

Laser Measurement System **HPI-3D**





Laser measurements systems.

Measurement systems with data acquisition.

Laser technique.

Research and Development Company Ltd.

UL. SWOJCZYCKA 26,

51-501 WROCLAW, POLAND

Tel/fax. 071-3466684

email: lasertex@lasertex.com.pl

Laser Measurement System HPI-3D

User manual

Rev. H2

Wrocław 2021

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1-1
1.1 Consideraciones de seguridad	1-1
1.2 Advertencias	1-2
1.3 Información de cumplimiento	1-2
2. BREVE INICIO	2-1
2.1 Características principales	2-1
2.2 Cómo funciona	2-1
a. Óptica lineal	2-2
b. Óptica angular	2-3
c. Óptica de Wollaston	2-4
2.3 Cómo iniciar	2-6
3. PREPARACIONES	3-1
3.1 Instalación del Software	3-1
3.2 Elementos del Sistema láser	3-9
3.3 Configuración del interferómetro en las mediciones	3-12
3.4 Encendido del sistema	3-16
a. Iniciar hardware	3-16
b. Iniciar software	3-16
3.5 Obtención de información básica del sistema	3-18
3.6 Modo de grabación	3-24
4. ALINEACIÓN	4-1
4.1 Introducción	4-1
4.2 Herramienta electrónica de alineación	4-2
4.3 Reglas básicas para la alineación del haz	4-2
4.4 Preparaciones	4-4
a. Diafragma	4-4
b. Elementos de alineación del cabezal	4-6
c. Herramienta electrónica de alineación del haz	4-7
4.5 Procedimiento de alineación del haz con óptica lineal	4-9
4.6 Procedimiento de alineación del haz con óptica angular	4-11
4.7 Procedimiento de alineación del haz con óptica de Wollaston	4-13
4.8 Alineación del haz con óptica lineal y etalon angular	4-15
4.9 Alineación del haz con óptica angular y doblador de haz	4-18
a. Cabezal láser inicialmente NO alineado	4-18
b. Cabezal láser inicialmente alineado	4-21

4.10 Alineación del haz de Sistema rotatorio – HPI-3D +Wally	4-24
4.11 Alineación del haz para Circularidad dinámica	4-26
5. MEDICIONES - POSICIONAMIENTO	5-1
5.1 Descripción general	5-1
a. Resumen de posicionamiento	5-1
5.2 Configuración de medición	5-4
a. Principios	5-4
b. Principios – compensación de temperatura base	5-5
c. Preparaciones para configurar la medición	5-7
5.3 Descripción del Software	5-10
a. Introducción	5-10
b. Panel de visualización	5-11
c. Panel de representación gráfica	5-12
d. Panel de resultados de posicionamiento	5-12
e. Panel de control de posicionamiento	5-13
f. Menú desplegable - File	5-15
g. Generación de ruta CNC	5-15
h. Tabla de compensación	5-17
i. Menú desplegable - Edit	5-18
j. Límites de error de la máquina	5-19
k. Generación de puntos de posicionamiento	5-20
l. Configuración de medición de posicionamiento	5-21
m. Menú desplegable – Measurement	5-26
5.4 Preparaciones para la medición	5-27
a. Ventana de medición	5-27
b. Mediciones 1D y 3D	5-28
c. Mediciones según el Sistema de coordenadas de la máquina	5-29
d. Configurar puntos de medición	5-29
5.5 Reglas para la medición de posicionamiento automático	5-30
5.6 Observaciones sobre mediciones y análisis de datos	5-30
5.7 Compensación de error de la máquina	5-35
a. Formato de datos absoluto e incremental	5-36
b. Formato de datos Siemens	5-37
c. Formato de datos Fanuc	5-37
6. MEDICIONES – POSICIONAMIENTO DINÁMICO	6-1
6.1 Descripción general	6-1
a. Resumen de posicionamiento	6-1
6.2 Configuración de medición	6-4
a. Principios	6-4
a. Principios –Compensación de temperatura base	6-5
b. Preparaciones para configurar la medición	6-7
6.3 Descripción del Software	6-10
a. Introducción	6-10
b. Panel de visualización	6-10
c. Panel de representación gráfica	6-11
d. Panel de control de posicionamiento	6-12
e. Menú desplegable - File	6-13
f. Generación de ruta CNC	6-13
g. Preparación de la tabla de compensación	6-15

h. Menú desplegable - Edit _____	6-16
6.4 Preparaciones para la medición _____	6-16
a. Ventana de medición _____	6-16
b. Mediciones en el Sistema de coordenadas de la máquina _____	6-17
6.5 Reglas para la medición de posicionamiento automático _____	6-17
6.6 Observaciones en mediciones y análisis de datos _____	6-18
6.7 Compensación de error de la máquina _____	6-19
a. Formato de datos absoluto e incremental _____	6-20
b. Formato de datos Siemens _____	6-21
c. Formato de datos Fanuc _____	6-22
7. MEDICIONES - RECTITUD _____	7-1
7.1 Descripción general _____	7-1
7.2 Configuración de medición – Óptica angular _____	7-1
a. Principios _____	7-1
b. Notas de aplicación _____	7-4
c. Preparaciones para la configuración de la medición _____	7-6
7.3 Configuración de medición– Óptica de Wollaston _____	7-9
a. Principios _____	7-9
b. Notas de aplicación _____	7-12
c. Preparaciones para la configuración de la medición _____	7-13
7.4 Configuración de medición – Método 3D _____	7-15
a. Principios _____	7-15
b. Notas de aplicación _____	7-16
c. Preparaciones para la configuración de la medición _____	7-17
7.5 Descripción del Software _____	7-20
a. Introducción _____	7-20
b. Panel de visualización _____	7-21
c. Panel de representación gráfica _____	7-23
d. Panel de operación _____	7-25
e. Panel de resultados de rectitud _____	7-27
f. Panel de control de rectitud _____	7-28
g. Menús desplegables _____	7-29
h. Informes _____	7-31
7.6 Procedimiento de medición de rectitud _____	7-33
a. Procedimiento de medición – Óptica angular - preparaciones _____	7-33
b. Procedimiento de medición – Óptica angular _____	7-35
c. Procedimiento de medición – Óptica de Wollaston – preparaciones _____	7-36
d. Procedimiento de medición – Óptica de Wollaston _____	7-36
e. Procedimiento de medición – método 3D - preparaciones _____	7-36
f. Procedimiento de medición – método 3D _____	7-37
8. MEDICIONES - PLANITUD _____	8-1
8.1 Descripción general _____	8-1
8.2 Configuración de medición _____	8-1
8.3 Descripción del Software _____	8-4
8.4 Alineación de elementos ópticos para las mediciones de planitud _____	8-7

a. Alineación de la trayectoria del eje "1".	8-8
b. Alineación de la trayectoria de los ejes: "3", "6", "8".	8-8
c. Alineación de la trayectoria de los ejes: "5" y "7"	8-9
d. Alineación de la trayectoria de los ejes: "2" y "4"	8-10
8.5 Procedimiento de medición	8-11
9. MEDICIONES – RECTITUD DINÁMICA	9-1
9.1 Descripción general	9-1
9.2 Configuración de medición – Óptica angular	9-2
a. Principios	9-2
b. Notas de aplicación	9-4
c. Preparaciones para la configuración de la medición	9-6
9.3 Configuración de medición – Óptica de Wollaston	9-9
a. Principios	9-9
b. Notas de aplicación	9-12
c. Preparaciones para la configuración de la medición	9-12
9.4 Configuración de medición – Método 3D	9-14
a. Principios	9-14
b. Notas de aplicación	9-15
c. Preparaciones para la configuración de la medición	9-16
9.5 Descripción del Software	9-19
a. Introducción	9-19
b. Panel de visualización	9-21
c. Panel de representación gráfica	9-22
d. Panel de operación	9-24
e. Panel de resultados de rectitud dinámica	9-25
f. Panel de control de rectitud	9-26
g. Menús desplegables	9-27
h. Informes	9-29
9.6 Procedimiento de medición de rectitud dinámica	9-30
a. Procedimiento de medición – Óptica angular - preparaciones	9-31
b. Procedimiento de medición – Óptica angular	9-31
c. Procedimiento de medición – Óptica de Wollaston – preparaciones	9-32
d. Procedimiento de medición – Óptica de Wollaston	9-32
e. Procedimiento de medición – Método 3D - preparaciones	9-33
f. Procedimiento de medición – Método 3D	9-33
10. MEDICIONES – PERPENDICULARIDAD	10-1
10.1 Descripción general	10-1
10.2 Configuración de medición	10-1
10.3 Descripción del Software	10-5
10.4 Alineación de elementos ópticos para las mediciones de perpendicularidad	10-8
10.5 Procedimiento de medición	10-10
11. MEDICIONES – PARALELISMO	11-1
11.1 Descripción General	11-1
11.2 Configuración de medición	11-1
11.3 Descripción del Software	11-4

