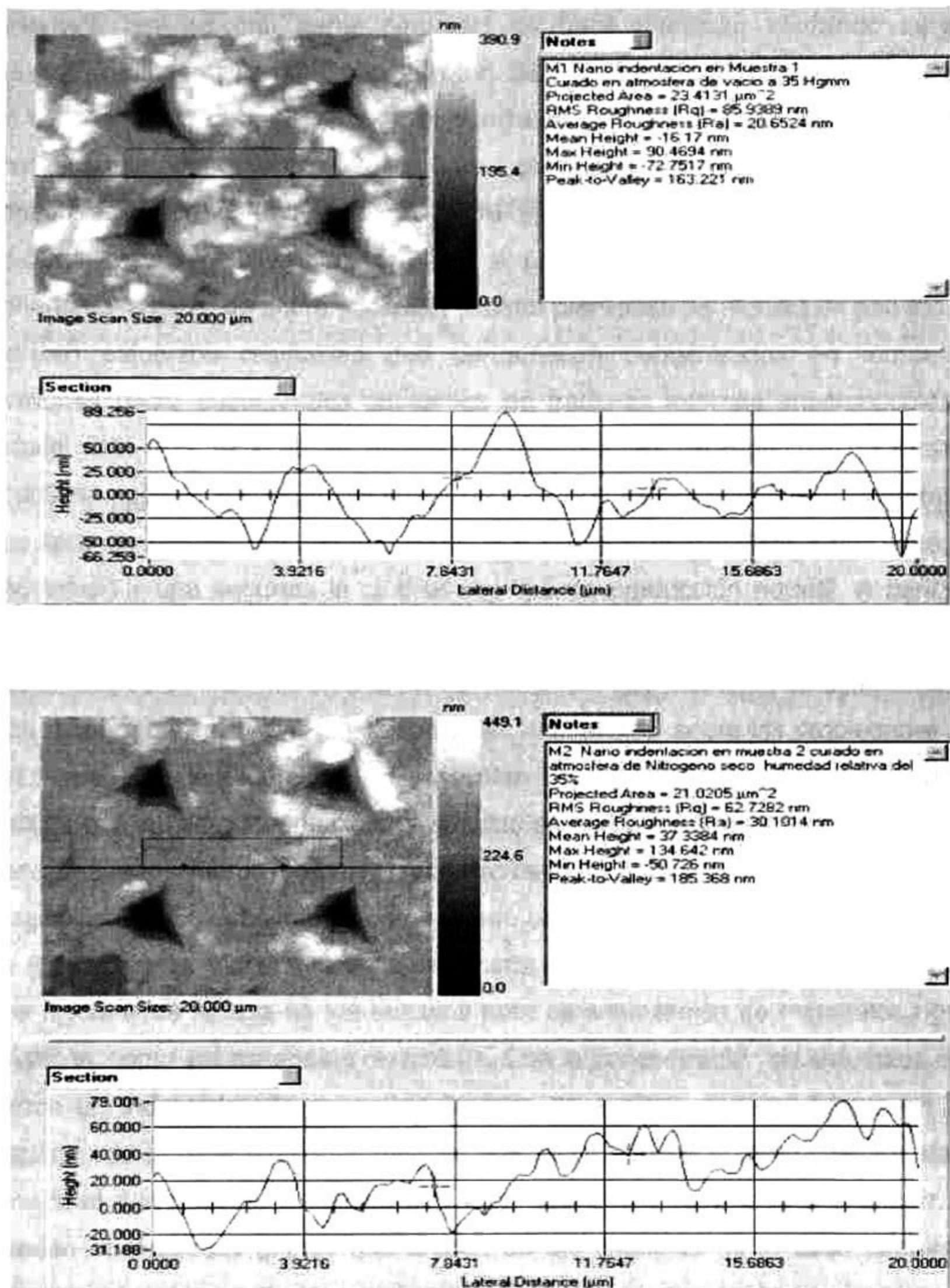
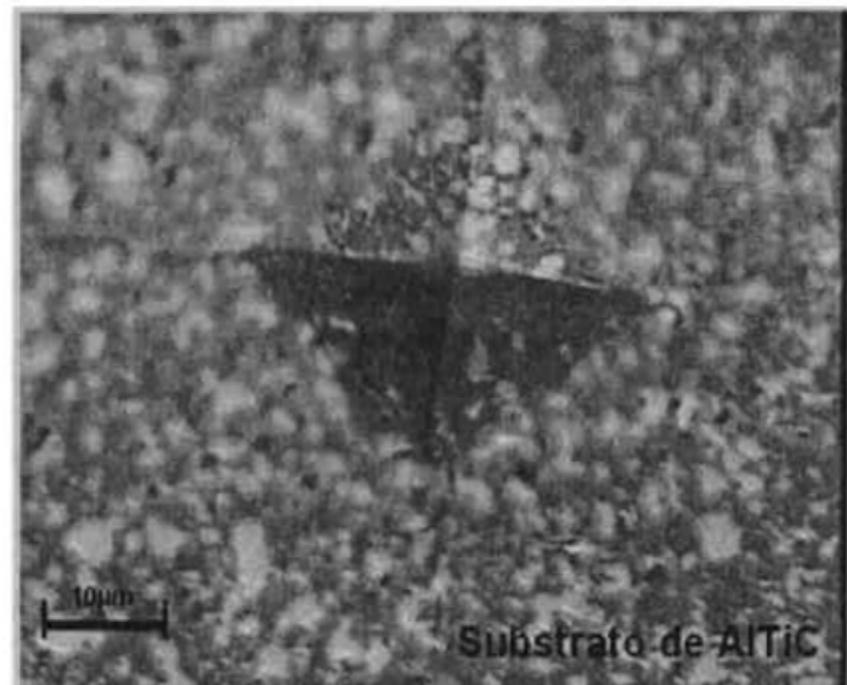


Figura 33. Resultados del análisis de la superficie de las muestras de adhesivo preparadas con procesos de curado diferentes posterior a los ensayos de nanoindentación.

El procedimiento de medición de la dureza del *quad* se explicó en la sección de experimentación. Brevemente, se utilizó un indentador de geometría

Berkovich que es una punta piramidal de base triangular utilizando cargas máximas de indentación de 1 micrónewton. Se tienen dos hipótesis sobre el origen de concentración de esfuerzos en el *quad-extender*, La primera sugiere que los procesos de depositado y escarbado previos a la fabricación, ocasiona concentración de esfuerzos en la micro estructura de la oblea. La segunda hipótesis, establece que debido a que la oblea no es perfectamente plana al adherirla a la pieza de acero y forzarla a cierta planicidad en moldes de pegado se inducen esfuerzos residuales que permanecen concentrados en forma de tensiones micro estructurales causantes de fracturas internas imperceptibles a simple vista. Por lo tanto se eligieron combinaciones de muestras de ensayo donde se pudiera encontrar respuestas a este tipo de problemas. Se prepararon dos tipos de obleas; una del tipo negra que no ha sido sometida a procesos de depositado y una segunda la cual es del tipo de producción normal. A partir de ambas obleas cada mitad fue adherida al *extender* para posteriormente llevar a cabo ensayos de indentación a todas las muestras. Las muestras se agruparon de esta manera para estudiar la influencia del "depositado" sobre las propiedades de despegue. En la Figura 34, se presentan micrografías típicas de las marcas hechas por la micro indentación, realizadas en superficies del sustrato del *quad*. Esas imágenes fueron obtenidas por microscopía óptica con 100 aumentos de magnificación. En esas imágenes se puede observar la morfología de las marcas de indentaciones Vickers, que es una punta de geometría piramidal de 4 lados, que típicamente se usa en los ensayos para caracterización de materiales rígido elásticos, como los materiales cerámicos. Con la concentración de esfuerzos que ofrece un indentador de geometría Vickers se pueden generar grietas en las esquinas de la base piramidal, mismas que se utilizan en la determinación de la tenacidad a la fractura. En *quads* con y sin depositado adheridos al *extender*, se pueden observar las grietas que crecen en las esquinas de la base piramidal, provocadas por los esfuerzos residuales. Este tipo de grietas no se observan en *quads* no adheridos al *extender*. Por lo tanto, se puede establecer que los *quads* pudieran estar siendo afectados por concentración de esfuerzos residuales después de pasar por el proceso de pegado al *extender*.



A)

B)

figura 34. Micrografías de las huellas hechas por el método de indentación utilizando el indentador Vickers.

En la figura 34 en A) Se observa la huella de indentación hecha en un quad adherido al extender. B) Se puede observar la huella hecha en una muestra de quad antes de ser adherido al extender. En la tabla 11 se muestran los valores obtenidos para cada grupo de *quads* muestreados, se puede observar también el cálculo de la tenacidad a la fractura solamente en las muestras donde se pudo observar origen de grieta. Se pueden ver los valores de dureza medidos en material adherido y no adherido al *extender* se encuentran dentro de un rango de 1800 ± 100 HV la tenacidad a la fractura de la muestra con depositado adherida al *extender* es igual a $1\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ en comparación con la que no tiene depositado igual a $3.5\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$. Esta es una clara evidencia de que los *quads* que han sido adheridos al *extender* son expuestos a concentración de esfuerzos provocados por la unión al *extender*, en contraste con aquellos *quads* libres en los que no fue visible la generación de grietas.

Tabla 11. Dimensiones de la huella de indentación, los cálculos de dureza y tenacidad a la fractura.

QUAD CON DEPOSITADO PEGADO A EL EXTENDER INDENTADO EN SUSTRATO						
Identificación n	Diagonal 1	Diagonal 2	Dureza (HV)	Grietas 1 (μm)	Grietas 2 (μm)	K _{IC} (Mpa.m ^{1/2})
1	34.4	34.4	1567	71.8	71.9	1.1
2	34.1	33	1647.4	67.7	75.3	1.11
3	31.1	32.5	1833.7	74.9	64.2	1.16
4	34.2	33.4	1623.1	83.9	86.1	0.86
5	32.7	33.2	1708	81.8	71.2	1
Promedios			1675.8	76	73.7	1
desv.est.			101.7	6.8	8	0.1

QUAD SIN DEPOSITADO PEGADO A EL EXTENDER INDENTADO EN SUSTRATO						
Identificación n	Diagonal 1	Diagonal 2	Dureza (HV)	Grietas 1	Grietas 2	K _{IC} (Mpa.m ^{1/2})
1	32.1	32.1	1799.6	55.3	35	2.21
2	29.7	29.7	2102.2	31	33	3.7
3	33.9	33.9	1613.6	32.9	30	3.8
4	33.2	29.3	1898.9	31.6	32.3	3.71
5	29.3	29.3	2160	29.9	32.6	3.84
Promedios			1914.9	36.1	32.6	3.5
desv.est.			223.3	10.8	1.8	0.7

QUAD CORTADO DE LA OBLEA INDENTADO EN SUSTRATO					
Indentación	Diagonal 1	Diagonal 2	Dureza (HV)	Grietas 1	Grietas 2
1	30.8	32	1880.8	NV	NV
2	32.1	31.6	1828	NV	NV
3	32	32.1	1805.2	NV	NV
4	31.6	32.8	1788.5	NV	NV
5	31	31.6	1892.8	NV	NV
Promedios			1839.1		
desv.est.			46		

QUAD CORTADO DE LA OBLEA INDENTADO EN SECC TRANSVERSAL					
Identificación n	Diagonal 1	Diagonal 2	Dureza (HV)	Grietas 1	Grietas 2
1	31.4	32.1	1839.5	NV	NV
2	32.6	30.5	1862.9	NV	NV
3	32.6	32.9	1728.9	NV	NV
4	31.6	32.1	1828	NV	NV
5	33.7	31.4	1750.2	NV	NV
Promedios			1801.9		
desv.est.			59		

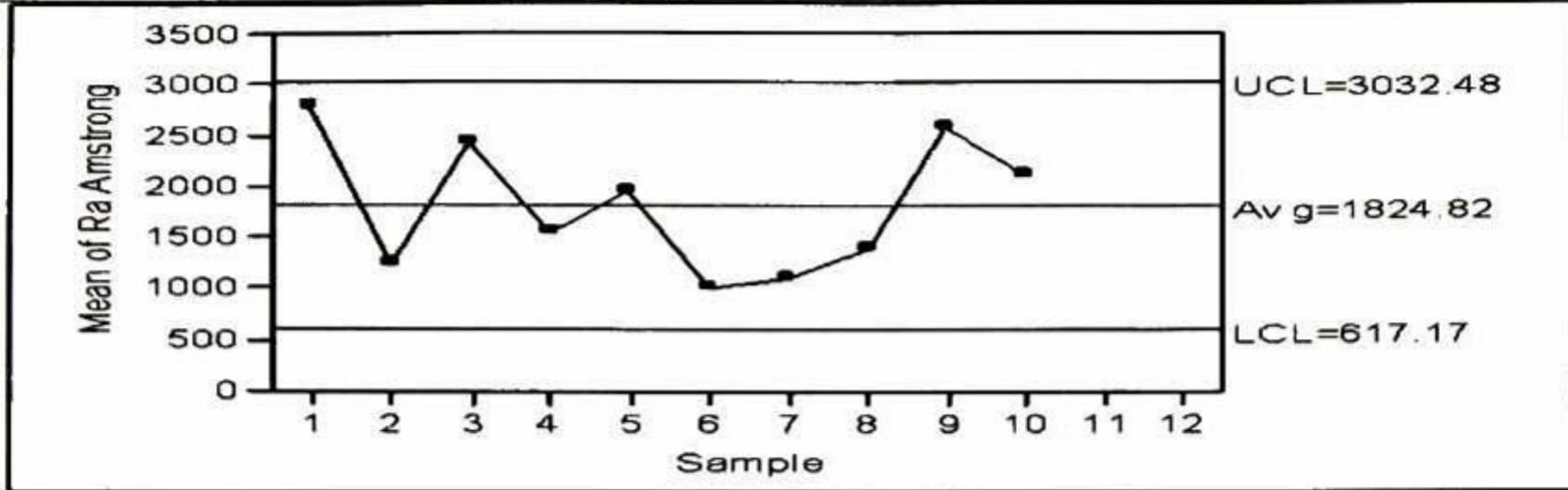
4.2. Mediciones de rugosidad en adherentes (*quad* y *extender*)

La rugosidad es un parámetro útil para controlar la calidad de procesos de preparación de superficies y la eficiencia indispensable para obtener una buena unión en procesos de pegado. Para conocer la capacidad del proceso de unión *quad-extender* se midieron muestras directamente de la línea de producción. Como esta definido en la sección de experimentación se utilizó el perfilómetro Tencor de Veeco. Este equipo es conocido como un equipo de punta sensitiva de contacto de baja presión para medir perfiles y rugosidades en áreas microscópicas.

En esta caracterización se midieron 75 *extenders* justo posterior a la su superficie y se obtuvieron los resultados mostrados en las gráficas de control de las Figuras 35 y 36. Los datos de las mediciones hechas a 75 *Quad-extenders* durante 10 días aleatorios en el mes de Marzo de 2007 indicaron que los rangos de operación de los parámetros de rugosidad promedio (R_a) y Perfil (T_{IR}) varían entre los límites de 1824 ± 1200 micrómetros y 3 ± 2.5 micrómetros respectivamente. Estos resultados definen la magnitud de las rugosidades que se pueden obtener de la preparación de los adherentes. A partir de los datos se puede deducir, que la variación es de un 90% en ambos parámetros y que el proceso de acondicionamiento de superficie de adherentes debe ser revisado.

Además, a partir de las observaciones y mediciones de planicidad y perpendicularidad en herramientas utilizado en el proceso de acondicionamiento se encontraron algunas fallas en el mantenimiento de los herramientas. Por ejemplo se detectó que la planicidad de los platos de pulido que se utilizan varía en un rango de 10 ± 5 micrómetros. y los moldes de pulido con cojinetes en malas condiciones de planicidad fuera de las especificaciones establecidas de 5 micrómetros al desgaste. Estos dos defectos detectados provocan la variación en los parámetros de superficies R_a y Perfil.