11.4 Alineación de elementos ópticos para las mediciones de paralelismo _____	11-7
11.5 Procedimiento de medición _____	11-9
12. MEDICIONES - VIBRACIÓN _____	12-1
12.1 Descripción General _____	12-1
12.2 Configuración de medición _____	12-1
12.3 Descripción del Software _____	12-4
12.4 Procedimiento de medición _____	12-7
13. MEDICIONES - DINÁMICA _____	13-1
13.1 Descripción General _____	13-1
13.2 Configuración de medición _____	13-1
a. Mediciones dinámicas de distancia, velocidad o aceleración _____	13-1
b. Mediciones dinámicas de ángulo _____	13-4
c. Mediciones dinámicas de rectitud (Wollaston) _____	13-7
13.3 Descripción del Software _____	13-9
13.4 Procedimiento de medición _____	13-13
14. MEDICIONES – POSICIONAMIENTO ANGULAR _____	14-1
14.1 Descripción General _____	14-1
14.2 Configuración de medición _____	14-1
a. Características de Wally – Sistema de medición rotatorio _____	14-3
b. Teoría de operación _____	14-7
c. Mediciones rotatorias –preparaciones de hardware _____	14-9
d. Mediciones rotatorias – Carga de batería _____	14-12
e. Mediciones rotatorias – eliminación de fuentes de error _____	14-12
14.3 Descripción de Software _____	14-14
a. Conexión con Wally _____	14-14
b. Medición del ángulo de rotación _____	14-15
c. Mediciones de posicionamiento angular _____	14-17
d. Menú desplegable - File _____	14-18
e. Generación de ruta CNC para mediciones en eje _____	14-19
f. Generación de ruta CNC para mediciones fuera del eje _____	14-21
g. Menú desplegable - Edit _____	14-27
h. Límites de error de la máquina _____	14-28
i. Generación de puntos de posicionamiento _____	14-29
j. Configuración de medición de Posicionamiento _____	14-30
k. Menú desplegable – Measurement _____	14-31
14.4 Procedimiento de medición _____	14-32
a. Reglas de medición de posicionamiento automático _____	14-33
b. Observaciones sobre mediciones y análisis y datos _____	14-34
15. MEDICIONES - VELOCIDAD _____	15-1
15.1 General Description _____	15-1
15.2 Configuración de medición _____	15-1
15.3 Descripción de Software _____	15-4

15.4 Procedimiento de medición _____	15-7
16. MEDICIONES – PITCH/YAW _____	16-1
16.1 Descripción General _____	16-1
16.2 Configuración de medición _____	16-1
16.3 Descripción de Software _____	16-4
16.4 Procedimiento de medición _____	16-7
17. MEDICIONES – DIAGONAL DINÁMICA _____	17-1
17.1 Descripción General _____	17-1
17.2 Configuración de medición _____	17-1
17.3 Descripción de Software _____	17-4
17.4 Procedimiento de medición _____	17-6
18. CONEXIÓN DEL CABEZAL A LA MÁQUINA _____	18-1
18.1 Descripción General _____	18-1
18.2 Conector de Extensión _____	18-2
a. Configuración de pines del Conector de Extensión _____	18-2
b. Cable de Extensión EX1 _____	18-4
c. Salidas de tipo condificador _____	18-6
18.3 HPI-3D en un bucle de control de la máquina _____	18-11
19. CONFIGURACIÓN _____	19-1
19.1 Descripción General _____	19-1
19.1 Panel Interfaz _____	19-1
19.2 Panel WiMeteo _____	19-2
19.3 Panel de parámetros _____	19-3
19.4 Panel General _____	19-4
19.5 Panel Meteo _____	19-5
19.6 Panel del Conector de extensión _____	19-5
19.7 Panel de estadísticas _____	19-7
19.8 Actualización del Firmware del panel _____	19-8
19.9 Otros paneles _____	19-8
20. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN _____	20-1
20.1 Reglas de las mediciones del desplazamiento láser _____	20-1
20.2 Construcción de interferómetros reales _____	20-2
20.3 Influencia de las condiciones externas en la precisión de la medición _____	20-5
20.4 Precisión de los interferómetros láser _____	20-7
a. Errores causados por el entorno _____	20-7
b. Error death path _____	20-8
c. Error de coseno _____	20-9
d. Error de Abbe _____	20-10

e. Error de estabilidad del láser _____	20-11
f. Otros errores _____	20-11
g. Resumen de errores de sistemas de medición láser _____	20-12
21. PROBLEMAS GENERALES _____	21-1
21.1 Descripción General _____	21-1
21.2 Problemas de conexión USB o Bluetooth _____	21-1
21.3 Problemas de conexión con los sensores inalámbricos _____	21-3
21.4 Problemas con mediciones lineales _____	21-4
22. DATOS TÉCNICOS _____	22-1
22.1 Especificaciones del sistema _____	22-1
22.2 Cabezal Laser _____	22-1
22.3 Salidas del Cabezal Láser - analógica _____	22-2
22.4 Salidas del Cabezal Láser– digital, tipo 1 _____	22-2
22.5 Salidas del Cabezal Láser– digital, tipo 2 _____	22-3
22.6 Salidas del Cabezal Láser– Pines del Conector de Extensión _____	22-3
22.7 Condiciones de trabajo del sistema _____	22-4
22.8 Fuente de alimentación _____	22-5
22.9 Interfaz de PC _____	22-5
22.10 Compensación ambiental _____	22-5

1. INTRODUCCIÓN

El sistema de medición láser **HPI-3D** es un interferómetro láser de doble frecuencia destinado a ser utilizado principalmente en mediciones de geometría de máquinas. Su pequeño tamaño y bajo peso simplifican el transporte y hacen que el instrumento sea especialmente útil para aplicaciones de servicio.

La versión de software para Windows XP / Vista / 7/8 y la automatización de muchos procesos de medición hacen que el interferómetro sea de uso sencillo. El software, que cumple con ISO 230-2 y normas similares, permite realizar informes y diagramas. Es posible elegir el procesamiento de resultados estadísticos de acuerdo con las normas: ISO 230-2 (europea), VDI / DGQ 3441 (alemana), NMTBA (EE. UU.), BSI BS 4656 Part 16 (británica) y PN-93 M55580 (polaca).

El sistema de medición láser HPI-3D es un dispositivo altamente configurable, aunque ya en su configuración básica permite realizar las mediciones más complicadas con la mayor precisión posible. Las opciones disponibles se describen a continuación en este manual.

Los buenos parámetros técnicos del interferómetro permiten su uso en laboratorios científicos, para posicionamiento de precisión, para escalar sistemas de medición ópticos y magnéticos, etc.

1.1 Consideraciones de seguridad

El interferómetro láser **HPI-3D** es un producto de seguridad de clase I diseñado y probado de acuerdo con las normas internacionales de seguridad. También es un dispositivo láser de clase II que cumple con las normas internacionales de seguridad láser. El instrumento y el manual deben

inspeccionarse y revisarse para ver las marcas e instrucciones de seguridad antes de la operación.