XBar of Ra Armstrong



R of Ra Armstrong

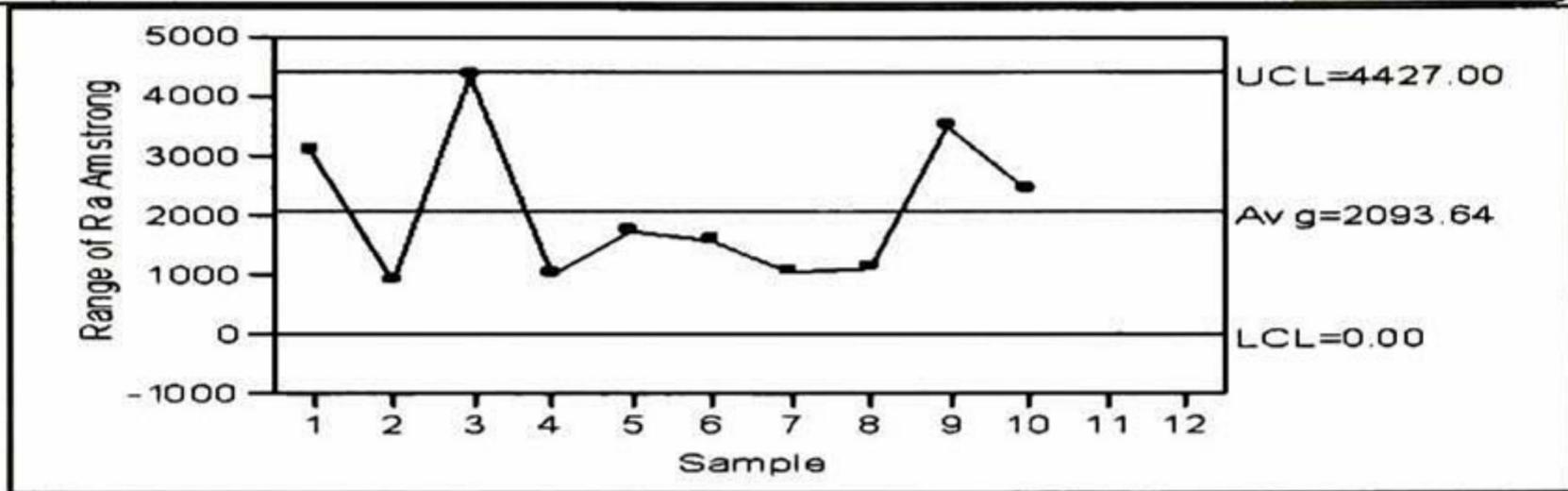
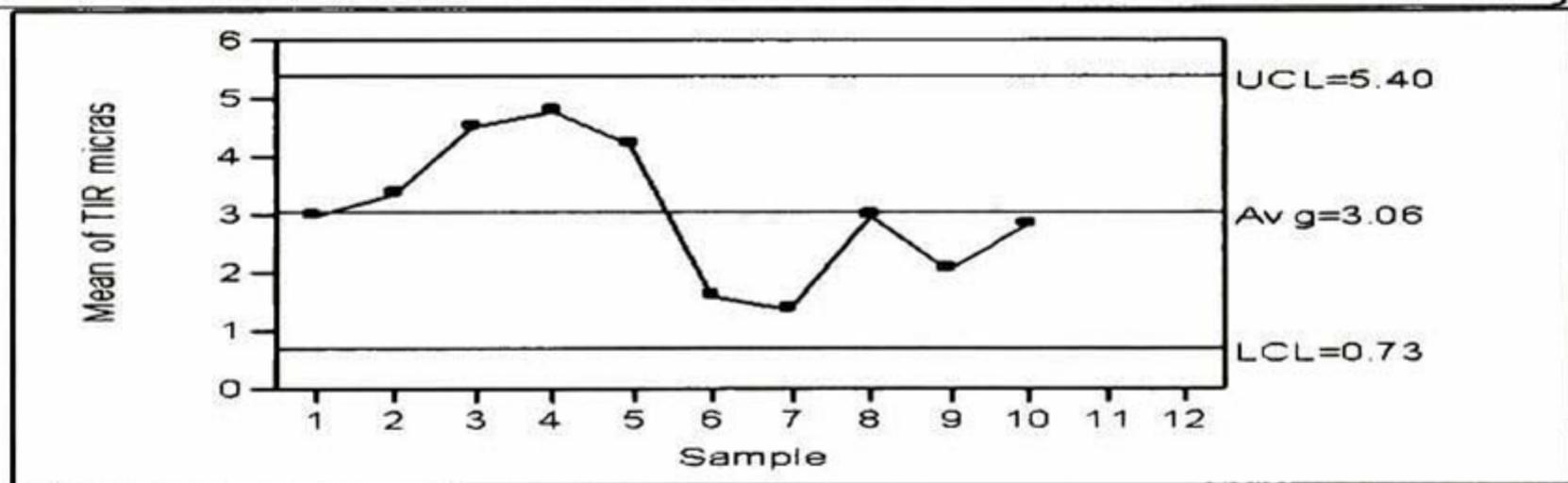


Figura 35 .Promedio de rugosidades obtenidas en extenders y quads.

XBar of TIR micras



R of TIR micras

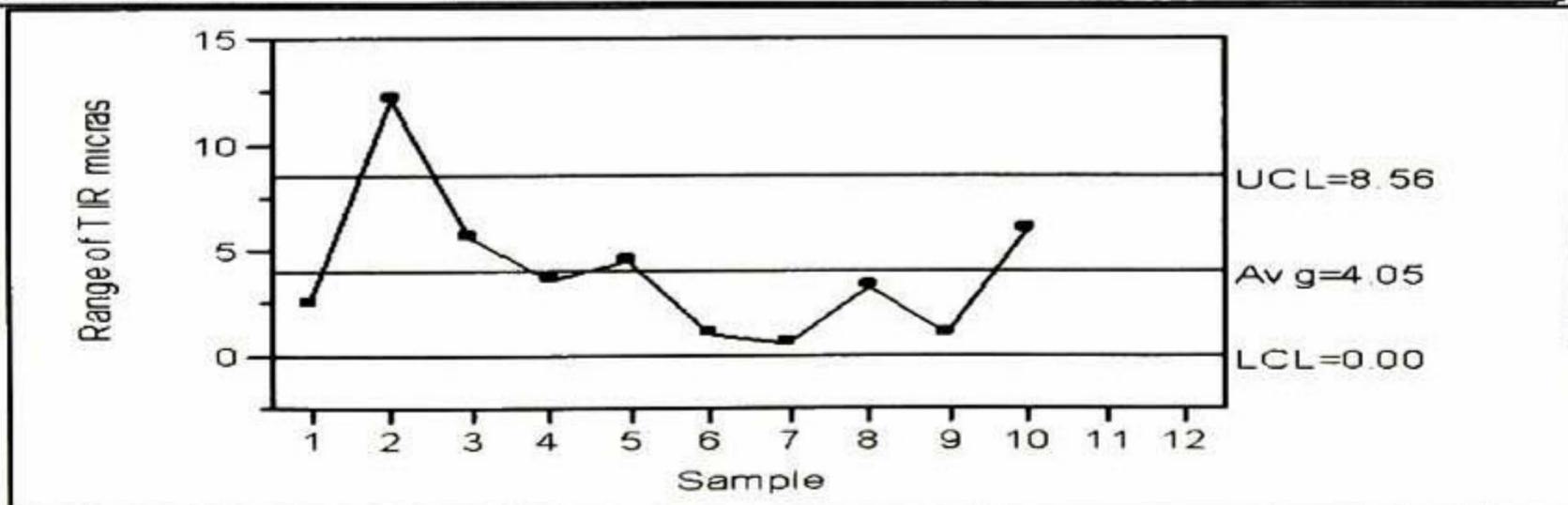


Figura 36 .Promedio de rugosidades obtenidas en extenders y quads.

4.3. Fuerza de adhesión práctica desarrollada actualmente por el proceso de adhesión.

La fuerza de adhesión obtenida experimentalmente es el parámetro indispensable para definir la capacidad que tiene un proceso de pegado de mantener unidas dos partes al desempeñar la aplicación para la cual han sido unidas. Para conocer la capacidad del proceso de pegado *quad-extend* en la planta Hitachi GST Guadalajara se analizaron las propiedades del *quad-extend* y del *carrier* por separado. El *carrier* de pulido tiene dos funciones básicas en su interacción con el *quad-extend*. La primera es proporcionar soporte mecánico y la segunda fijar los puntos de apoyo para flexionar y limitar la flexión del *quad-extend* dentro de sus límites según sea su zona elástica, es decir límites fijados en el *carrier* de tal manera que el *quad-extend* siempre se flexione dentro de la zona elástica del material, en la figura 37 se muestran los puntos de apoyo que el *carrier* ejerce en el *quad*. Estos puntos de apoyo han sido revelados en películas sensibles a la presión donde se muestra la huella de los puntos de apoyo que permanecen fijos mientras el *quad-extend* es flexionado.

Se utilizaron los datos de dichos puntos de apoyo en la aplicación del programa Algor [ALG06-14] Este programa es para análisis mecánico por elemento finito, que funciona bajo la plataforma de CAD utilizado para el cálculo de propiedades mecánicas del material y la simulación de modo de falla de piezas mecánicas, para modelar las deformaciones que suceden en el *quad-extend*. Además el programa permite hacer una variedad de análisis a piezas diseñadas en 3D CAD tales como simulación de eventos mecánicos y de esfuerzo estático, análisis de fatiga y transferencia de calor incluyendo estado sólido y transientes. La figuras 38 y 39 muestran el estado de las deformaciones y esfuerzos respectivamente, al que es sometido el *quad-extend* según los puntos de apoyo y una fuerza de fricción de 5kgf previamente medida en un ensayo de medición con el dinamómetro.

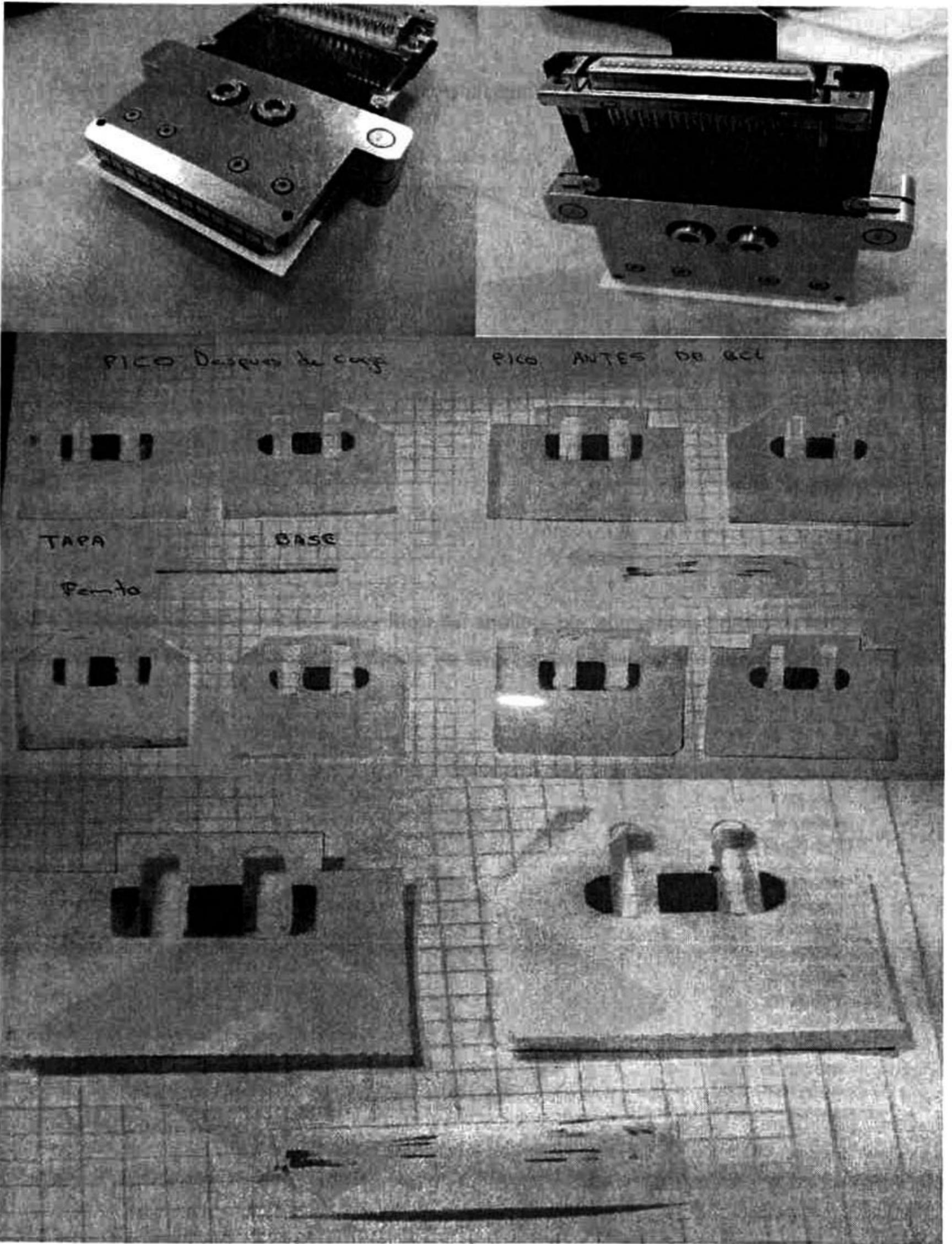


Figura 37. Uso de las laminas reveladoras Fijifilm para revelar los puntos de contacto que el carrier ejerce en el extender.

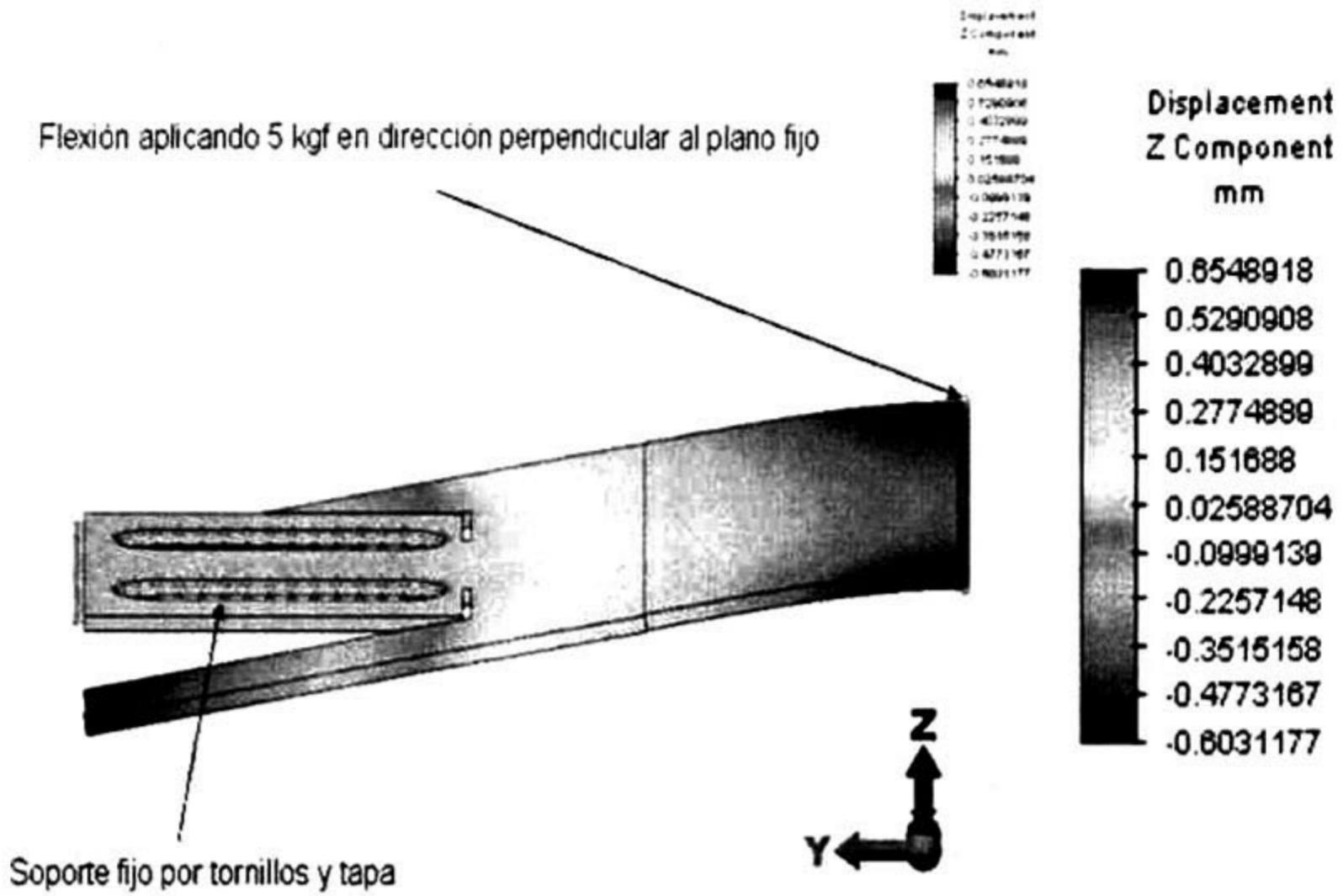


Figura 38 Mapas de deformación obtenidos del análisis por elementos finitos de la deformación del quad- extender con fuerza de 5Kg, flexión máxima 654 micrómetros

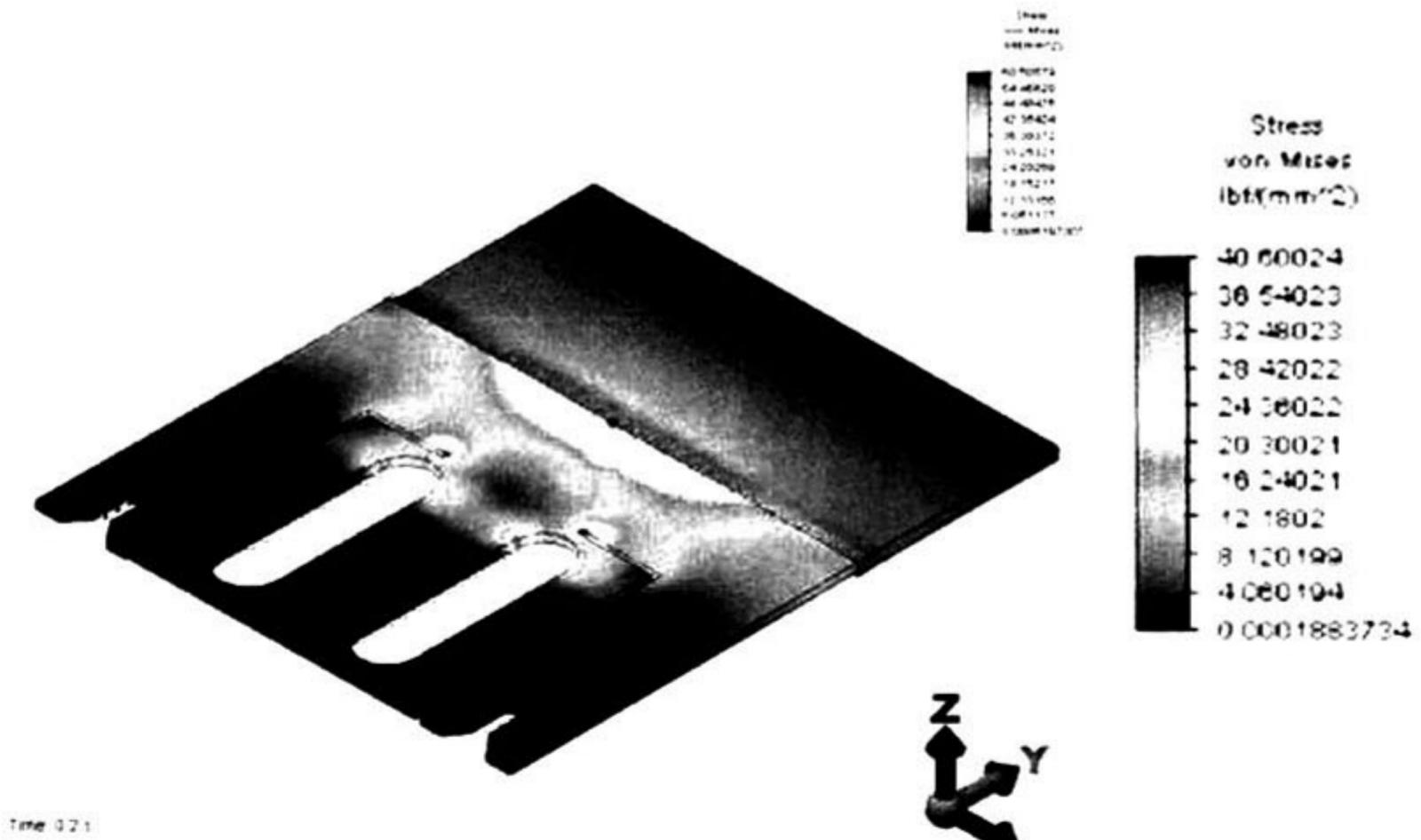


Figura 39. Resultados de la simulación por elementos finitos de la distribución de esfuerzos en el sistema quad-extender debidos a una fuerza de 5Kg, aplicada en el extremo del quad.