1.2 Advertencias

Aunque el sistema de medición láser **HPI-3D** está diseñado para utilizarse en entornos hostiles, **se deben** cumplir las siguientes condiciones:

- El cabezal láser **no debe** colocarse cerca de campos magnéticos fuertes.
- El cabezal no debe desenroscarse de su base y, si lo está, **no debería** colocarse en un disipador de calor (por ejemplo, una placa de metal gruesa).
- El cabezal **no debe** arrojarse ni dejarse caer.
- Mantenga limpios los componentes ópticos y evite rayarlos. Cuando la superficie óptica esté espolvoreada, límpiela con alcohol puro.
- No utilice el sistema más allá de sus condiciones de trabajo.

1.3 Información de cumplimiento



EC-DECLARATION OF CONFORMITY 2012

Wroclaw, 2012-04-20

Manufacturer

LASERTEX Co LTD.
Radzionkowska 17
51-506 Wroclaw
Poland

Hereby certifies on its sole responsibility that the following product:

Laser Measurement System HPI-3D

which is explicitly referred to by this Declaration meet the

following directives and standard(s):

Directive 2006/95/EC

Electrical Apparatus

Low Voltage Directive

- EN 61010-1:2011

Directive 2006/42/EU

Machinery Directive

- EN 60825-1:2007

Directive 2004/108/EU

Electromagnetic Comatibility:

- EN 61326-1:2006
- EN 61000-4-2:2011
- EN 61000-4-6:2007
- EN 61000-4-8:2010
- EN 61000-4-11:2007
- EN 55011:2007
- EN 55022:2011

Documentation evidencing conformity with the requirements of the Directives is kept available for inspection at the above Manufacture.

President, Janusz Rzepka PhD

1

2. BREVE INICIO

La información presentada en este capítulo es sólo para una rápida explicación.

Puede encontrar información más detallada en los siguientes capítulos.

2.1 Características principales

El **HPI-3D** es un dispositivo para medir por contacto la velocidad del objeto en movimiento.

El dispositivo funciona según el principio del interferómetro láser (consulte el capítulo Principios de operación). Se utiliza el fenómeno de desplazamiento Doppler. La unidad de medida básica es la longitud de onda del láser, es decir, 632 nm.

La funcionalidad del instrumento depende del tipo de componentes ópticos utilizados.

El **HPI-3D** se puede utilizar como dispositivo independiente o con un PC y el software integrado "HPI Software".

2.2 Cómo funciona

El **HPI-3D** mide el desplazamiento del elemento móvil en relación con el elemento de referencia, como se muestra en la figura 2.1. ¡Es importante notar que se detecta el movimiento relativo y no la posición absoluta de ninguno de los elementos!

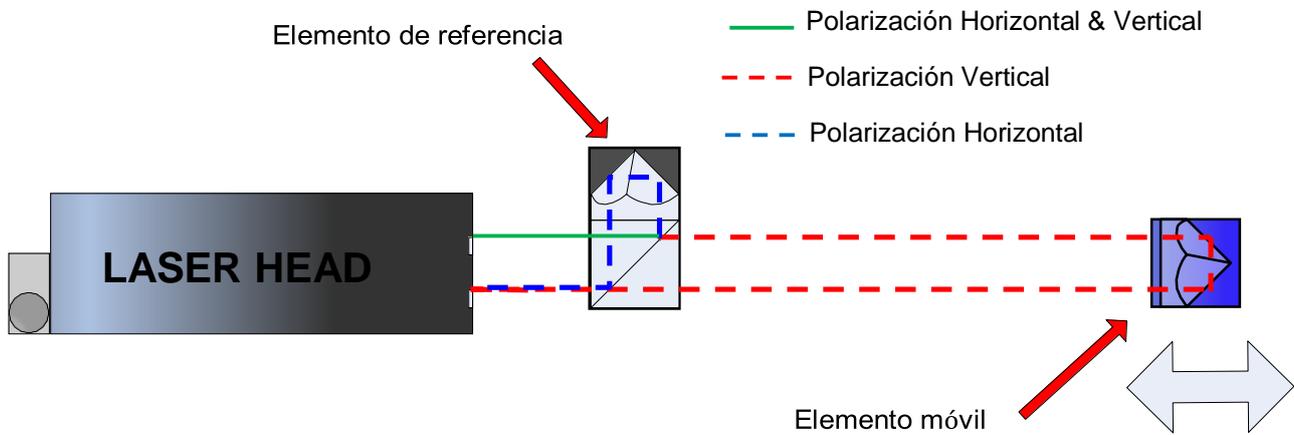


FIG. 2.1. ILUSTRACIÓN DEL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO - ÓPTICA LINEAL

a. Óptica lineal

A la óptica lineal pertenecen el interferómetro lineal **IL1** y el retrorreflector lineal **RL1**.

El funcionamiento de HPI-3D con la óptica lineal utilizada se muestra en la figura 2.1. El láser emite el rayo láser que consta de dos polarizaciones: horizontal (H) y vertical (V). El elemento de referencia (IL1) divide el haz en dos partes. El rayo polarizado H se refleja de nuevo al láser y el rayo polarizado V se dirige hacia la ruta de medición. La frecuencia del haz V cambia de acuerdo con el efecto Doppler cuando el elemento en movimiento está en movimiento. La óptica lineal se utiliza principalmente para medir:

- Movimiento
- Velocidad
- Aceleración
- Vibración
- Rectitud con el método 3D.
- Perpendicularidad con el método 3D (elemento RE3D requerido)
- Paralelismo con el método 3D (elemento RE3D requerido)

b. Óptica angular

A la óptica angular pertenecen el interferómetro angular **IK1** y el retroreflector angular **RK1**.

El funcionamiento del HPI-3D con la óptica angular utilizada se muestra en la figura 2.2. El láser emite un rayo que consta de dos polarizaciones: horizontal (H) y vertical (V). El IK1 divide el haz en dos partes. Ambos haces se dirigen hacia la trayectoria de medición, pero se desplazan en paralelo 50,8 mm. La frecuencia de ambos haces cambia de acuerdo con el efecto Doppler, cuando el elemento RK1 está en movimiento.

El cambio de frecuencia de ambos haces es el mismo cuando RK1 e IK1 se desplazan linealmente. En este caso, el cabezal láser no detecta ninguna señal medida.



El cabezal láser con óptica angular es insensible a los movimientos lineales.

El cabezal detecta movimiento sólo cuando el IK1 y el RK1 se giran uno contra el otro. En este caso, el cambio de frecuencia del haz H es diferente al cambio de frecuencia del haz V.

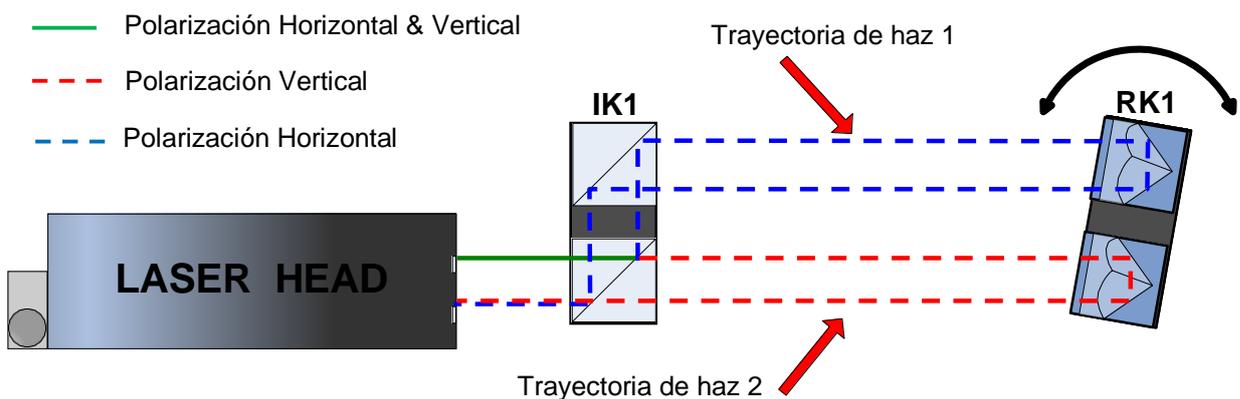


FIG.2.2. ILUSTRACIÓN DEL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO - ÓPTICA ANGULAR

La óptica angular se utiliza principalmente para medir:

- Pequeños ángulos
- Rectitud con el método angular
- Planitud
- Pitch (Cabeceo)
- Yaw(Guiñada)

c. Óptica de Wollaston

A la óptica angular pertenecen Wollaston Prism **WP2** y Wollaston Retroreflector **WRP2**.