Los resultados del modelado por elementos finitos de las deformaciones del *quad- extender* muestra que una fuerza de 5kgf es suficiente para flexionarlo a un límite de aproximadamente 600micrómetros. Para validar este resultado se diseño un experimento del orden factorial 2^6 cuyas combinaciones especificadas en la tabla 12. Nuevamente, el experimento se diseño para caracterizar la respuesta del proceso de pegado en función de las variables ya conocidas en sus modos de variación. Los parámetros a variar son los mismos que fueron definidos en la sección de antecedentes, tales como planicidad y rugosidad de los adherentes, cantidad de pegamento aplicado y el tiempo de curado. En el experimento fueron evaluados incluyendo sus valores máximos y mínimos. La Tabla 12 muestra la matriz de combinaciones y los resultados obtenidos de las mediciones de fuerza y flexión hechas con el dinamómetro digital especificado en la sección de caracterización. El instrumento utilizado para esta medición se muestra en Figura 40. Los datos de flexión y fuerza de adhesión han sido capturados para el análisis estadístico que se presenta a continuación la Figura 41.

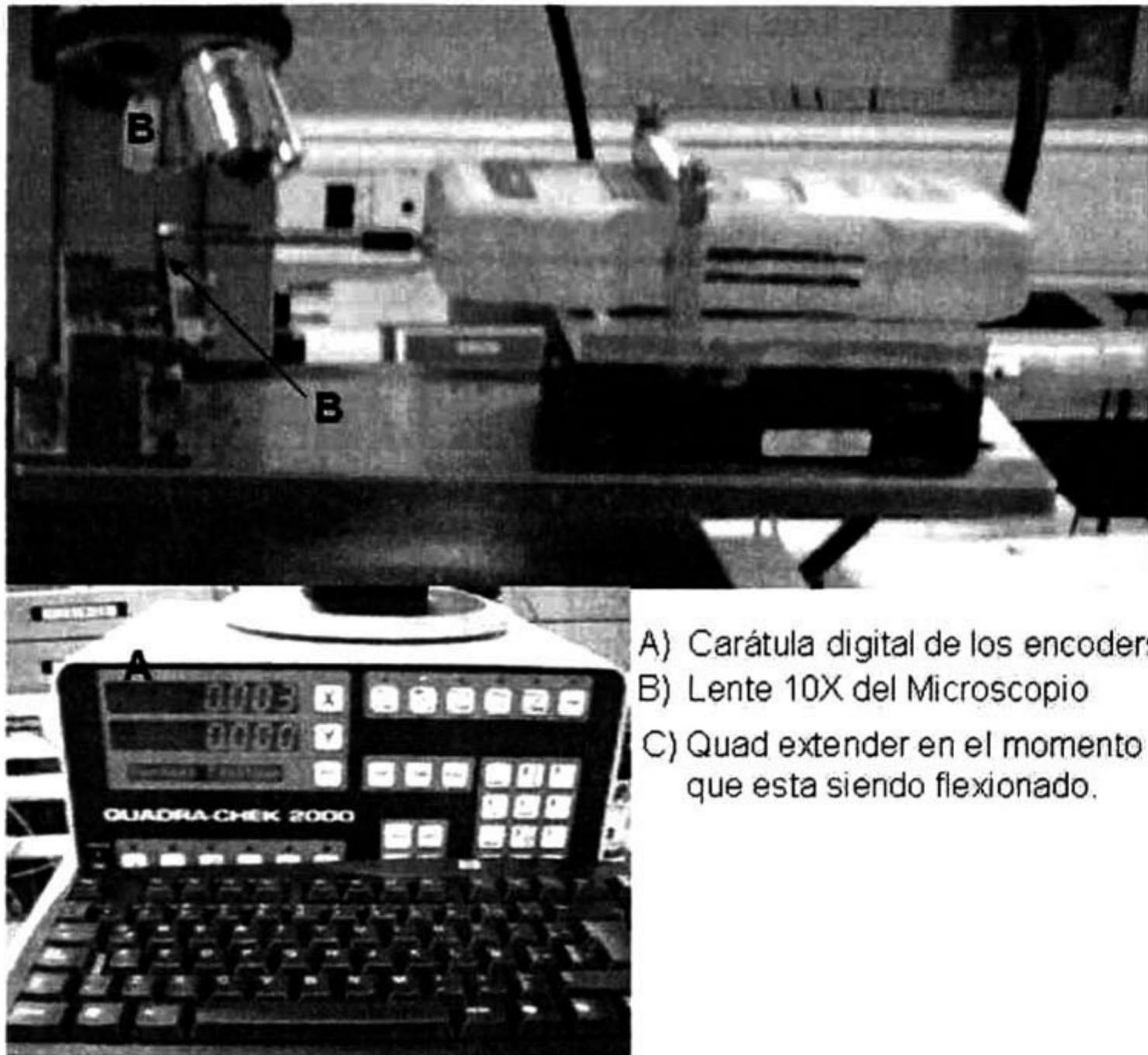
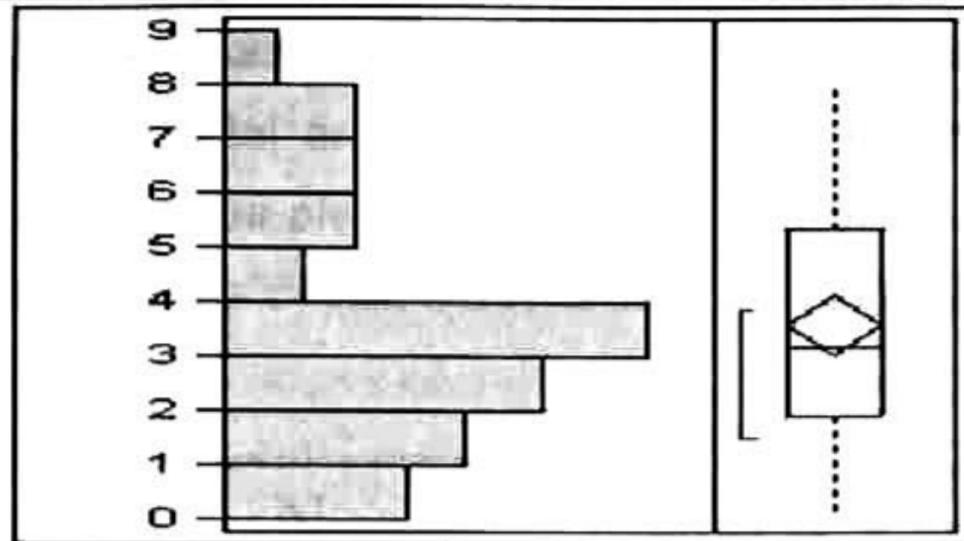


Figura 40 Diseño del mecanismo para adaptar el dinamómetro y el material de prueba al sistema de medición y microscopio para medir la fuerza adhesión en el quad- extender.

Tabla 12. Matriz de combinaciones de material para caracterización de la fuerza de adhesión.

ID	Combinación	Rugosidad Extender (Å)	Planicidad Extender (µm)	Grupo	Rugosidad Quad (Å)	Planicidad Quad (µm)	Grupo	Pegamento (gm)	Tiempo curado (hrs)	Deformación (mm)	Fuerza al despegue (Kg)
32	+++++	5000	6	A	5000	6	A	0.017	24	1.35	4
31	++++	5000	6	A	5000	6	A	0.017	6	0.911	2.79
30	++++	5000	6	A	5000	6	A	0.005	24	1.45	5
28	++++	5000	6	A	5000	3	B	0.017	24	0.888	2.04
29	++++	5000	6	A	5000	6	A	0.005	6	1.23	3
27	++++	5000	6	A	5000	3	B	0.017	6	1.716	5.77
25	++++	5000	6	A	5000	3	B	0.005	24	2.789	9.05
26	++++	5000	6	A	5000	3	B	0.005	6	2.519	8.43
23	++++	5000	6	A	1500	6	C	0.017	24	0.39	0.98
24	++++	5000	6	A	1500	6	C	0.017	6	0.35	0.76
21	++++	5000	6	A	1500	6	C	0.005	24	0.759	1.78
19	++++	5000	6	A	1500	3	D	0.017	24	0.844	2
22	++++	5000	6	A	1500	6	C	0.005	6	0.567	2.32
20	++++	5000	6	A	1500	3	D	0.017	6	0.95	1.56
17	++++	5000	6	A	1500	3	D	0.005	24	.45	1.78
18	++++	5000	6	A	1500	3	D	0.005	6	0.56	1.95
16	++++	5000	3	B	5000	6	A	0.017	24	1.986	6
15	++++	5000	3	B	5000	6	A	0.017	6	1.546	4
14	++++	5000	3	B	5000	6	A	0.005	24	1.871	4.54
11	++++	5000	3	B	5000	3	B	0.017	24	2.544	8.02
13	++++	5000	3	B	5000	6	A	0.005	6	1.683	4.46
12	++++	5000	3	B	5000	3	B	0.017	6	2.8	8.96
10	++++	5000	3	B	5000	3	B	0.005	24	1.987	6.45
9	++++	5000	3	B	5000	3	B	0.005	6	1.72	5.21
7	++++	5000	3	B	1500	6	C	0.017	24	0.499	1.56
8	++++	5000	3	B	1500	6	C	0.017	6	0.35	0.93
6	++++	5000	3	B	1500	6	C	0.005	24	0.431	1.25
4	++++	5000	3	B	1500	3	D	0.017	24	1.89	5.32
5	++++	5000	3	B	1500	6	C	0.005	6	0.38	0.76
3	++++	5000	3	B	1500	3	D	0.017	6	1.5	3.98
1	++++	5000	3	B	1500	3	D	0.005	24	1.63	5.75
2	++++	5000	3	B	1500	3	D	0.005	6	1.32	3.46
32	++++	1500	6	C	5000	6	A	0.017	24	0.35	1.78
31	++++	1500	6	C	5000	6	A	0.017	6	0.23	1.25
29	++++	1500	6	C	5000	6	A	0.005	24	0.34	1.98
28	++++	1500	6	C	5000	3	B	0.017	24	2.254	7.56
30	++++	1500	6	C	5000	6	A	0.005	6	0.45	1.45
27	++++	1500	6	C	5000	3	B	0.017	6	2.005	6.98
25	++++	1500	6	C	5000	3	B	0.005	24	1.736	5.96
26	++++	1500	6	C	5000	3	B	0.005	6	1.986	6.28
24	++++	1500	6	C	1500	6	C	0.017	24	0.37	0.67
23	++++	1500	6	C	1500	6	C	0.017	6	0.23	0.45
22	++++	1500	6	C	1500	6	C	0.005	24	0.78	1
19	++++	1500	6	C	1500	3	D	0.017	24	0.86	1.35
21	++++	1500	6	C	1500	6	C	0.005	6	0.45	0.79
20	++++	1500	6	C	1500	3	D	0.017	6	0.97	1.29
17	++++	1500	6	C	1500	3	D	0.005	24	0.75	1.56
18	++++	1500	6	C	1500	3	D	0.005	6	0.57	1.37
16	++++	1500	3	D	5000	6	A	0.017	24	1.7	5
15	++++	1500	3	D	5000	6	A	0.017	6	1.04	3
14	++++	1500	3	D	5000	6	A	0.005	24	1.421	4.58
12	++++	1500	3	D	5000	3	B	0.017	24	2.03	7.96
13	++++	1500	3	D	5000	6	A	0.005	6	1.99	2.14
11	++++	1500	3	D	5000	3	B	0.017	6	1.574	5.95
10	++++	1500	3	D	5000	3	B	0.005	24	2.452	8.7
9	++++	1500	3	D	5000	3	B	0.005	6	1.716	5.02
6	++++	1500	3	D	1500	6	C	0.017	24	1.768	2.6
5	++++	1500	3	D	1500	6	C	0.017	6	1.217	1.8
7	++++	1500	3	D	1500	6	C	0.005	24	1.394	2
4	++++	1500	3	D	1500	3	D	0.017	24	1.475	2
8	++++	1500	3	D	1500	6	C	0.005	6	0.696	1.4
3	++++	1500	3	D	1500	3	D	0.017	6	2.075	2.8
2	++++	1500	3	D	1500	3	D	0.005	24	6.2	3.4
1	++++	1500	3	D	1500	3	D	0.005	6	2.001	5

Pred Formula Adhesion critica



Quantiles

100.0%	maximum	8.0984
99.5%		8.0984
97.5%		8.0867
90.0%		7.0528
75.0%	quartile	5.3484
50.0%	median	3.1697
25.0%	quartile	1.9203
10.0%		0.7928
2.5%		0.0891
0.5%		0.0528
0.0%	minimum	0.0528

Moments

Mean	3.5770312
Std Dev	2.2043551
Std Err Mean	0.2755444
upper 95% Mean	4.1276628
lower 95% Mean	3.0263997
N	64

Figura 41. Grafica obtenida del software JMP 5 análisis estadístico de la Fuerza de adhesión practica del proceso de pegado en Hitachi GST planta Guadalajara.

Utilizando el software de análisis estadístico JMP 5.0,[SAS02-15] se estimaron parámetros estadísticos importantes de la fuerza de adhesión práctica. Por ejemplo, la fuerza de adhesión práctica que se logra con este tipo de proceso se encuentra en un promedio de 3.57 Kg_f. Una mediana de 3.16Kg_f y una desviación estándar de 2.20 kg_f. Para predecir estadísticamente el nivel de influencia y efecto de cada una de las variables del proceso de pegado, el programa JMP 5.0 cuenta con una aplicación útil para predecir estadísticamente mediante una prueba de probabilidad llamada t Student. Esta aplicación permite obtener un modelo de influencia de las variables y sus posibles combinaciones para obtener la mejor respuesta en términos de adherencia práctica. Los datos aplicados al programa resultaron en un modelo de regresión continua para trazar

la curva de confianza y analizar si estadísticamente el modelo de predicción tiene validez. La Figura 42 muestra una gráfica donde se traza la curva de confianza al cruzar la línea horizontal en un modelo de regresión continua. La confianza estadística del modelo de predicción esta estimada por el RMSE que es el error cuadrático medio que se calcula a través de la ecuación siguiente 1) [CJW89-16] [15]

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_j - X_i)^2} \dots\dots\dots 1)$$

donde: N es el número de datos de las series Y(simulada) y X(medida). Por ejemplo si la serie de mediciones reales fuera igual a las simuladas, el valor RSq mostrado en la gráfica de regresión de la Figura 43 seria igual a 1. En este caso es igual a 0.81 este coeficiente de correlación es aceptable significa que los datos correlacionan en un 81 %. El RMSE de los resultados de fuerza de adhesión práctica fue 1.3128 en teoría un RMSE de 0.33 es el mínimo grado de predicción que se ha obtenido y es considerado aceptable para este tipo de experimento. Estos dos argumentos estadísticos, el RSq y RMSE son considerados como una clara evidencia de que el modelo es confiable en su capacidad predictiva y fueron utilizados para considerar la validez de los modelos de predicción. Partiendo de estos resultados mediante la utilización del programa se simularon respuestas del proceso modificando parámetros a las variables ya descritas para predecir posibles combinaciones entre ellas, de tal manera que puedan replicarse experimentalmente con más posibilidades de mejorar la respuesta del proceso en términos de fuerza de adhesión práctica. Del modelo de predicción estadística resultaron las curvas de respuesta para predecir la importancia de los parámetros y simular la variación en aquellos parámetros críticos y susceptibles a ser ajustados. De acuerdo a el peso estadístico o probabilidad de error definido como probabilidad prob[t], el cual define el valor de influencia que puede tener la variable en el resultado de la respuesta en función de su aproximación al valor

cero. Entre mas cercano sea el valor a 0.0001 mas influencia tiene dicha variable en la respuesta del proceso. Este parámetro es uno de los criterios utilizados para elegir las variables que se consideraron tener el mejor efecto en la respuesta final. En la Tabla 14 se han elegido las combinaciones de variables con valor prob[t] mas cercano a cero, para hacer replicas del experimentos que puedan tener mas probabilidad de obtener resultados exitosos. Con este procedimiento se redujo el número de experimentos necesarios para llegar a las conclusiones obtenidas. La Tabla 14 muestra las variables y sus combinaciones que pueden tener mas influencia en el resultado. Es importante observar el tipo de combinaciones que tienen un valor de probabilidad más cercano a 0.0001. Estas combinaciones señaladas dentro de los recuadros 13 tienen que ver con las superficies de los adherentes. En la Figura 43 se muestra un perfil de predicción donde se puede ver el efecto de la reducción en la variación centrando los parámetros en la media de cada variable. Como se puede observar en el perfil de predicción, el centrar las medias de los valores de las variables no resuelve el problema, porque no se mejora en la respuesta del proceso. Entonces se procedió a la búsqueda de otras alternativas, dentro de las que está la simulación de otros ensayos. Los resultados correspondientes a los perfiles predictivos se muestran en las figuras 44 y 45.