El funcionamiento del HPI-3D con la óptica Wollaston utilizada se muestra en la figura 2.3. El cabezal emite el rayo láser que consta de dos polarizaciones: horizontal (H) y vertical (V). El WP2 divide el haz en dos partes. Ambos haces se dirigen a la trayectoria de medición. Hay un cierto ángulo entre los haces. La frecuencia de ambos haces cambia de acuerdo con el efecto Doppler, cuando el elemento WP2 está en movimiento.

El cambio de frecuencia de ambos haces es el mismo cuando WP2 y WRP2 se desplazan linealmente. En este caso, el cabezal láser no detecta ninguna señal medida.



El cabezal láser con óptica Wollaston es insensible a los movimientos lineales.

El láser detecta movimiento solo cuando WP2 se mueve perpendicular al rayo del láser. En este caso, el cambio de frecuencia del haz H es diferente del cambio de frecuencia del haz V, porque las longitudes de las trayectorias del haz 1 y 2 son diferentes; como muestra la figura 2.3.

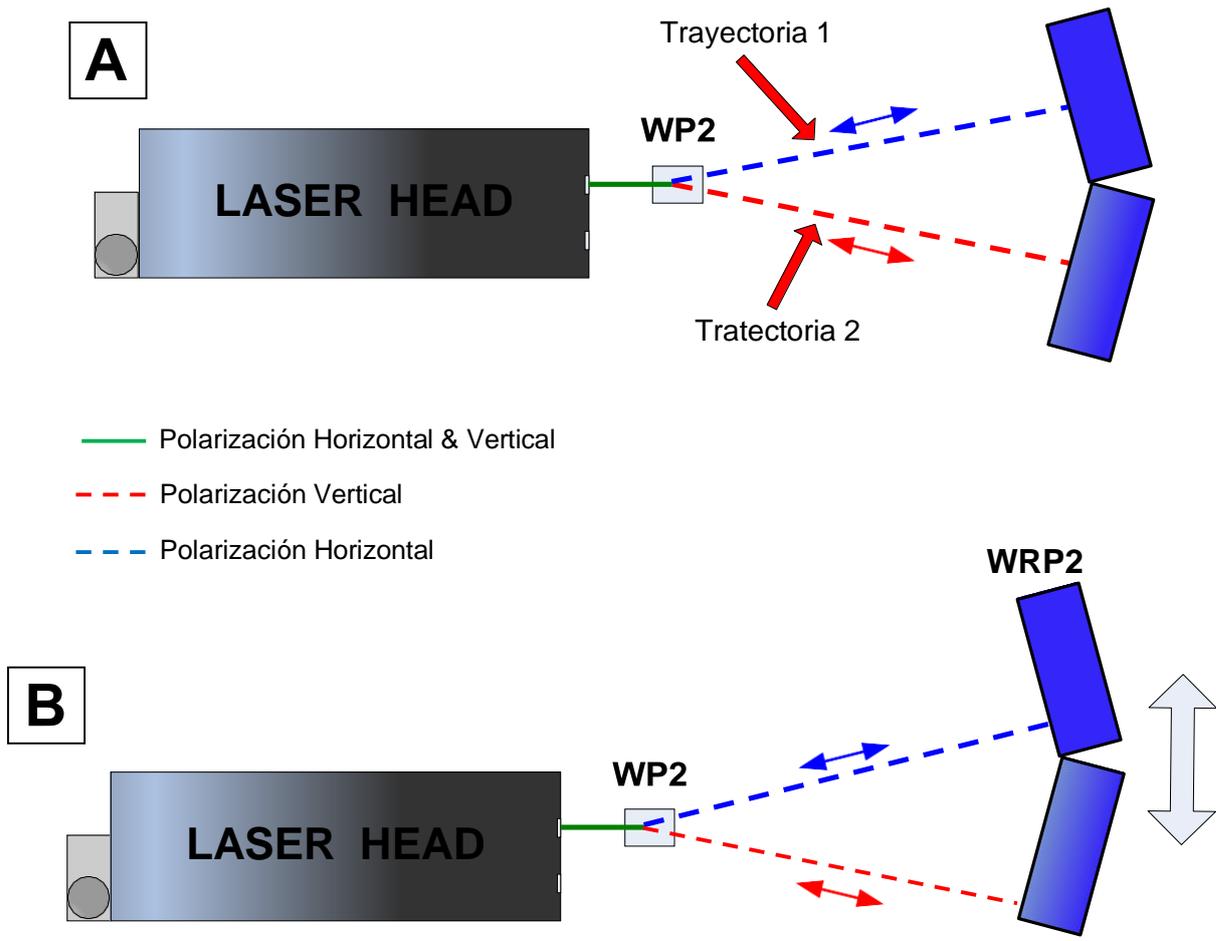
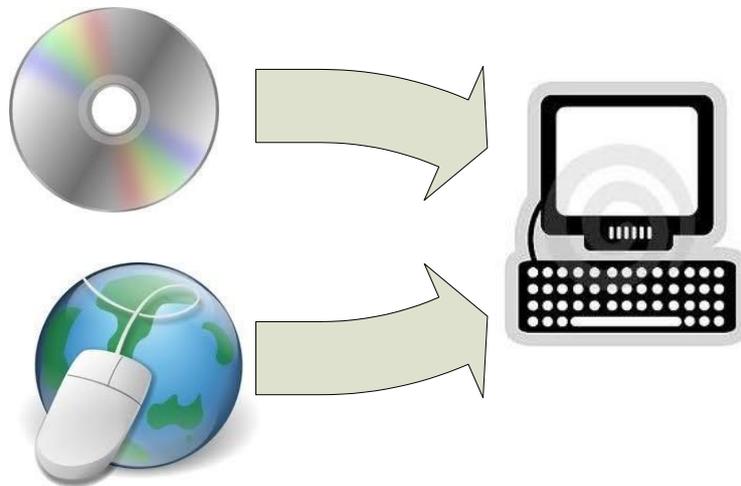


FIG.2.3. ILUSTRACIÓN DEL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO - WOLLASTON OPTICS. LOS HACES QUE REGRESAN AL LÁSER ESTÁN EN EL PLANO DEL DIBUJO.

La óptica de Wollaston se utiliza principalmente para medir:

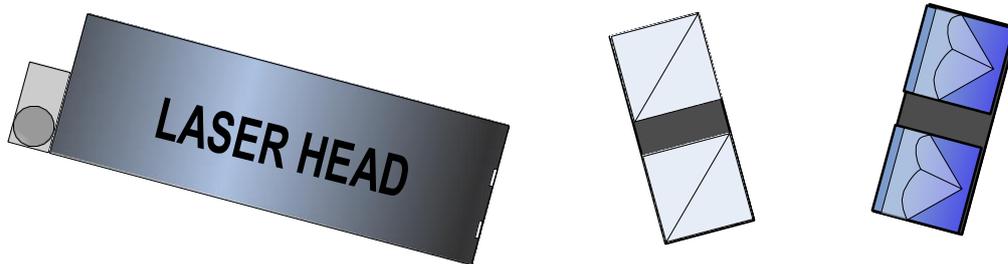
- Rectitud con el método de Wollaston
- Perpendicularidad entre ejes (Elemento REW requerido)
- Paralelismo entre ejes (Elemento REW requerido)

2.3 Cómo iniciar

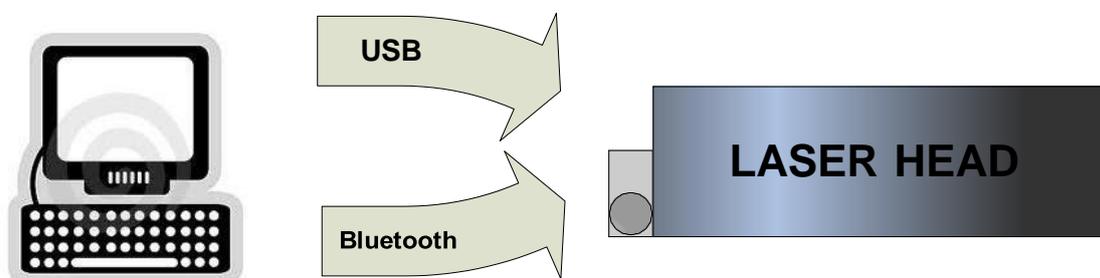


2

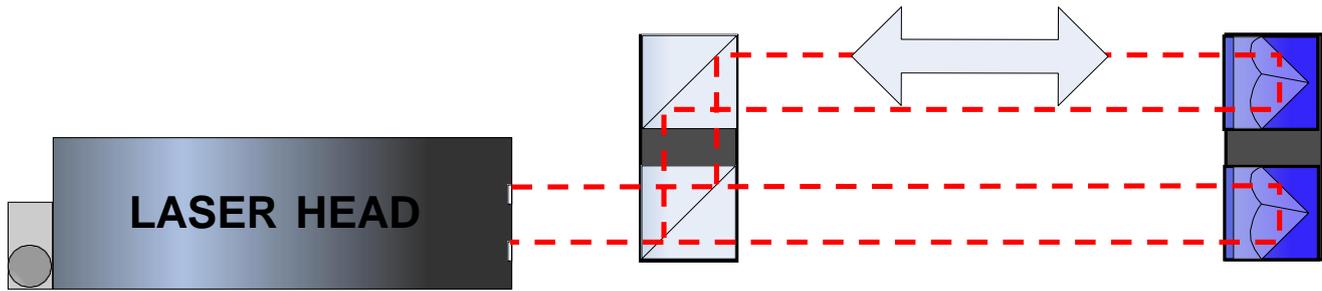
1. Instale el software de HPI mediante CD o desde www.lasertex.eu



2. Monte el cabezal laser y los elementos ópticos en la máquina medida. Conecte la fuente de alimentación al cabezal laser



3. Inicie del software de HPI y conecte el cabezal al PC mediante USB o Bluetooth



4. Alinear la trayectoria óptica

The screenshot shows the "Lasertex" software interface. On the left is a main menu with options: "Display", "Footring", "Straightness", "Angular positioning", "Zero", "Mirrors", "Dynamic", "Configuration", and "Exit". On the right, two windows are shown. The top window is a graph titled "Task no. 1" showing a plot of "Height [mm]" versus "Path length [mm]". The plot shows a noisy signal with a red line and a blue line. Below the graph is a table of data points. The bottom window shows a measurement sequence diagram with numbered steps (1, 2, ..., n-1, n) and a "T_{stop} = min. 1 s" indicator.

Path length [mm]	Height [mm]
0	24.0
100	24.0
200	24.0
300	25.0
400	25.5
500	22.0
600	24.0
700	22.0
800	21.4
900	20.4
1000	21.9
1100	21.0
1200	20.0
1300	20.0
1400	22.0
1500	20.0
1600	20.0
1700	20.0
1800	21.0
1900	20.0
2000	21.0
2100	21.0
2200	20.0
2300	21.0
2400	21.0
2500	22.0
2600	22.0
2700	22.0
2800	22.0
2900	22.0
3000	22.0

5. Comenzar mediciones

3. PREPARACIONES

El interferómetro láser HPI-3D requiere la instalación del software "Software HPI" en un disco duro de PC. Los requisitos de hardware son:

- Windows XP/Vista/7/8 system, CR-ROM
- Procesador Pentium, tarjeta gráfica SVGA de 1 GHz o superior
- USB 2.0 o Bluetooth 2.0

3.1 Instalación del Software

El paquete de instalación del software se encuentra en la memoria USB que se incluye con el sistema de medición. La aplicación HPI_Software_Install se puede iniciar desde la memoria USB. El proceso de instalación debería comenzar automáticamente.



FIG. 3.1. ICONO DE LA APLICACIÓN DE CONFIGURACIÓN.

Deben instalarse los siguientes componentes para que el sistema HPI-3D funcione correctamente:

- Aplicación *HPI Software*,
- Directorio de idiomas *Languages*,
- FTDI Driver para USB,
- Carpeta de documentos con el manual y otros documentos (depende de la versión del sistema),

– Base de datos BDE (Entorno de base de datos Borland Data Base)

Durante el proceso de instalación, el usuario debe configurar los parámetros necesarios. En la figura 3.2 se muestra una primera ventana que aparece durante la instalación. Permite elegir el idioma de instalación.

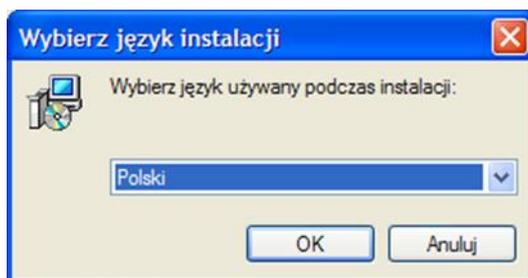


FIG.3.2. VENTANA DE CONFIGURACIÓN DEL IDIOMA DE INSTALACIÓN

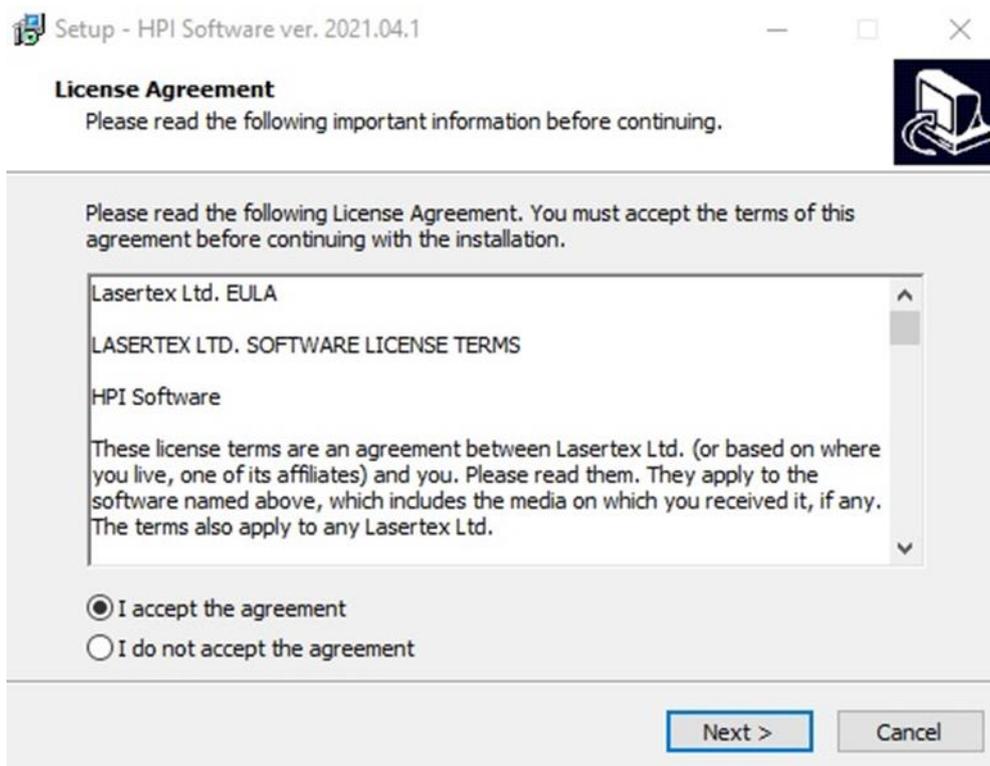


FIG.3.3. VENTANA DE ACUERDO DE LICENCIA.