Actual by Predicted Plot

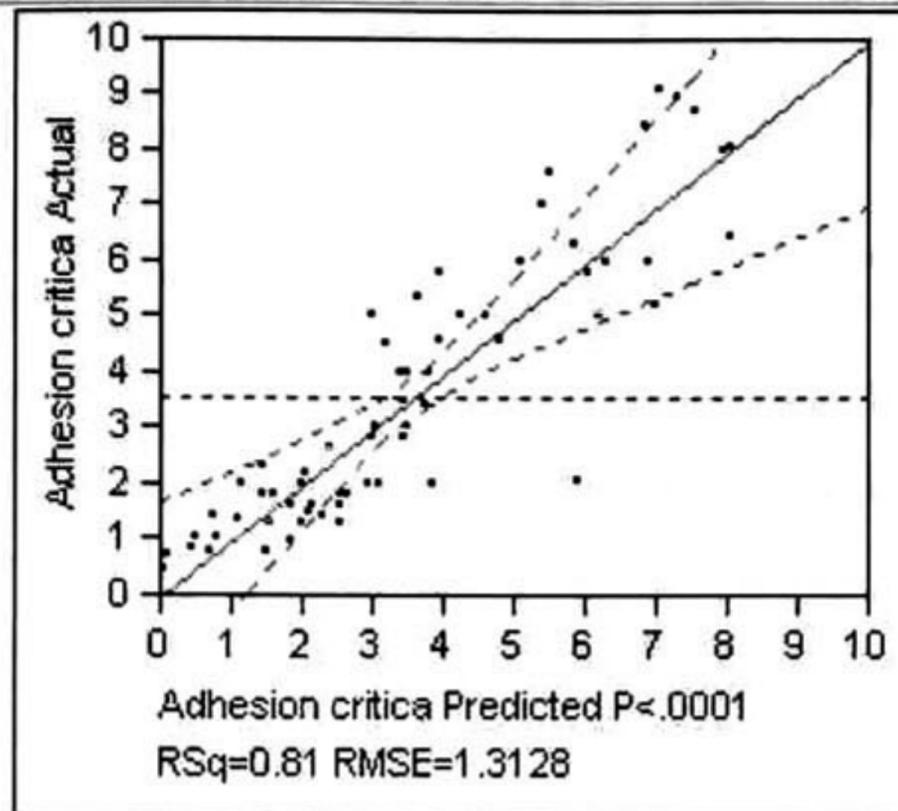


Figura 42. Grafica obtenida del software JMP 5 análisis de regresión predictiva de la Fuerza de adhesión practica que se obtiene en proceso de pegado en Hitachi GST planta Guadalajara.

Tabla 13. Efecto de la prueba t-Student confirma el peso estadístico Prob> |t| de influencia de las variables tratadas.

Scaled Estimates					
Term	Scaled Estimate		Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	3.5770312		0.164094	21.80	<.0001
Ra Ext(1500,5000)	0.2935937		0.164094	1.79	0.0808
Perfil Ext(3,6)	-0.610469		0.164094	-3.72	0.0006
Ra Quad(1500,5000)	1.5264063		0.164094	9.30	<.0001
Perfil Quad(3,6)	-1.201406		0.164094	-7.32	<.0001
Tiempo curando(6,24)	-0.104844		0.164094	-0.64	0.5263
Masa de pegamento(0.005,0.017)	0.2860938		0.164094	1.74	0.0886
Ra Ext*Perfil Ext	0.0654688		0.164094	0.40	0.6919
Ra Ext*Ra Quad	0.0854688		0.164094	0.52	0.6052
Perfil Ext*Ra Quad	0.0895312		0.164094	0.55	0.5882
Ra Ext*Perfil Quad	0.0889062		0.164094	0.54	0.5908
Perfil Ext*Perfil Quad	0.1098437		0.164094	0.67	0.5069
Ra Quad*Perfil Quad	-0.466406		0.164094	-2.84	0.0069
Ra Ext*Tiempo curando	-0.098906		0.164094	-0.60	0.5499
Perfil Ext*Tiempo curando	-0.284844		0.164094	-1.74	0.0899
Ra Quad*Tiempo curando	0.0676562		0.164094	0.41	0.6822
Perfil Quad*Tiempo curando	0.0773437		0.164094	0.47	0.6398
Ra Ext*Masa de pegamento	-0.061719		0.164094	-0.38	0.7087
Perfil Ext*Masa de pegamento	-0.222031		0.164094	-1.35	0.1833
Ra Quad*Masa de pegamento	0.1492187		0.164094	0.91	0.3684
Perfil Quad*Masa de pegamento	0.1332812		0.164094	0.81	0.4212
Tiempo curando*Masa de pegamento	-0.080781		0.164094	-0.49	0.6251

A

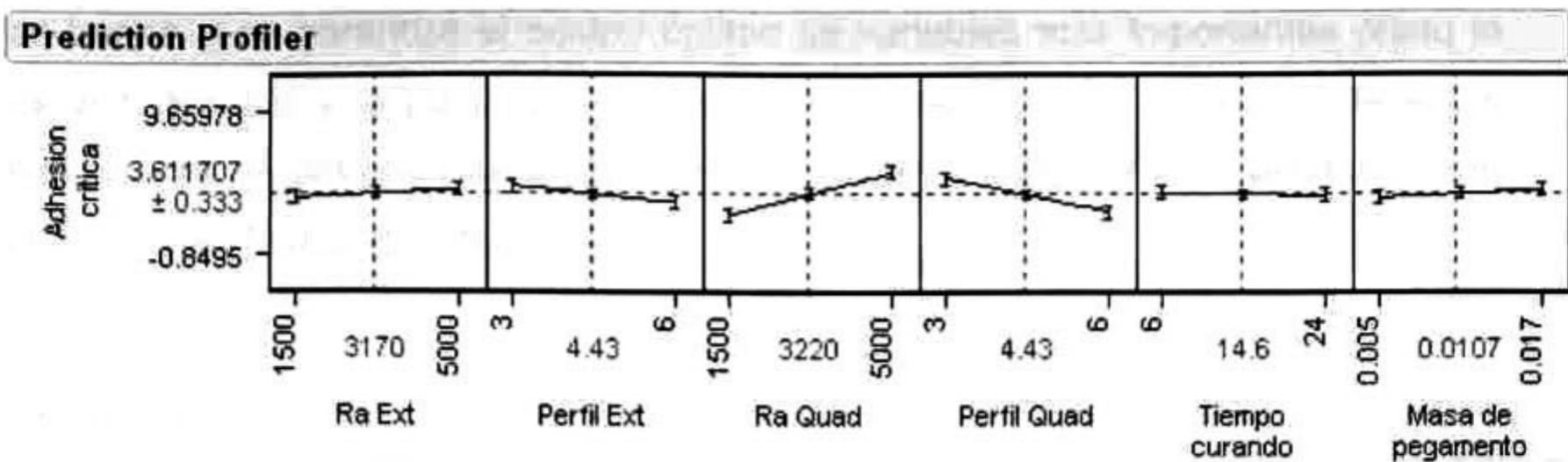


Figura 43 En esta combinación de Medias de variables se muestra el comportamiento del proceso si se reduce la variación a los valores promedio de cada variable.

En la combinación de la figura 45 se observó que la respuesta mejoraría si se controlan las variables en los valores marcados con la línea punteada en rojo. Se observó además que la respuesta mejoraría de 3.61 ± 0.33 a 7.88 ± 1.46 kgf casi en un 100% de mejora. En la toma de decisión respecto a que variables ajustar se consideraron los valores de las variables más viables de ajustarse. Los aspectos de costo-beneficio algunas veces obligan a mantener niveles de operación simplemente prácticos no ideales y aunque no sean lo más indicado para el desempeño del proceso si es importante considerarlos para proponer soluciones reales en la práctica.

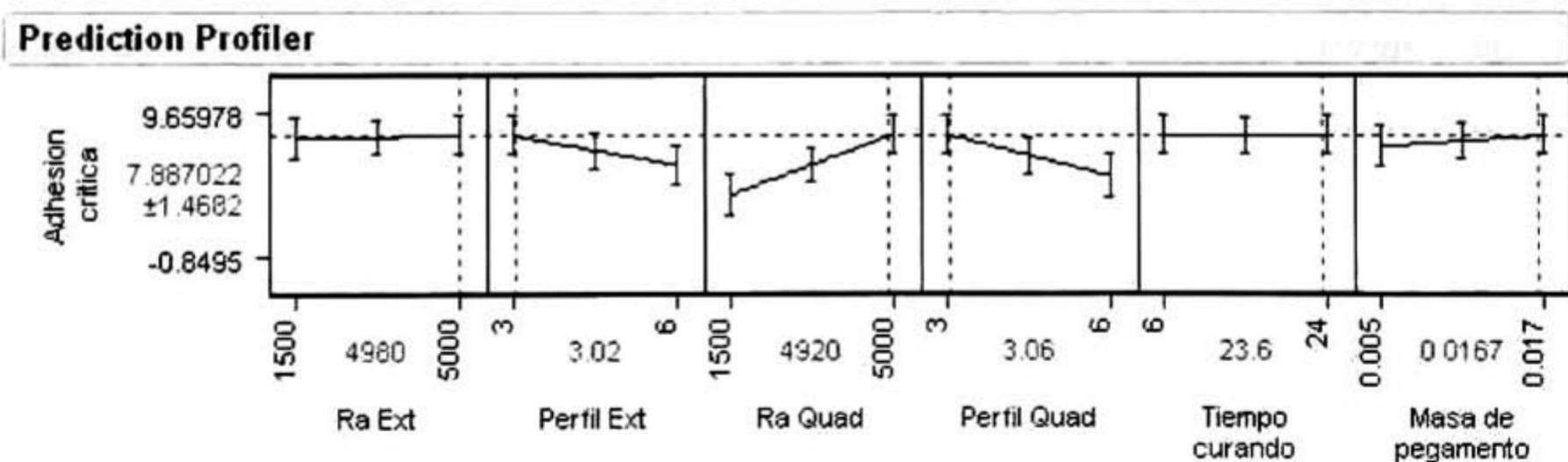


Figura 44. Predicción del desempeño que tendría el proceso si las variables se controlaran bajo rangos ideales especificados en la prueba.

En la figura 45. Se muestra el efecto de reducir el tiempo de curado así como la cantidad de pegamento suministrada. Como se puede observar la mejora

es buena si se garantiza el control óptimo de variables más importantes como lo es la rugosidad y la planicidad de los dos adherentes. Con el control de estos parámetros se obtiene una mejora de 3.61 ± 0.33 a 6.86 ± 1.49 kgf; estimando un 80% más en fuerza de adhesión.

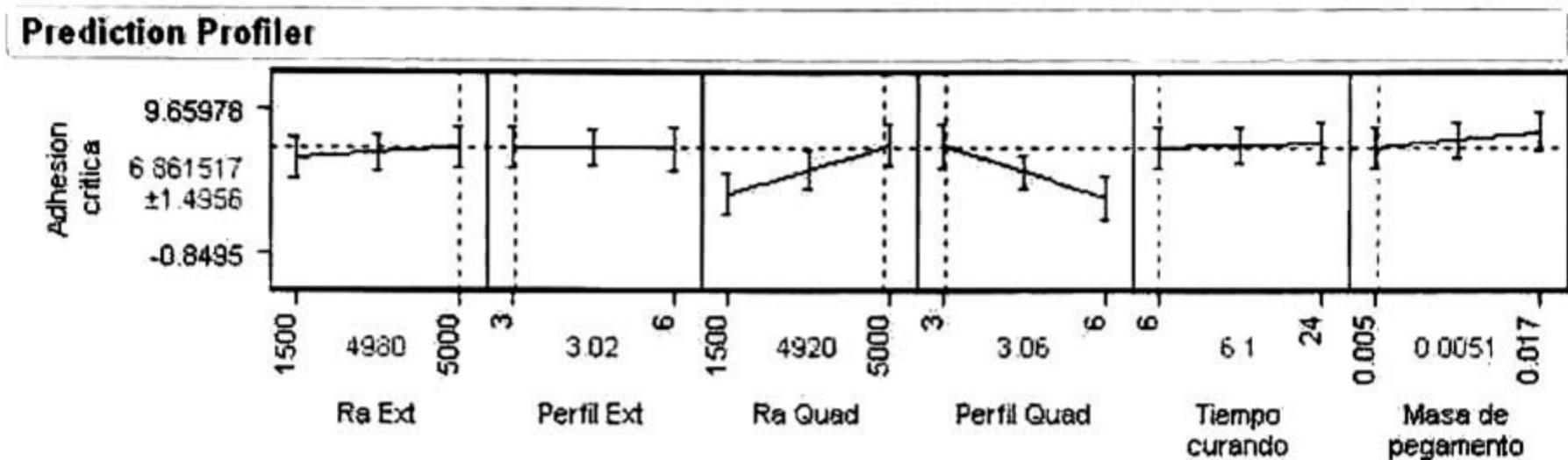


Figura 45. Grafica de predicción de respuesta del proceso si se controla las variables económicamente factibles.

4.4. Límites de flexión del quad-extender en el carrier de pulido.

El molde de pulido conocido como *carrier* es la pieza en donde se presentan los fenómenos de despegue del *quad* durante el pulido. Hasta este punto conocemos el valor de la fuerza de adhesión que el proceso es capaz de desarrollar. Si se le hacen las modificaciones adecuadas se pueden obtener mejoras hasta en un 100%. El problema hasta este punto se reduce a probar si la causa de los despegues del *quad* es debido a deficiencia en las condiciones de adhesión.

Para evaluar las condiciones de adhesión, que bien pueden ser representadas por las condiciones en las que la fuerza de fricción alcanza un máximo valor en cierta posición durante el pulido, se realizaron ensayos de flexión aplicando fuerzas hasta alcanzar el despegue. Bajo estas condiciones se midió la fuerza y flexión máximas que tiene el *quad-extender* dentro del *carrier* antes del despegue. Para ellos se utilizó el mismo instrumento descrito en la figura 46 adaptado a una base para fijar el *carrier* y poder medir bajo el microscopio la máxima flexión y su fuerza de despegue.

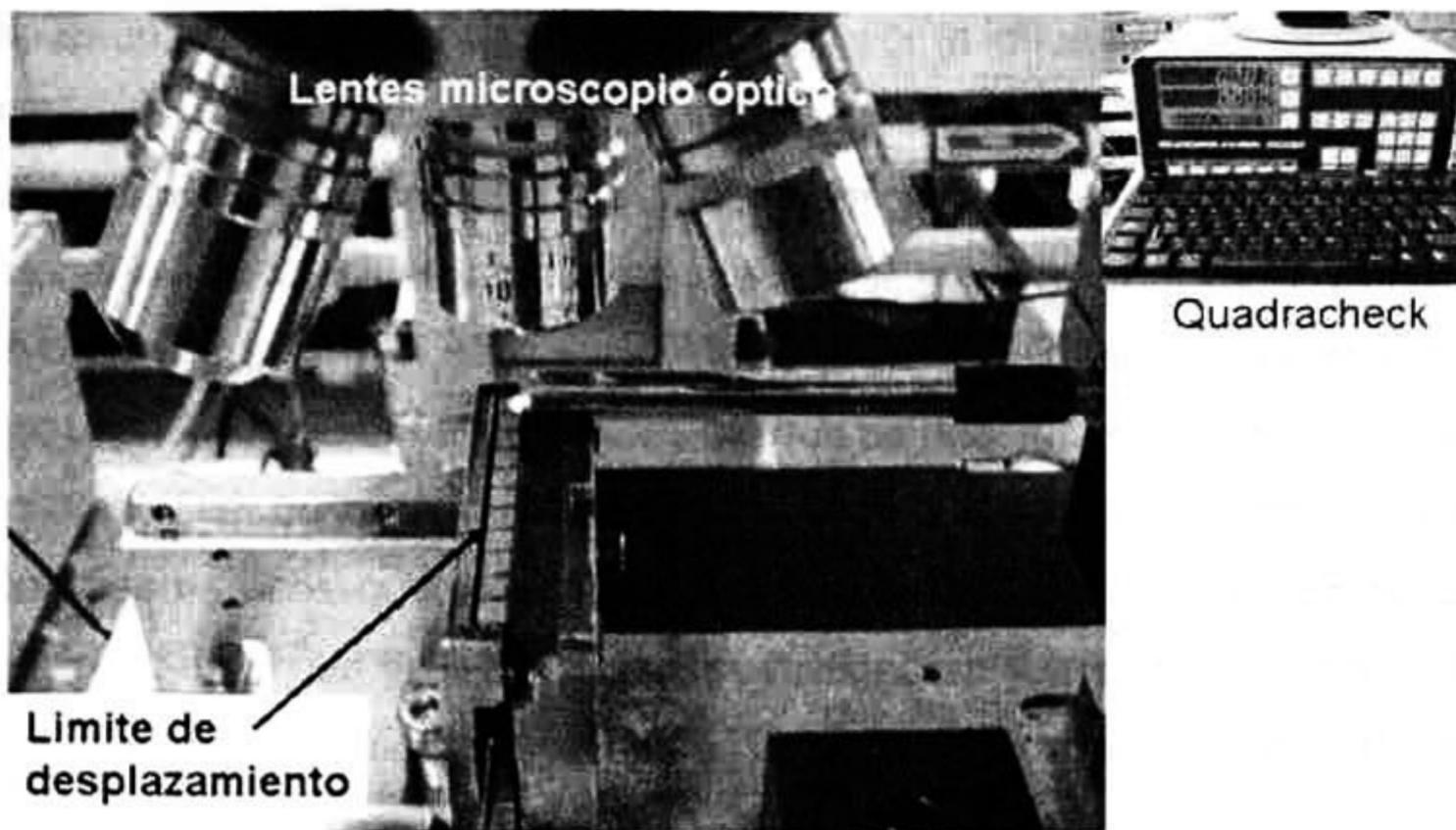


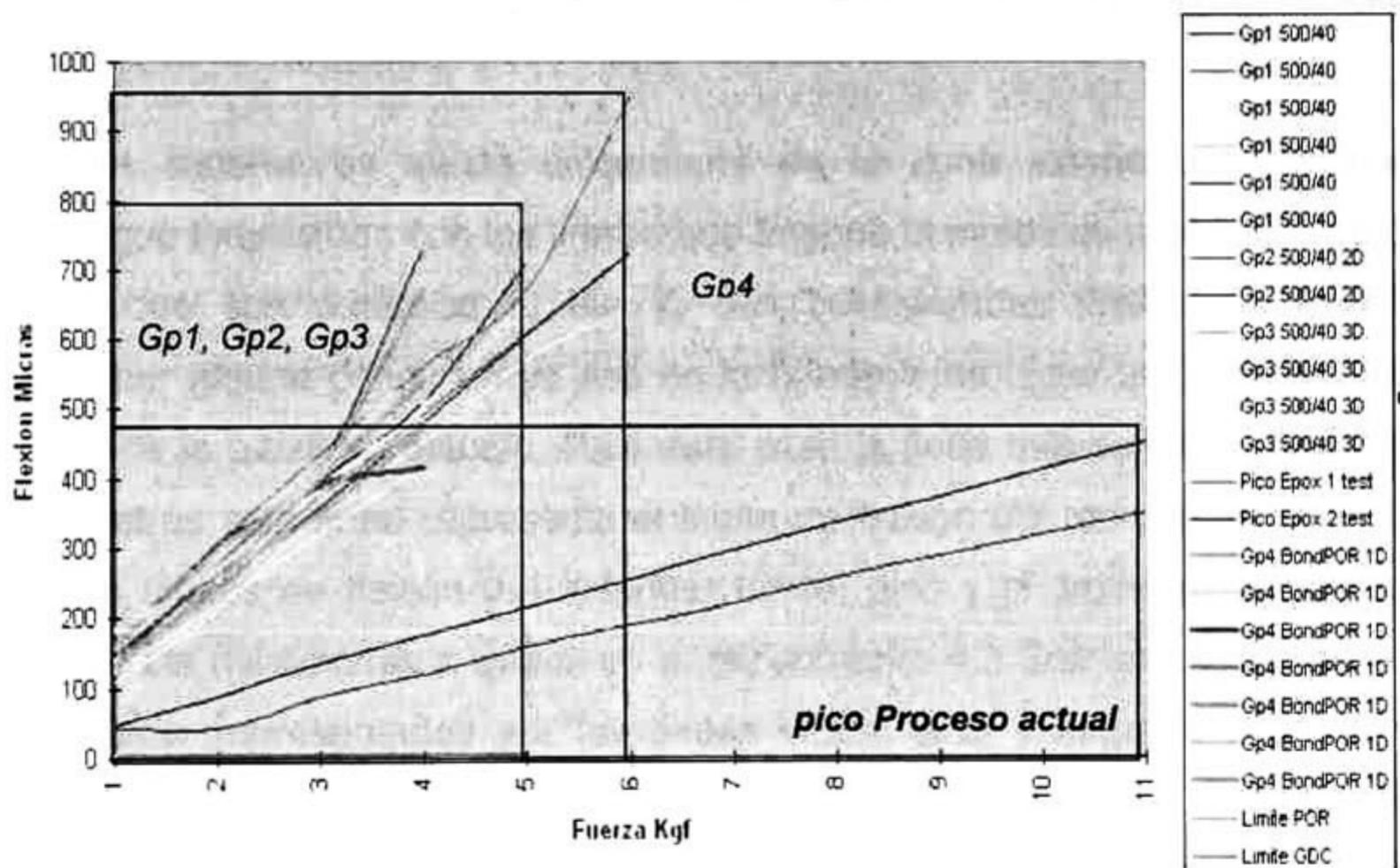
Figura 46 Dispositivo utilizado para medir la relación de fuerza- deflexión desarrollada por el extender bajo el dominio del carrier.

Para hacer las mediciones de comportamiento mecánico del *carrier*, se formaron grupos de material *quad-extender* tipo femto para medir la flexión y al mismo tiempo medir la influencia de algunas variables del proceso de pegado. Por ejemplo, se formaron los grupos 1,2 y 3 pegados con condiciones de control de pegamento 500/40, donde 500 y 40 son las dimensiones en micrómetros de ancho y alto de la línea de pegamento distribuida en la superficie del *quad-extender* y con uno, dos y tres días de edad del pegamento respectivamente. El grupo 4 se formo con material elegido directamente del proceso de producción para ser utilizado como referencia y obtener resultados reales de las condiciones del proceso. Un quinto grupo de *quads* tipo pico fueron agregados a las mismas pruebas para hacer una comparación con este tipo de material respecto del material femto en el mismo *carrier*.

Los resultados de las mediciones hechas en material elegido con características predeterminadas por el estado actual del proceso se muestran en la figura 47. En esta figura también se observa que la fuerza necesaria para despegar los *quads* del *extender* femto bajo la influencia del *carrier*, se mueve en un rango de 4 a 6 Kg_f a una flexión máxima de despegue de 400 a 950 micrómetros. Incluyendo a los *quads* femto de producción. Los *quads* tipo pico

muestran un desempeño muy superior ya que por la influencia del *carrier* se limita su flexión y es muy poco probable que por efecto de fricción se despegue. En la experimentación ningún *quad* tipo pico se despegó a pesar de aplicar hasta 20 Kg_f y flexionar el *quad* 950 micrómetros que es el máximo permisible como ya se observó por el *carrier* en su resorte lineal, el resorte lineal del *carrier* tiene, por diseño, una flexión de 950 micrómetros cuando se ensambla un *quad* pico. Cuando se ensambla un *quad* femto esta flexión permitida se ve incrementada en 30 micrómetros es decir que le permite flexionarse 980 micrómetros. Se puede ver que el *quad-extender* tipo femto puede flexionarse fuera de su límite elástico porque el diseño del *carrier* no está funcionando para las dimensiones del material.

Curvas Deformacion- Fuerza para varios tipos de pegado en quads extender.



- **Gp1, Gp2 y Gp3 Quads Femto pegados con control de adhesivo con días de edad**
- **Gp4 Quads Femto pegados con exceso de adhesivo**
- **Quads pico pegados con exceso de pegamento**

- **500/40 control de adhesivo**
- **1, 2 y 3 D = Días de edad del adhesivo**
- **POR = Proceso actual**
- **GDC = control de pegamento**

Figura 47. Flexión de grupos de quads en el mismo carrier de pulido

Las propiedades del *quad-extender* y del *carrier* se han trazado en una sola gráfica de flexiones contra fuerzas de deformación para observar cómo interactúan ambos elementos y para ilustrar en qué momento surgen los riesgos de despegue y algunas posibles soluciones de rediseño en *carrier*. La función del *carrier* sobre el *quad-extender* se define como un reforzamiento mecánico temporal en el que el *carrier* actúa solamente en caso de ser requerido por el aumento de las fuerzas de fricción que se desarrollan durante el pulido. Para explicar este comportamiento se graficaron todas las curvas de deformación y los límites de flexión impuestos por el *carrier* para cada material, en la figura 48 se muestra el sistema de reforzamiento del *quad-extender* por la acción que el *carrier* desarrolla para proteger el material en caso de alta flexión por fricción. En este sistema de flexiones se presentan las propiedades elásticas de dos piezas para analizar cómo interactúan y en qué condiciones favorecen el efecto de una en la otra.

Este sistema es válido únicamente en la zona elástica de los dos materiales que interactúan con los límites que impone el molde de sujeción. Todas las líneas que son paralelas al eje Y, son consideradas límites de flexión impuestos por alguna condición ya sea en la herramienta o por las propiedades mecánicas de la pieza en estudio. Para este caso la línea roja se ha graficado a 950 micrómetros esta línea representa el límite de flexión del resorte lineal en el *carrier*. Los límites de flexión del *extender* femto, pico y el límite de seguridad obtenido de las mediciones a *quads* en el experimento 4.3 Son impuestos por el *carrier* y están representados por las líneas verde, azul y negra a 700, 630 y 200 micrómetros Respectivamente. Las líneas que tienen inclinación representan los comportamientos elásticos de los materiales que van a ser reforzados temporalmente por el molde en el sistema limitándolos a un nivel de flexión seguro. Por ejemplo se puede observar que la constante de Hooke para el *quad-extender* femto es menor que la constante del *quad-extender* pico, es decir femto soporta menos flexión que pico, sin embargo, el *carrier* le permite flexionarse más al material tipo femto que al material pico. Esto es definitivamente una de las razones por las cuales los *quads extender* pico se despegan menos que el

material femto. Este sistema también permite graficar una zona segura de flexión definida por las mediciones hechas en la experimentación 4.3. El diagrama, permite ver que un material ha rebasado su punto de ruptura, y puede definir los valores de máxima flexión limitada por el diseño mecánico del molde. Esta zona se le ha llamado zona segura de flexión. En la gráfica de la figura 48 se localiza en las abscisas 0 a 200 micrómetros. Por ejemplo, del análisis de este diagrama se observa que para evitar que el *quad-extend* se flexione fuera de su zona elástica se debe limitar su flexión cuando menos a flexiones entre 200 y 100 micrómetros. Este tipo de solución requiere un rediseño de ajuste en las propiedades del *carrier*. La solución al problema de despegues de *quad- extend* se puede observar en esta gráfica y el rediseño se obtiene del análisis dimensional que se hizo al resorte lineal de la tapa del *carrier*.

Otra de las flexiones a las que es sometido el *quad-extend* durante el pulido, es la compensación de arqueado, se observó que el *quad* no debe limitarse en su flexión transversal perpendicular al plano del plato. Por esta razón el *quad* siempre debe permanecer libre de movimiento elástico pero solamente limitado en caso de que las fuerzas de fricción pudieran llevarlo fuera de su zona elástica y por consiguiente despegarlo. Mediciones bajo el microscopio hechas con el mismo instrumento de medición de fuerzas de adhesión mostraron que a 200micrómetros. el *quad* se flexiona libremente siempre en su zona elástica y sin riesgo de despegarse por esfuerzo o flexión excesiva. Investigaciones futuras respecto a ensayos de fatiga de la unión dentro de estos ciclos de flexión podrían proporcionar información segura para limitar las corridas de material o buscar ser reforzadas con adhesivo nuevo.

Grafica de limites de Flexion del molde y sus elementos

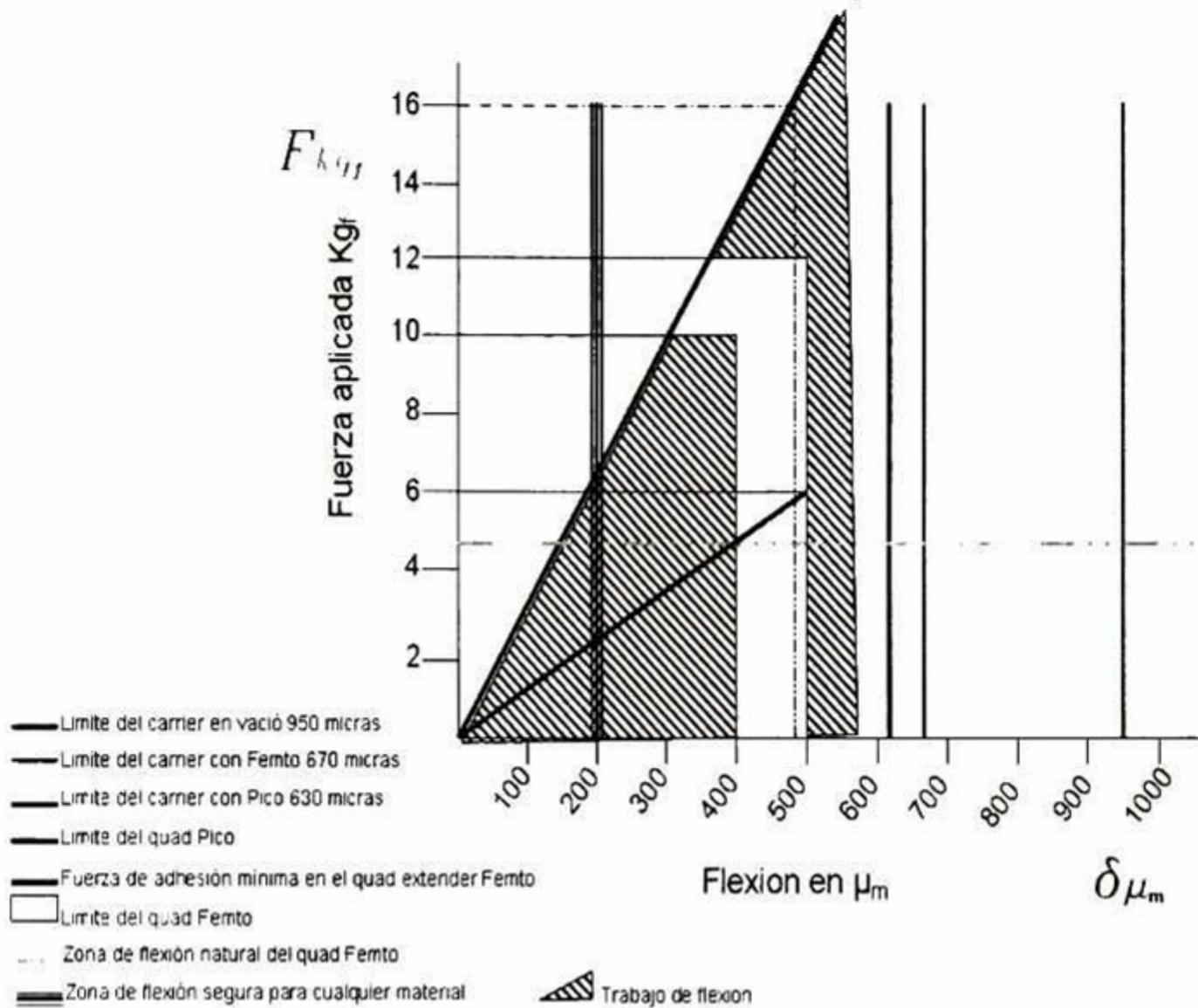


Figura 48 .Sistema de reforzamiento de flexión del quad-extender por el carrier para producto pico y femto

4.5. Curva de deformaciones en el quad-extender ensamblado en el carrier durante el proceso de pulido.

El *quad-extender* ha sido descrito hasta el momento como la pieza principal de investigación en donde, los fenómenos de adhesión y preparación de superficies de los adherentes, así como los diferentes procesos de curado para tratar el adhesivo fueron estudiados experimentalmente. El mismo molde de sujeción ha sido descrito y analizado en su comportamiento mecánico. En esta sección se explica el comportamiento mecánico del *quad-extender* durante su interacción con la cinemática del pulido. Debido a que los fenómenos de despegue no se pueden observar directamente, ya que suceden de forma dinámica e internamente en el *carrier* durante el proceso de pulido, se reprodujeron por medio de un modelo tridimensional realizado en un programa de CAD el tipo de esfuerzos que sufre el *quad-extender*. Para modelar una curva que defina

instantáneamente las deformaciones, a las que el *quad* se ve sometido durante todo el ciclo de pulido, se reprodujo en el modelo de CAD el mecanismo del equipo en la figura 49. Este mecanismo desarrolla un movimiento armónico simple, donde la velocidad es constante siguiendo una trayectoria circular. Cualquier punto ubicado en la superficie del *quad* puede ser analizado independientemente, debido a que el molde de pulido es simétrico, por lo tanto las definiciones que se hagan para un punto localizado en el *quad* pueden ser extensivas para el resto de los puntos, considerando siempre la simetría del mecanismo. Las deformaciones que se causan al *quad-extender* durante el pulido están en función de las posiciones relativas del *carrier* con respecto del plato y a la fuerza de fricción del efecto del pulido. Estas deformaciones, se explican a continuación. Obsérvese en la Figura 50 que en A) la posición relativa del *quad* respecto del plato siempre es perpendicular al plano del plato, B) Posición del *quad* en relación a los radios R de cada extremo indicando el punto de estudio C) Sistema de coordenadas para mostrar la flexión del *carrier* durante el pulido. El *carrier* permite al *quad* femto una flexión máxima de 950 micrómetros además se observa que en un sentido se permite libertad de movimiento amortiguado por el resorte lineal, en el sentido opuesto la flexión prácticamente está limitada a cero por la base de cerámica fija. El *quad-extender* tipo pico se estará flexionando en un rango de 0 a 630 micrómetros dependiendo de las condiciones instantáneas de fricción y orientación relativa entre carro y plato durante el pulido. Las diferentes posiciones de flexión del *quad-extender* en función de su posición respecto del plato se presentan en el modelo de la figura 51. Con ayuda de ese modelo se observa que la flexión del *quad* sucede en los cuadrantes 0° a 90° y 270° a 360° teniendo sus máximos en 360° y sus mínimos a 90° y 270° respectivamente. Durante el resto de los cuadrantes, aunque si existen esfuerzos desarrollados por las fuerza del pulido, la flexión está limitada por el efecto del soporte cerámico del *carrier*. Los valores de flexión medidos mediante el mismo instrumento diseñado para este efecto han sido tabulados en la Tabla 14.