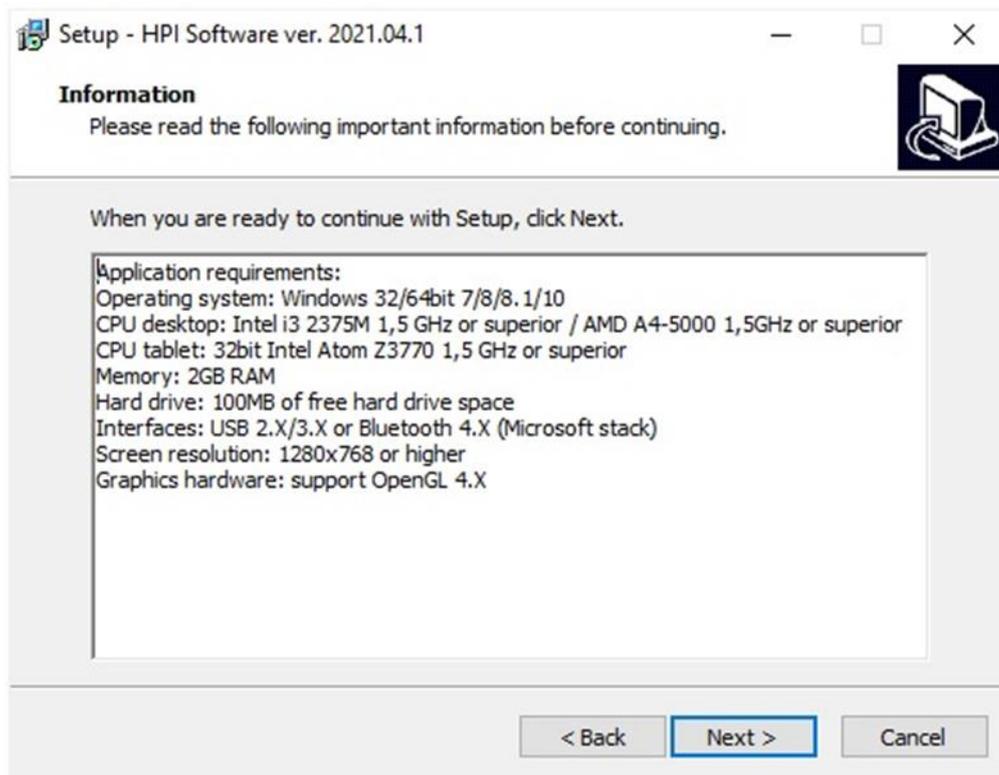


FIG.3.4. VENTANA DE INFORMACIÓN

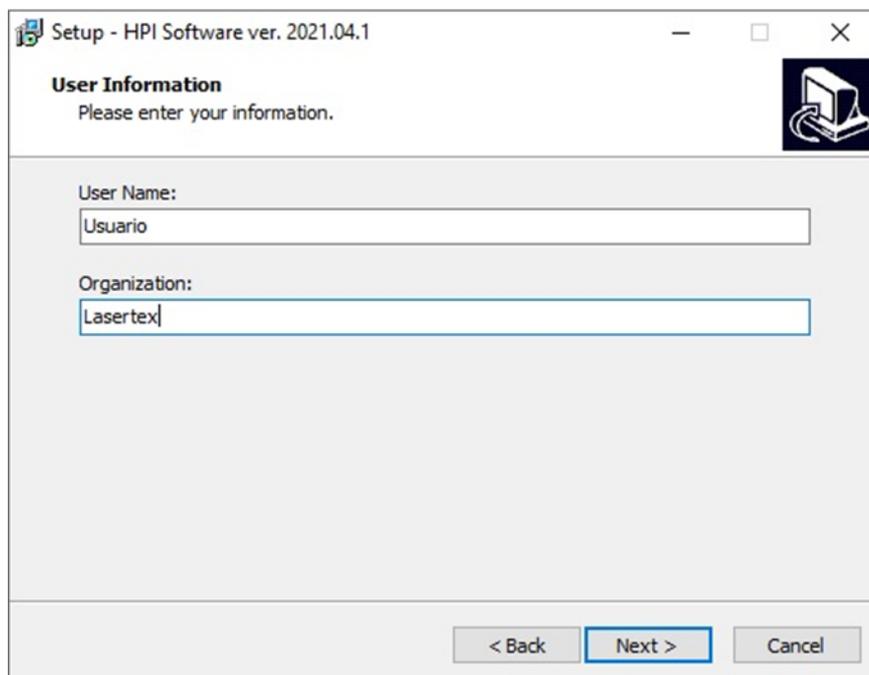


FIG.3.5. VENTANA DE INFORMACIÓN DE USUARIO

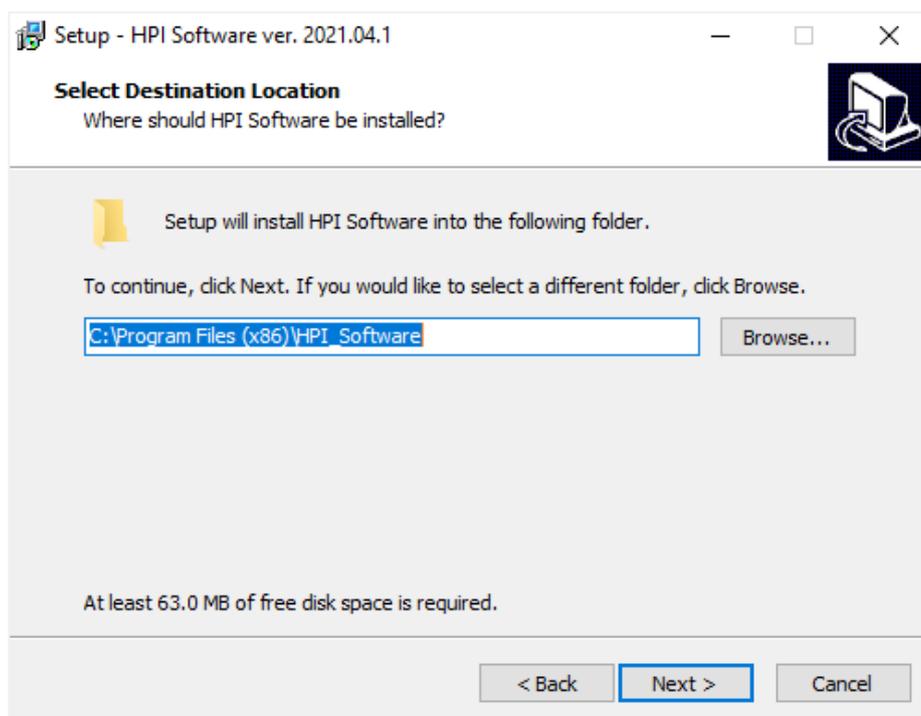


FIG.3.6. VENTANA DE UBICACIÓN DE DESTINO

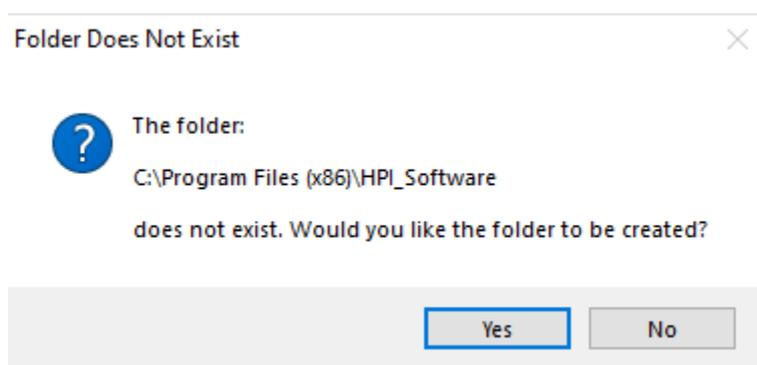


FIG.3.7. VENTANA QUE APARECE CUANDO LA CARPETA NO EXISTE

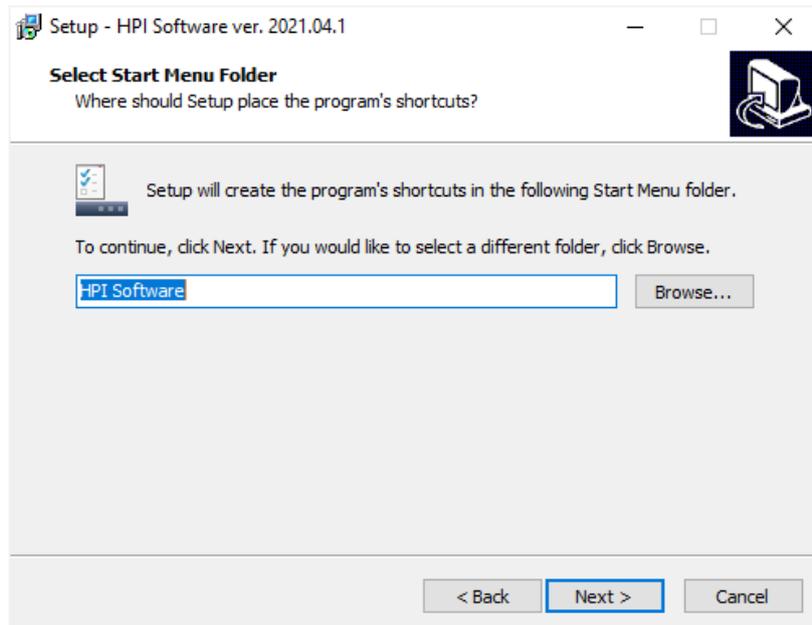


FIG.3.8. VENTANA PARA SELECCIONAR LA CARPETA DEL MENÚ DE INICIO

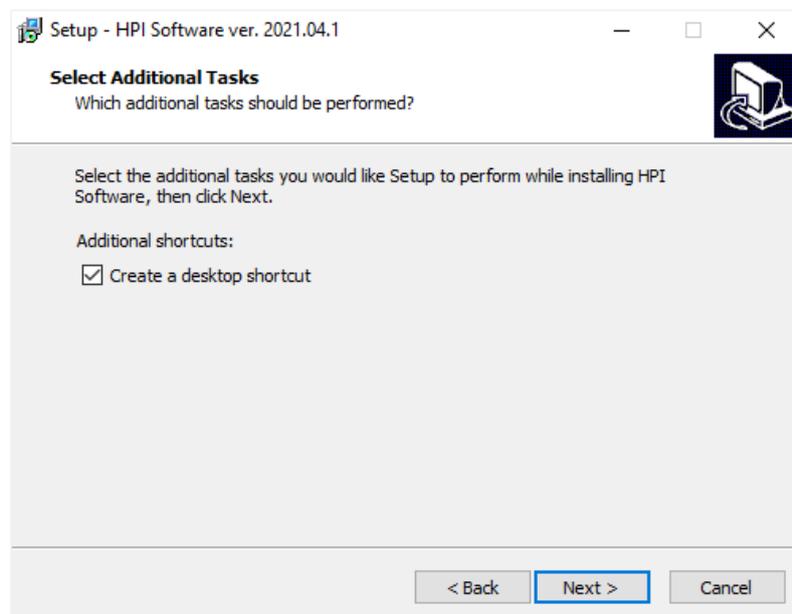


FIG.3.9. VENTANA PARA CREAR UN ACCESO DIRECTO DE ESCRITORIO

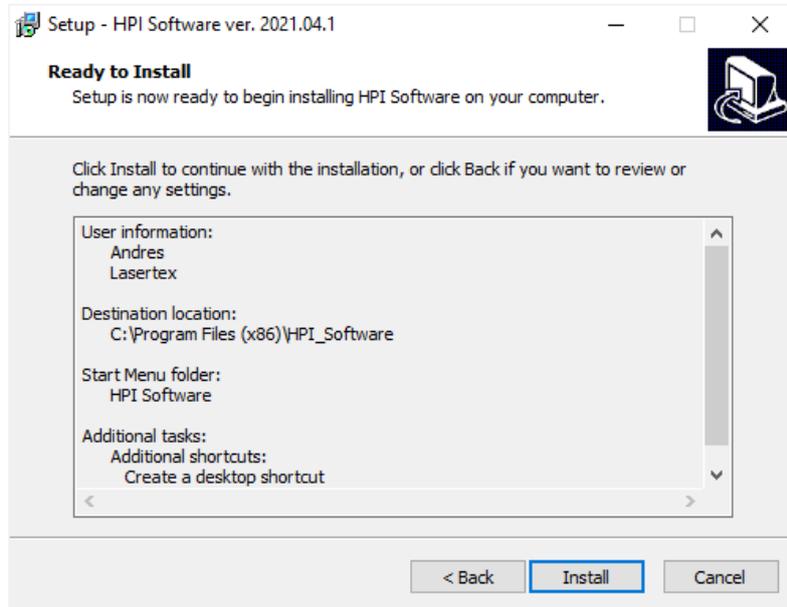


FIG.3.10. VENTANA PARA INICIAR LA INSTALACIÓN.

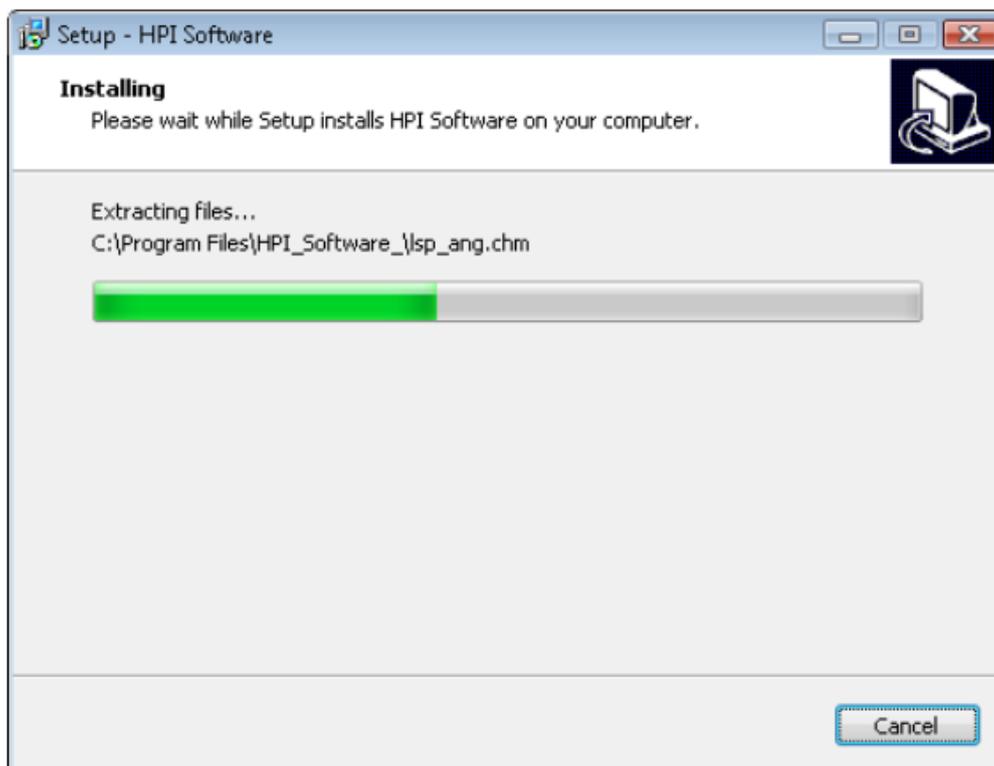


FIG.3.11. VENTANA DE INSTALACIÓN.

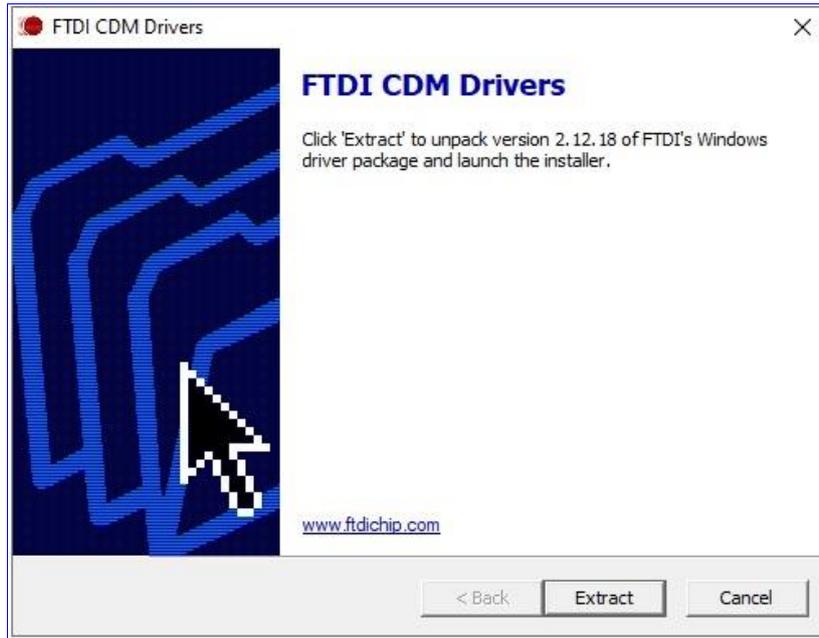


FIG.3.12. INSTALACIÓN DEL CONTROLADOR FTDI.