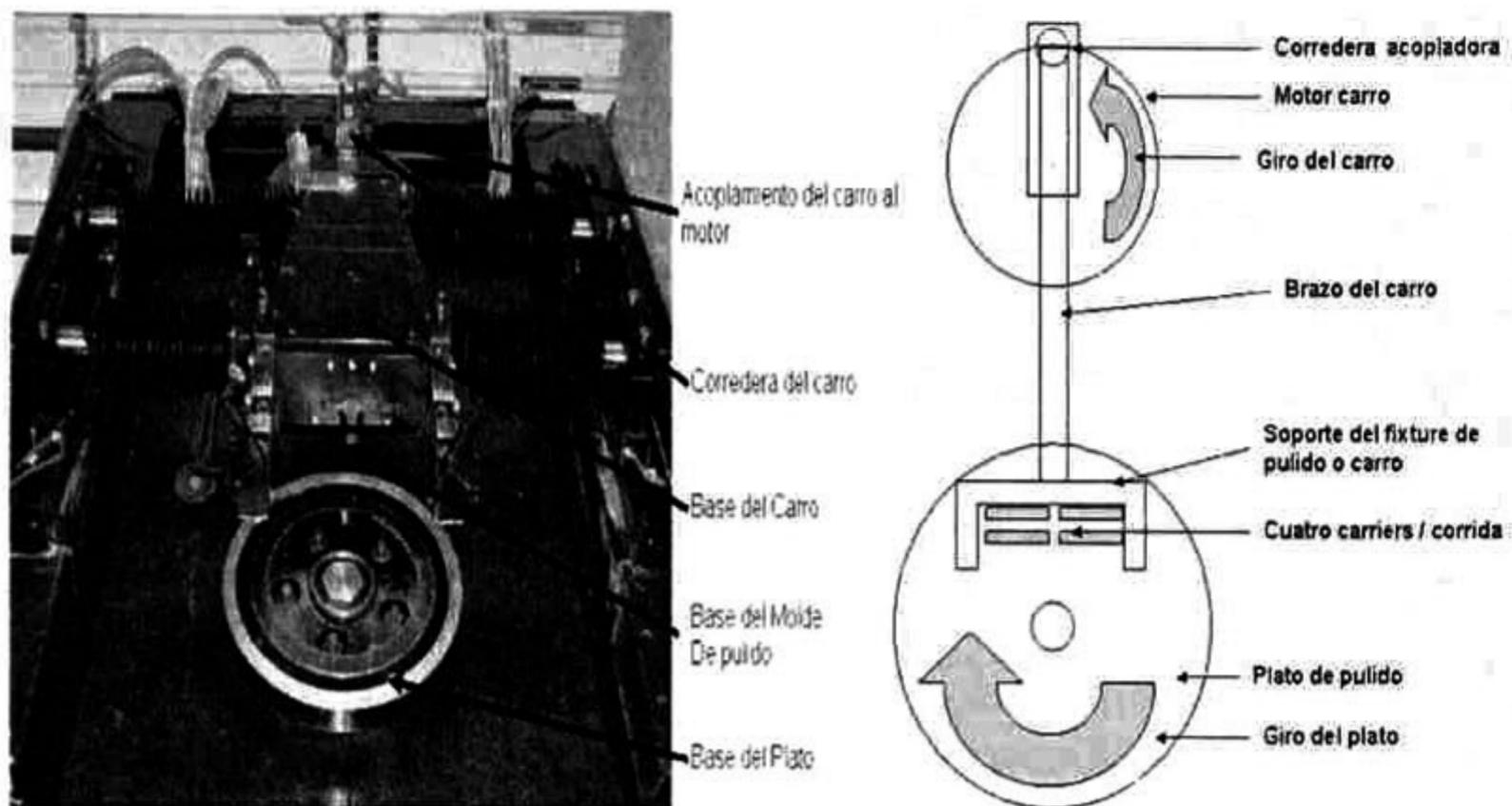


Figura 49 Esquema del mecanismo básico que se utiliza en la maquina pulidora.

Tabla 14 Valores de las posiciones angulares del quad respecto su deformación teórica permitida por el carrier.

Tabla de valores de flexion del quad obtenidos por medicion y proyeccion en el eje Y, de los radios localizadores de los extremos del quad										
Eje x	θ. Posicion angular	0	45	90	135	180	225	270	315	360
Izq	Desplazamiento de RI proyectado en Y	0	33.94	48	33.94	-0	-33.9	-48	-33.9	0.0007
Der	Desplazamiento de RD proyectado en Y	0	72.83	103	72.83	-0	-72.8	-103	-72.8	0.0015
Izq	Flexion del quad en plano X-Y	-630	-315	0	0	0	0	0	-315	-630

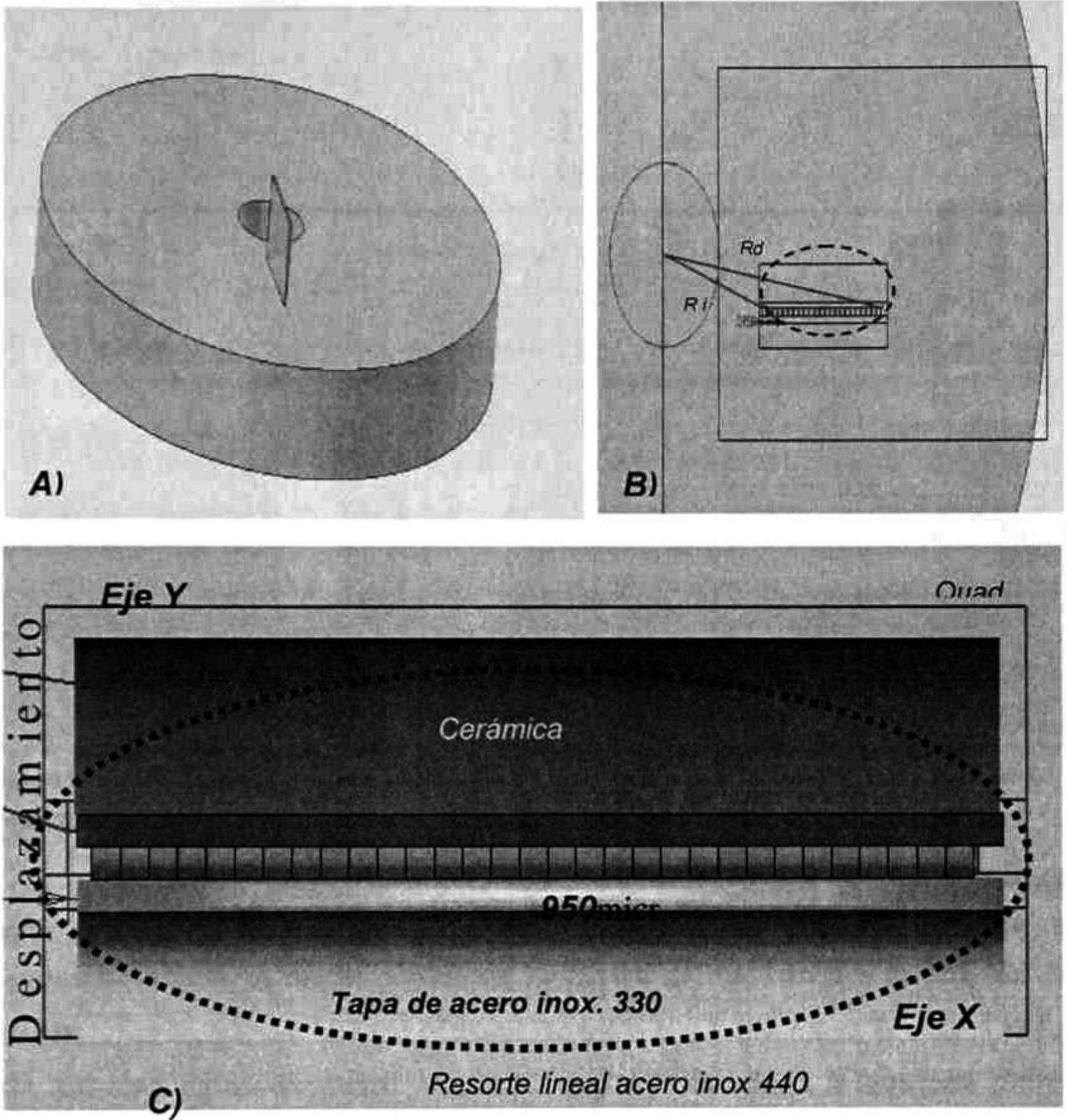


Figura 50 Límites de flexión del quad respecto las posiciones relativas al plato de pulido.

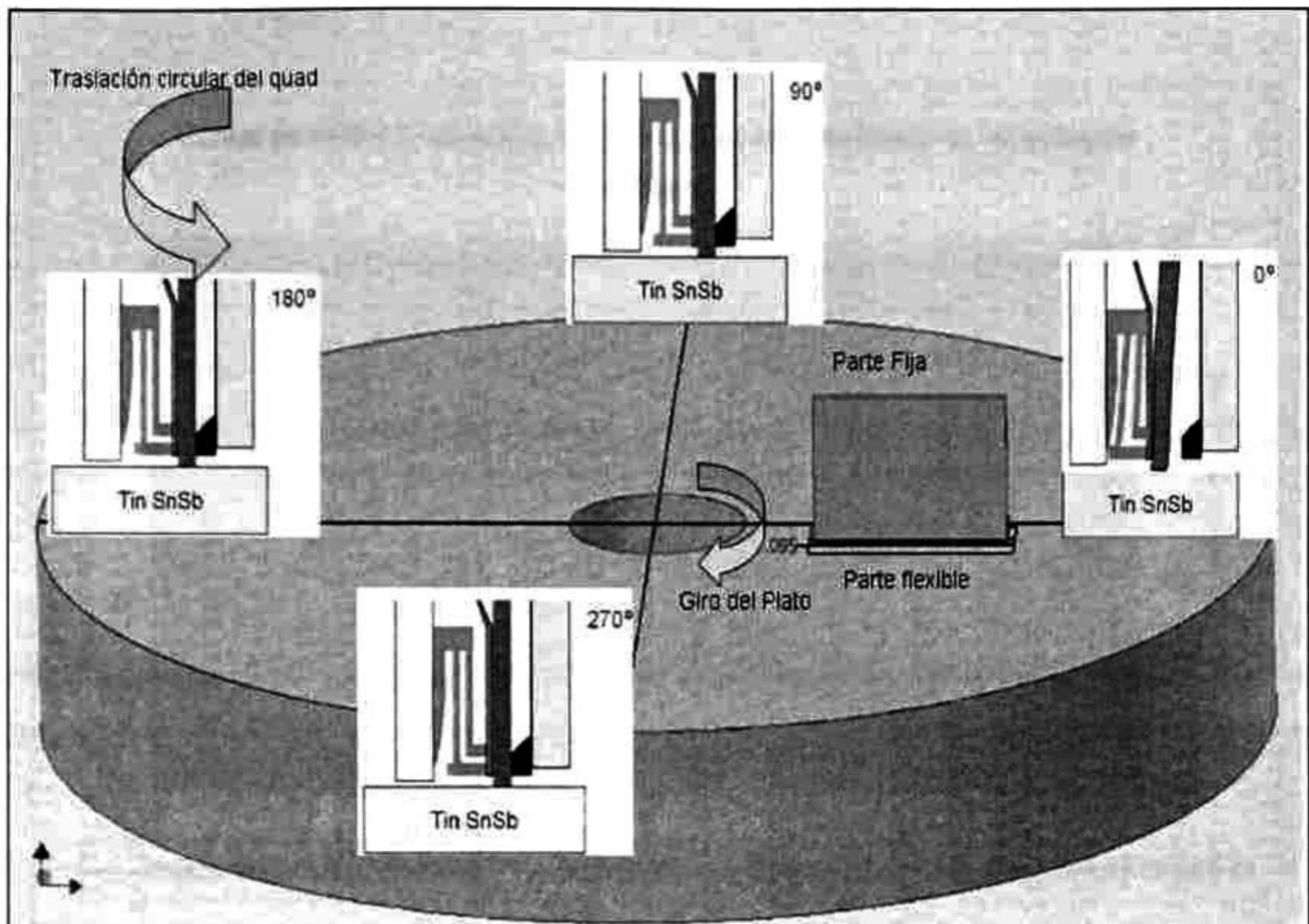


Figura 51. Flexión del quad-extender en función de su posición respecto al plato durante su trayectoria circular. Los recuadros muestran una vista lateral del quad en cada posición.

Los valores de la Tabla 14 fueron tabulados para trazar las curvas de deformación y de localización de un punto específico del *quad* que requiera de estudio. Por ejemplo, en la gráfica de la Figura 52. Se muestra la relación de desplazamiento que se flexiona el *quad* respecto a su trayectoria circular de 0° a 90° . En esta figura se puede observar, que de acuerdo a la posición de los cuadrantes, definida en 360° se tiene la máxima deformación tolerable del *quad* que fue medida en 630 micrómetros aproximadamente para un *quad* tipo femto en su límite elástico. En la gráfica se observa que la flexión del *quad* solo ocurre en el lado del resorte, como ya se había explicado y sucede debido a que la cerámica bloquea la deformación. Es por esa razón que la gráfica solo muestra una deformación negativa en el lado del resorte lineal del *carrier*. Para el lado positivo del sistema convencional de coordenadas la deformación es cero por el efecto mismo de la cerámica al no permitir desplazamiento en ese sentido en respuesta a las fuerzas de fricción que permiten el pulido del *quad*.

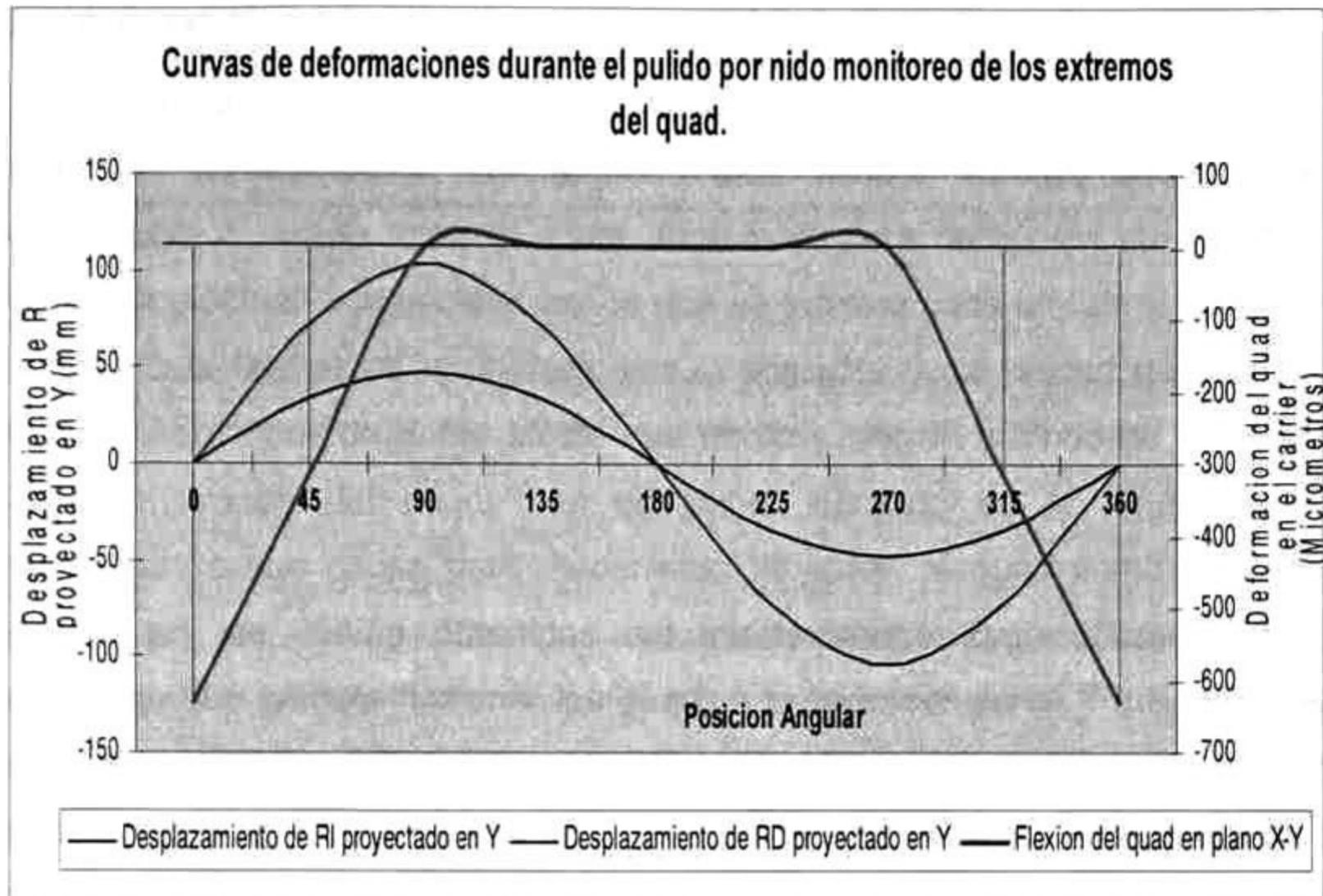


Figura 52. Curvas de deformación del quad en relación a su posición de recorrido en el plato de pulido.

Durante la cinemática del pulido ocurren deformaciones en diferentes direcciones del *quad* dependiendo de la posición relativa que tengan el carro y el plato en toda su trayectoria de 360°. Entonces, el *quad-extend* es sometido a un ciclo de deformaciones repetitivas en función de las revoluciones del carro y el plato en el mecanismo de la pulidora. Por ejemplo cada revolución que gira el carro el *quad-extend* se flexiona por lo menos 600 micrómetros en un sentido. Si la velocidad promedio del carro es 60 rpm y el tiempo de ciclo de pulido promedio de cada *row* es 15 minutos y posteriormente repitiendo esto 35 veces cada media hora para terminar con el pulido de todo el *quad*, Entonces puede confirmarse que el *quad* es sometido a ciclos de fatiga calculados en función de el tamaño del *quad*. Estos ciclos se calculan para la primera corrida en $60 \times 15 \times 1 = 900$ ciclos y para el *quad-extend* en la última corrida en $60 \times 15 \times 35 = 31500$ ciclos de fatiga acumulada resultado de todo el proceso del pulido. Para el primero y ultimo *row*

respectivamente. Esta es la clase de cargas que pueden conducir a fenómenos de fatiga a la que el *quad-extender* es sometido durante el pulido.

Otro tipo de flexión a la que se somete el *quad-extender* es la llamada flexión de compensación de arqueo, esta flexión aunque es mínima e imperceptible a simple vista, es parte importante para definir los parámetros de resistencia eléctrica y planicidad con la que se termina cada uno de los *sliders* de el *quad*. Esta flexión es controlada por el actuador "una unidad de dos micro cilindros neumáticos de doble efecto que abren y cierran a modo de controlar el efecto de arqueo del pulido", el ensamble ilustrado en la figura 53. Las deformaciones que causa este mecanismo flexionan al *quad* como se pueden observar en las curvas obtenidas del interferómetro Zygo utilizando en un mecanismo que permite flexionar los *quads* a presión constante. Para este efecto se usaron 206.84 KPa (30 psi) de aire de manera intermitente estas deformaciones que están en función del tamaño del *quad* y la influencia de las presiones es mayor cuando el *quad* es más pequeño. En la figura 54 se presentan unas curvas, en las que cada una representa el perfil de flexión de un *extender* con cero *rows* de producción simplemente tiene una capa de oblea de 1 mm de espesor.

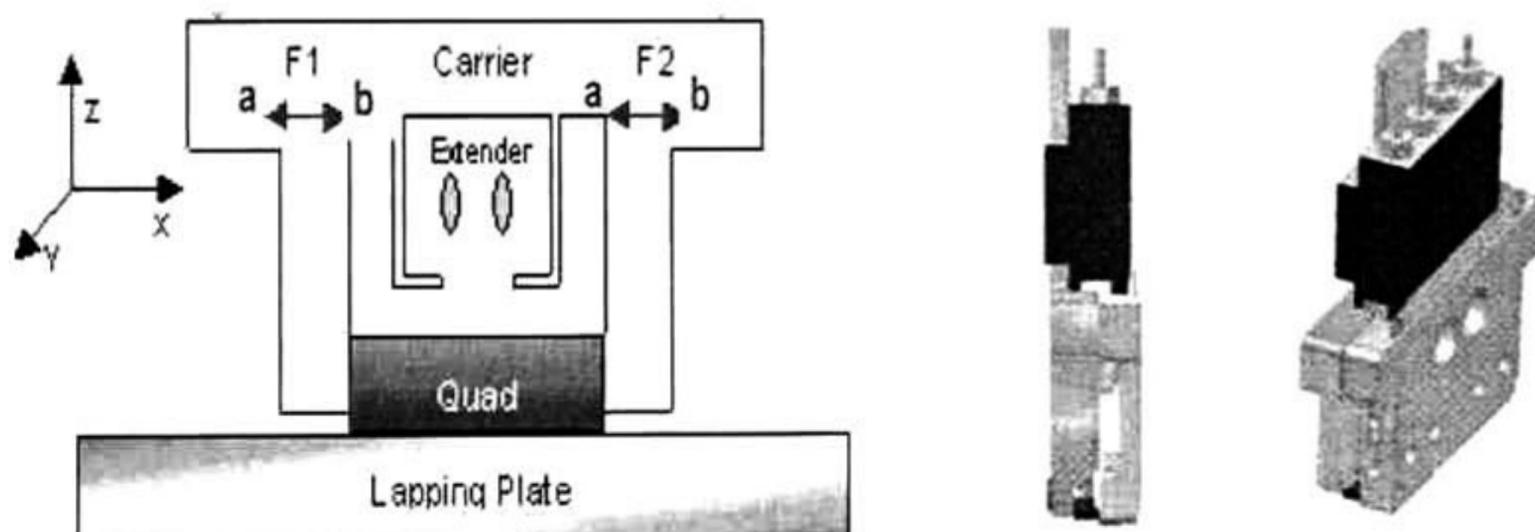


Figura 53. Esquema del ensamble del actuador y modo de compensación de arqueo durante el pulido.

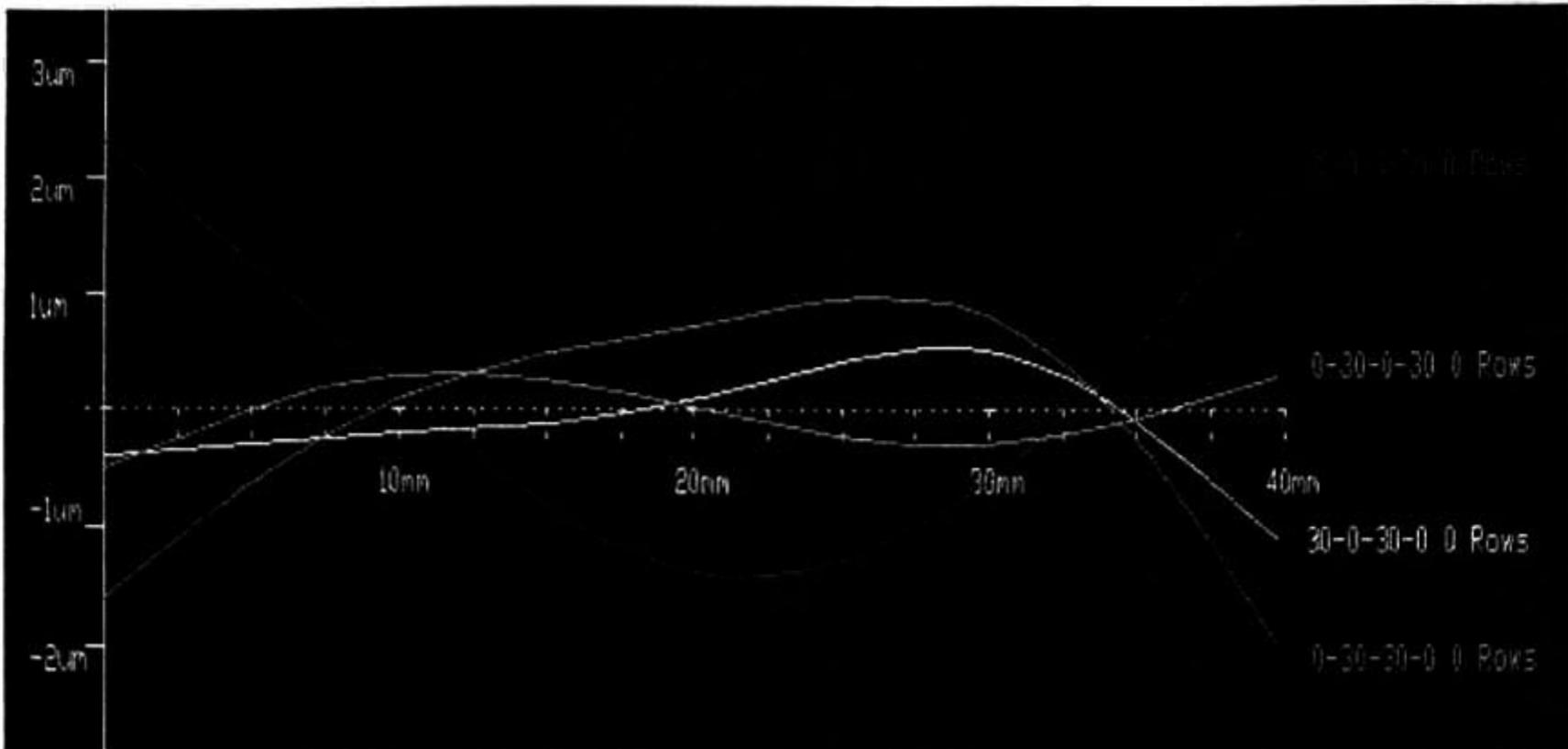


Figura 54. Efecto transversal de flexión de los actuadores durante la compensación de arqueado durante el pulido para extenders con cero rows de producción.

En la Figura 55 se puede observar el efecto de la flexión de arqueado en *quads* de varios tamaños la misma presión genera diferentes curvas de compensación del pulido en función del tamaño del quad.

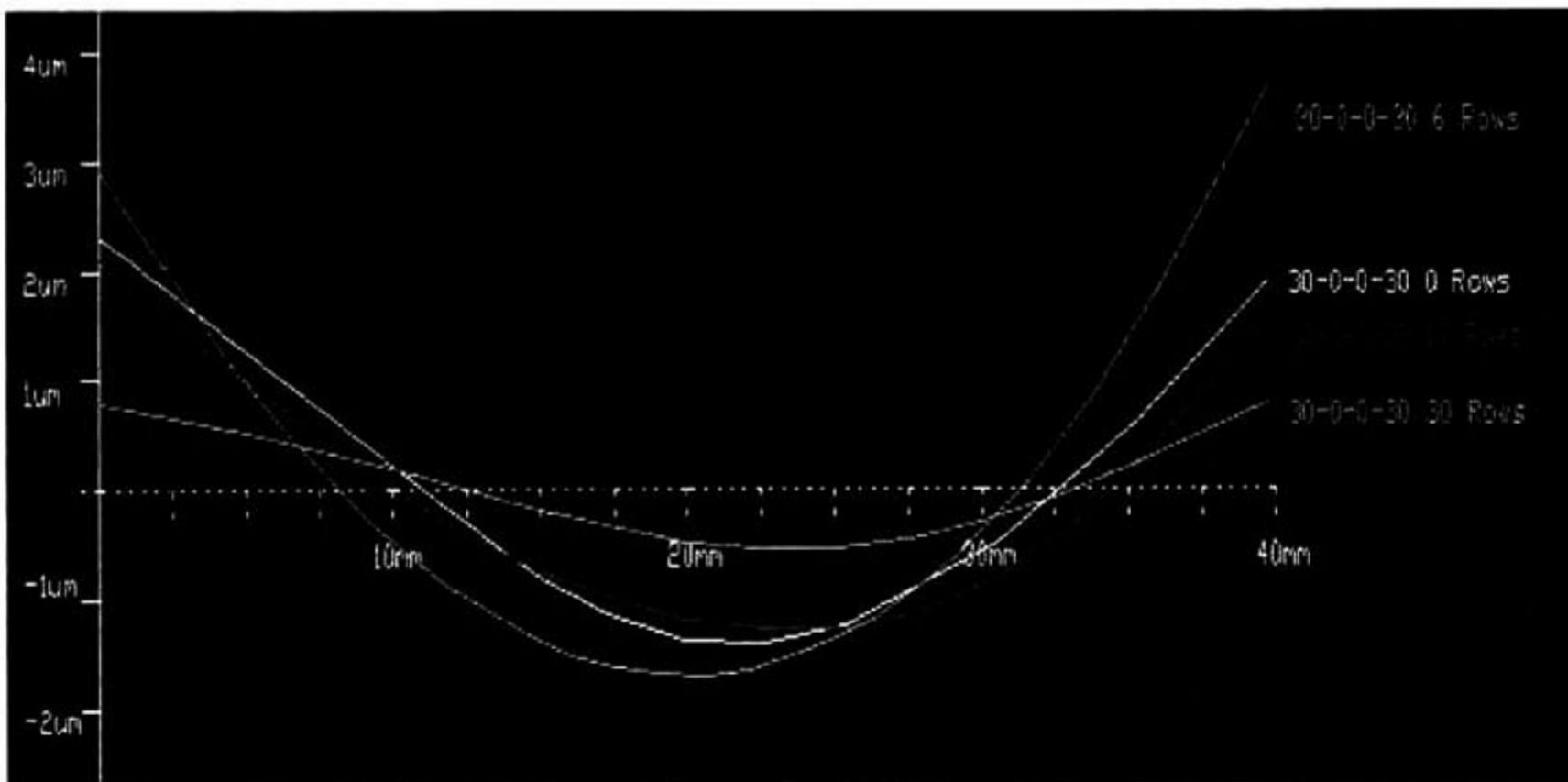


Figura 55. Efecto transversal de flexión de los actuadores durante la compensación de arqueado durante el pulido. Para quads de varios tamaños

Los datos estadísticos de la fuerza de adhesión práctica que se obtiene en la unión *quad-extender* de media, mediana y desviación Standard son 3.57 ,3.16 y 2.20 *kgf* respectivamente. Son valores estadísticamente inaceptables y solo ponen

en evidencia que el proceso de preparación de superficies esta fuera de control y que requiere de ajustes dirigidos a reducir al máximo la dispersión en los parámetros ya mencionados.

Del análisis hecho en la gráfica de la figura 48 resulto una tesis que sugería que por lo menos 1kgf causa una flexión de 200 micrómetros. Esta característica fue el punto de partida para definir especificaciones al proceso y comenzar a implementar sistemas de control que permitieron mejorar las condiciones del pulido para reducir los problemas de despegues. Para probar esta tesis se preparó un carrier con modificaciones mecánicas que limitaban la flexión a dicho valor de 200 micrómetros en la figura 48 se observo que para mover el límite de flexión del material femto de 670 micrómetros a 200micrómetros se requerían $670-200= 470$ micrómetros .Por razones practicas se utilizaron laines de calibración de espesores 500 ± 20 micrómetros para limitar la carrera del resorte. En la figura 56 se puede ver la representación de la lina amarilla y la posición de instalación temporal para limitar la carrera del resorte y la lina anaranjada reforzando el resorte contra fracturas. Los beneficios de esta corrección fueron inmediatos y se empezaron a notar en el monitoreo que se realiza a diario por el departamento de calidad en la planta Hitachi. En la gráfica de la figura 57 se observa la tendencia hacia la baja del defecto concretamente marcado por la implementación de este reforzamiento al resorte lineal del *carrier* de pulido.

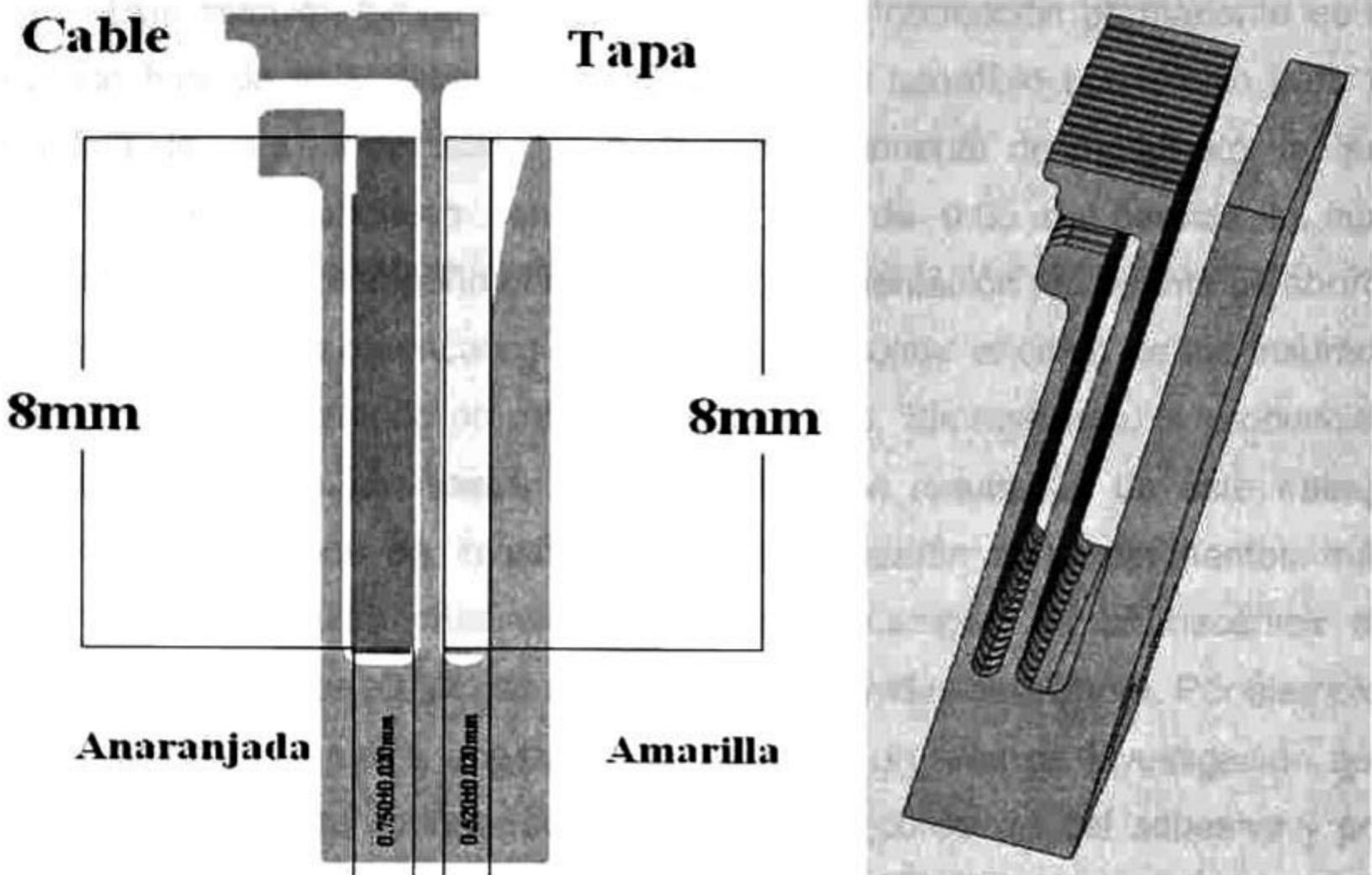


Figura 56. Resorte lineal del carrier de pulido A) reforzado con lanas de calibración para prototipo. B) Rediseño del resorte para aplicación en material femto y pico.

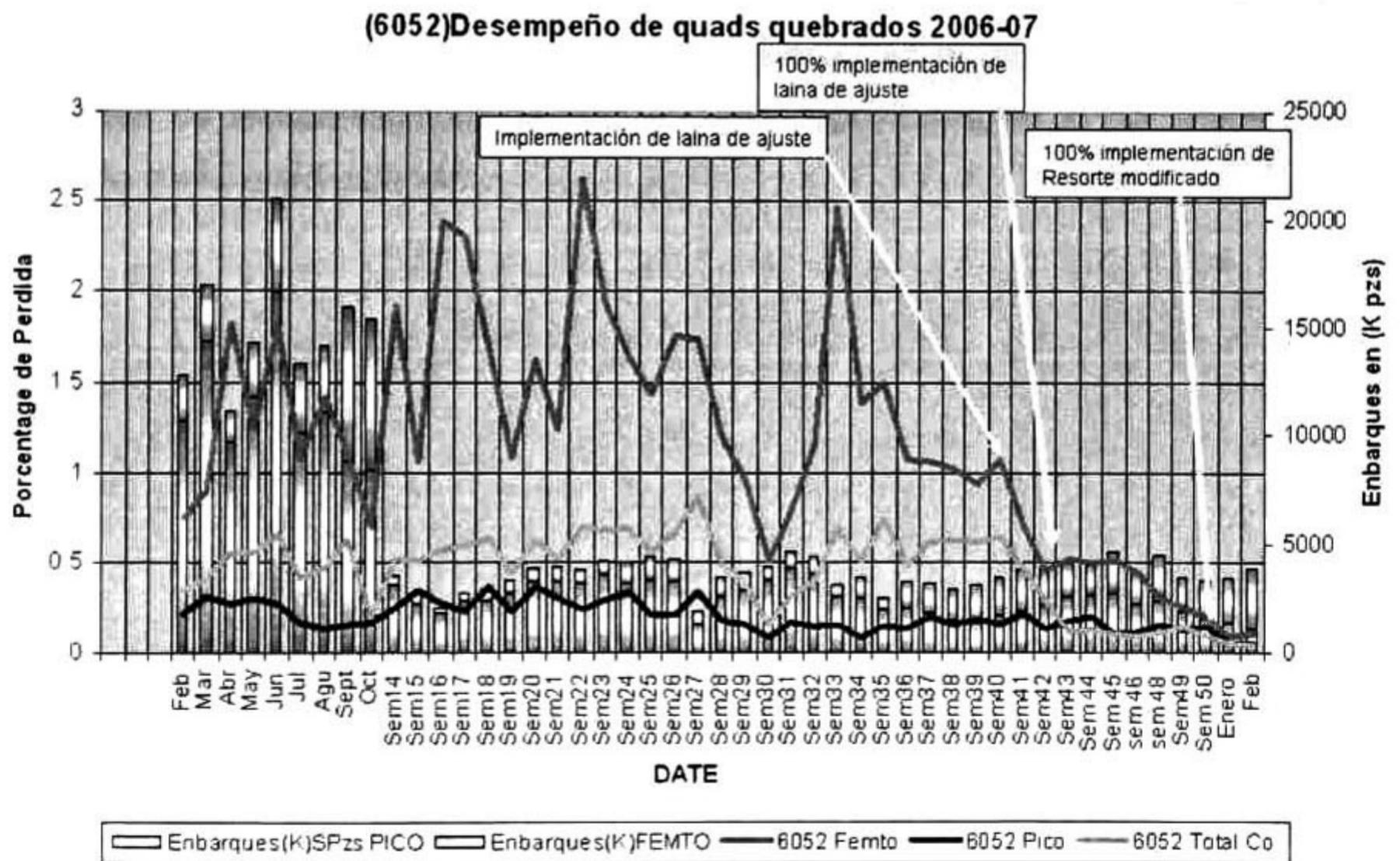


Figura 57. Desempeño del defecto quads despegados del 2006 al 2007

Esta solución temporal y posteriormente la corrección permanente es el resultado final de este trabajo de investigación. El beneficio económico para la compañía de esta modificación se puso inmediatamente de manifiesto ya que ahora se corre el proceso con un desempeño de 0.05 de pérdida lo cual comparado con el desempeño antes de esta implementación representa un ahorro de \$110,250 dólares americanos por semana sin contar el costo de los insumos que se hubieran requerido en material accidentado. Sin embargo, la producción aun se ve afectada por casos de despegues, los resultados de este trabajo abrieron más campos de investigación que requerirán de experimentos más sofisticados elaborados para explorar en otros campos de la mecánica de materiales y encontrar causas de despegues no definidas asta ahora. Por ejemplo, el desempeño de la unión analizada por fatiga es un área de investigación que queda pendiente para conocer sobre el tiempo de confianza del adhesivo y por otra parte la implementación de un proceso de preparación de superficies que sea más controlable en la medida que reduce variación en parámetros como la rugosidad y planicidad. Todo esto con el objetivo de reducir la dispersión en los valores de la fuerza de adhesión practica requerida en el proceso de pulido de sensores de lectura-escritura de discos duros depositados en el par mecánico descrito como *quad-extender*.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Derivado de este trabajo de tesis, se concluye que el nivel de control que se puede alcanzar de un proceso de adhesión para cualquier aplicación en general depende del conocimiento que se tiene de los adherentes y del adhesivo.

Se determinó que la medición de la fuerza de adherencia es el principal parámetro que permite medir la eficiencia de este tipo de procesos. La fuerza de adherencia está determinada por la eficiencia que se tiene en los procesos previos de preparación de superficies de los adherentes que se van a unir y de las condiciones de curado a las que el adhesivo se va a someter. La eficiencia de dicha fuerza de adhesión, también está determinada por factores externos ajenos al proceso. Estos factores dependen directamente de la aplicación para la cual el proceso de adhesión ha sido diseñado.

Del análisis del adhesivo, se demostró que el pre-curado en vacío afecta negativamente las propiedades de dureza y módulo de elasticidad del adhesivo y por lo tanto sus condiciones de adhesión. En los datos de dureza y módulo de elasticidad reducido de 3.023 GPa y 0.1GPa respectivamente de la muestra curada al vacío y 3.24 GPa y 0.117 GPa de la muestra curada sin vacío, se puede ver que las muestras curadas en vacío son menos duras y más frágiles.

Las condiciones actuales de preparación de superficies de los adherentes *quad* y *extender* que se tienen en la planta de producción de Hitachi Storage Technologies Guadalajara son deficientes. Los datos medidos de rugosidad promedio de $Ra = 1824 \pm 1200$ micrómetros y Perfil TIR = 3 ± 2.5 micrómetros, indican una dispersión de los datos del 66% y 83% respectivamente. Una buena medida para mejorar el desempeño del proceso de pegado fue la detección y reposición del herramental fuera de especificaciones y el cambio de proceso de preparación de superficies.

Las mediciones de flexión y fuerza en el *quad-extender* fueron realizadas exitosamente con el dispositivo diseñado para estos propósitos sin la influencia del carrier. Estas mediciones experimentales permitieron conocer los límites de flexión para material femto y pico. De la gráfica de deformaciones por flexión se encontró

que valores para el producto femto están en un rango de 400 a 800 micrómetros y para *pico* en 1025 micrómetros, donde se observó una dispersión que puede ser despreciable, la cual es menos del 5%, lo que indica que el proceso tiene normalidad y puede considerarse estable únicamente para el producto *pico*.

El carrier tiene la función reguladora de flexiones y fue diseñado para mantener las flexiones del producto *pico* dentro de su zona elástica. El material *pico* tiene muy pocas posibilidades de despegarse por flexión excesiva ya que ésta, se encuentra limitada a 630 micrómetros la cual es menor que su límite de flexión. Por otra parte. El límite elástico del material femto en promedio, se encuentra a 450 micrómetros y un gran porcentaje del material femto se somete a flexiones que van fuera de su zona elástica, debido a que el *carrier* solo es capaz de limitar a flexiones mayores de 670 micrómetros. Es decir, que el material femto en promedio durante el pulido se flexiona, dentro del *carrier*, en un 150% de su capacidad elástica. Este hecho explica la alta incidencia de despegues durante el pulido de este tipo de material.

La cantidad de pegamento que se suministra en el proceso actual normal de pegado en la planta no parece tener una correlación con el desempeño de la adherencia en el rango de reducción de 0.0176 g a 0.005g, ya que la fuerza de adhesión permanece estable. Por otra parte al reducir la cantidad de pegamento se disminuye la contaminación por adhesivo mejorando el desempeño del material en el pulido.

Las flexiones de compensación de arqueado que son perpendiculares al plano del plato de pulido y son causadas por la acción del actuador, también contribuyen al despegue de *quad* cortos, es decir *quads* que están en sus últimas corridas, esto se observó en las mediciones de perfil hechas al aplicar 208.8 KPa (30psi) de presión de aire en los actuadores con *quads* de diferentes tamaño. Se observó que en *quads* con menos de 5 *rows*, la deformación es mayor hasta en 3 micrómetros que en aquel material de *quads* mayores de 10 *rows*, donde el material se flexiona menos de 1 micrómetro con la misma presión aplicada en el actuador.

Del mapa de zonas de deformaciones y esfuerzos obtenido del modelado del *quad-extender* por elemento finito mediante el programa Algor, se concluye que los máximos esfuerzo se presentan en el centro de la unión, también es en esta zona donde mayor soporte tiene el *carrier*, por actuar con el resorte lineal. Este resorte es más flexible en los extremos. Los datos obtenidos del modelado, correlacionan fuertemente con los que se obtuvieron de la experimentación, por lo tanto los cálculos realizados con este programa utilizado son confiables para proponer nuevas pruebas en el futuro en caso de que un cambio de tecnología lo requiera.

De la curva de deformaciones del *quad-extender* durante el pulido, se concluye que las deformaciones a las que se somete el *quad-extender* son cíclicas en un sentido y en la mitad de su recorrido a través del plato. Por lo tanto el material esta sometido a ciclos de fatiga que son acumulativos según se va avanzando en su proceso de pulido. Los últimos *rows* terminan siendo los más afectados por estos esfuerzos cíclicos, ya que el rango de flexiones que debe soportar la unión *quad-extender* es de 900 a 31500 ciclos, los cuales se van acumulando desde el pulido del primer *row* en el *quad*.

La solución al problema de despegues del material femto, consistió en modificar el resorte lineal del *carrier*, de tal manera que se ajustaron las flexiones permitidas en el *quad* tipo femto a una flexión segura dentro de un 50% de su zona elástica permitiendo reforzar ambos tipos de producto. En el diagrama de deformaciones, se localiza este límite a 200 micrómetros y se calcula que el espesor del ajuste se debe hacer limitando la carrera del resorte en 500 micrómetros. Esta flexión, está localizada en un punto medio de la curva que define la zona elástica de deformación del *quad-extender* tipo femto. Entonces la solución definitiva, fue limitar la flexión del *quad-extender* femto, a una zona segura donde el *quad* no se despegue, aún si se diera el caso en que el proceso de pegado no fuese tan eficiente como se esperaba. La aplicación de esta conclusión determinó que se decidiera hacer que el *carrier* límite el movimiento del *quad-extender* a un máximo de 200 micrómetros, lo cual se logró, limitando la carrera en los resortes existentes con lanas de 500 micrómetros de espesor. Esta

medida se implemento de manera temporal y se diseño un resorte apropiado que limitará las flexiones a menos de 200 micrómetros.

El efecto del uso temporal de laines de ajuste para limitar la flexión del resorte fue de gran impacto en términos de mejora de 0.5 a 0.05% de reducción en pérdida de *quads* por despegues y en la eficiencia en la continuidad de la producción. Este ajuste fue inmediatamente percibido por el nivel gerencial de la planta al resultar en un ahorro de \$110,250.00 usd. Semanales, el hecho de utilizar un par de laines en cada carrier representó una gran oportunidad, situación que favoreció la rapidez de conversión al nuevo diseño de resorte propuesto por el análisis dimensional que derivó de este trabajo.

Con la información recabada del estudio realizado se definen varias perspectivas de trabajo futuro en este proceso. Entre otras, se encuentra el diseño de un mecanismo para probar la degradación de la fuerza de adhesión por fatiga, lo cual puede explicar el tiempo de vida del pegamento, por lo tanto se podría definir el máximo tiempo de ciclo tolerable para pulir un *quad*. Otro factor que mejora la uniformidad en la fuerza de adhesión desempeñada por el proceso de pegado, es la reducción de la variación en los parámetros de preparación de superficies. La rugosidad así como la planicidad son fundamentales para obtener mayor fuerza de adherencia.

Los parámetros más indispensables para medir el desempeño de un proceso de pegado, han quedado definidos en este trabajo de tesis. Las afectaciones que se causen a este tipo de parámetros cada que se cambie de tecnología son el tipo de respuestas que se deben obtener antes de diseñar un proceso de pegado dentro de la industria de la manufactura.

BIBLIOGRAFIA

- [AVP96-1] Adhesion and adhesives Technology: Alphonsus V.Pocius 1-56990-212-7 Gardner Publications.
- [HES94-2] Helmut Schmidt, Journal of Non-Crystalline Solids, 178, (1994), 302-312.
- [PIH04-3] Hitachi autores varios.2004-2005"Procedimientos internos" Hitachi Storage Technologies México
- [ASM06-4] Atlas specialty metals: Lynch Road Altona North. Victoria 3025. AUSTRALIA. marketing@atlasmetals.com.au
- [LOC05-5] LOCTITE. 1001. Nov-2005 Trout Brook Crossing Rocky Hill .CT.06067-3910. Tel.(860) 571-5100.
- [GAT96-6] Observations regarding the tribological properties of SiC and ALTiC Sliders. Institute of physics, Technical University of Ilmenau.98684 Ilmenau Germany. Gatzen,H.H;Ma,X;Scherge,M.;Jhon,M. S.;Bauer,C.L Magnetics, IEEE Transactions on Volume 32, Issue 5, Sep 1996 Page(s):3783 - 3785
- [KLA95-7] KLA Tencor Industries, 1995, "Operational Manual – Tencor P-10 Profilemeter".
- [JOW96-8] Atkinson, Norman (1996). Sir Joseph Whitworth: "the World's Best Mechanician". Sutton Publishing Limited. ISBN 0-7509-1211-1.
- [MHR01-9] La rugosidad de las superficies: Topometría, Moisés Hinojosa Rivera, Martín Edgar Reyes Melo.- Ingenierías, Abril-Junio 2001, Vol. IV, No.

[ZYG06-10] GPI LC Interferometer Operating Manual 0501_A. ZYGO
MANUAL.2006.

[IMA06-11] IMADA, Incorporated 3100 Dundee Rd., Suite 707. Northbrook, IL
60062 © Copyright 2006
ISO 9001 Registered & ISO/IEC 17025 Accredited

[ACF06-12] Nanoindentation. Autor: Anthony C.Fischer-Crips. Publicado en 2006
por Springer ISBN: 0387220453.

[JMS05-13] J.Muñoz Saldaña. Apuntes : Mecánica de materiales, Maestría en
Ciencias especialidad de materiales, Febrero, 2005.

[ALG06-14] University Licenses for Engineering Education
http://www.algor.com/univ_prog/license.asp

[SAS02-15] Tom J. Lange, Ph. D. Modeling & Simulation,
Corporate R&D, Procter & Gamble .copyright 2002 by SAS Institute
Inc., Cary, NC,USA ISBN 1-59047-0702

[CJW89-16] Candela, J. Winant, C. D. y Briden, H. (1989) Meteorological forced
subinertial flows through the straits of Gibraltar. Journal of Geophysical
Research, Vol. 94, 12667-12679 pp

<http://www.puertos.es/externo/clima/Nivmar/node17.html>

EL JURADO DESIGNADO POR LA UNIDAD QUERÉTARO DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, APROBÓ LA TESIS DE MAESTRÍA DEL C. JORGE RODRIGUEZ RAMIREZ TITULADA: "CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE LA ADHESIÓN OBLEA-METAL(EXTENDER-BOND) Y SU INFLUENCIA EN EL PROCESO DE PULIDO DE OBLEAS DE AL₂O₃TIC EN LA PRODUCCIÓN DE CABEZAS ELECTROMAGNETICAS PARA DISCOS DUROS.", FIRMAN AL CALCE DE COMÚN ACUERDO LOS INTEGRANTES DE DICHO JURADO, EN LA CIUDAD DE QUERÉTARO, QRO.,A CATORCE DE JULIO DE DOS MIL OCHO.

DR. RAFAEL RAMÍREZ BON

DR. JUAN MUÑOZ SALDAÑA

DR. JOSE MARTIN YÁÑEZ LIMÓN

DR. FRANCISCO JAVIER ESPINOZA BELTRÁN



CINVESTAV
BIBLIOTECA CENTRAL



SSIT000006485