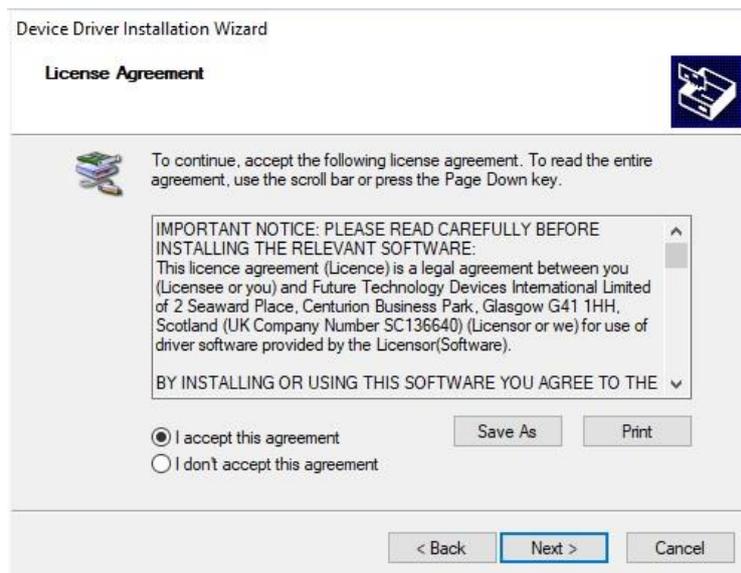


FIG.3.13. VENTANA DE ACUERDO DE LICENCIA DEL CONTROLADOR

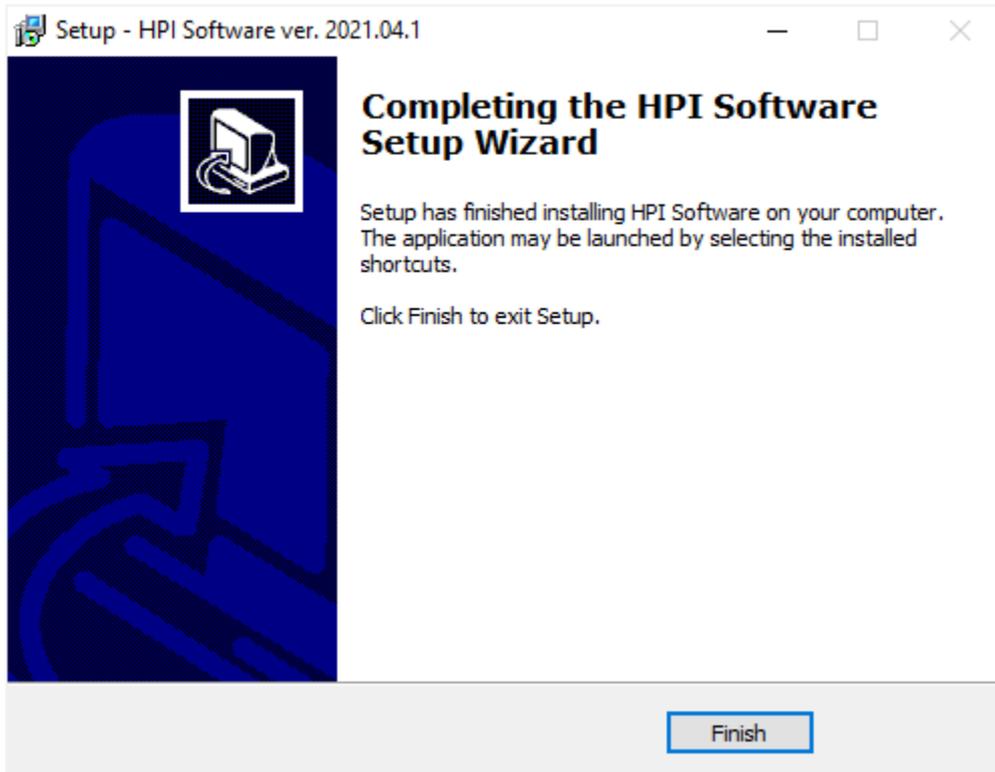


FIG.3.14. VENTANA DE INSTALACIÓN COMPLETADA

En la mayoría de casos, la instalación es semiautomática y sólo requiere confirmación mediante la tecla Intro.

Cuando el software se ha instalado en el PC, también deben instalarse los controladores. Para completar este proceso, el sistema debe estar conectado mediante un cable USB a su PC. Windows realiza automáticamente la instalación del controlador.

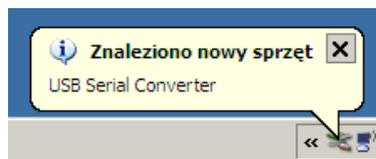


FIG.3.15. MENSAJE QUE APARECE CUANDO SE ENCUENTRA EL NUEVO DISPOSITIVO USB.

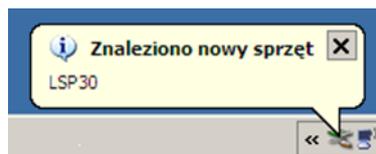


FIG.3.16. MENSAJE QUE APARECE CUANDO SE INSTALA EL CONTROLADOR PARA EL DISPOSITIVO HPI-3D.

La aplicación de software HPI se puede iniciar desde la carpeta de software HPI ubicada en la pestaña Programas en el menú Inicio de Windows (asumiendo que la configuración de instalación no ha cambiado). La aplicación también se puede iniciar desde el escritorio, si el acceso directo se crea durante la instalación.



Fig.3.17. ICONO DE LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE HPI.

Para desinstalar la aplicación de software HPI, elija Desinstalar software HPI en el menú Inicio.



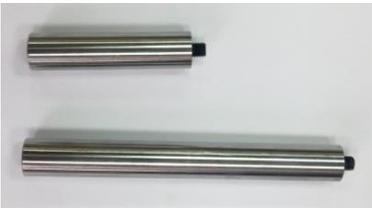
Fig.3.18. ICONO DE LA APLICACIÓN DE DESINSTALACIÓN DEL SOFTWARE HPI

3.2 Elementos del Sistema láser

El número de elementos del sistema es configurable y su configuración está relacionada con la aplicación requerida. Los siguientes elementos están incluidos en el conjunto estándar (para mediciones lineales)

1.	1 pcs	Cabezal láser	
----	----------	---------------	--

2.	1 pcs	Fuente de alimentación	
3.	1 pcs	Trípode	
4.	1 pcs	Retro-reflector lineal RL1	
5.	1 pcs	Interferómetro lineal IL1	
6.	3 pcs	Sensor de temperatura base	
7.	1 pcs	Sensor de temperatura del aire	

8.	1 pcs	Disparador inalámbrico	
9.	2 pcs	Bloque de sujeción HB1	
10.	2 pcs	Varilla inoxidable SR1	
11.	2 pcs	Brazo de sujeción magnético UM2	
12.	1 pcs	Cable USB Tipo B	

En la figura 3.19 se muestra el maletín para el transporte y almacenamiento del sistema.

3



FIG.3.19. MALETÍN PARA EL TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DEL SISTEMA.

Los elementos adicionales para mediciones con óptica **angular** son:

- 1 x Interferómetro angular **IK1**,
- 1 x Retro-reflector angular **RK1**,
- 2 x Espejo de dirección de haz **ZK1**,
- 1 x Mesa rotatoria **RE1**.

Los elementos adicionales para mediciones de **rectitud** son:

- 1 x Prisma de Wollaston **WP2**,
- 1 x Retroprisma de Wollaston **WRP2**.

Los elementos adicionales para mediciones de **perpendicularidad** son:

- 1 x Etalon de ángulo recto para mediciones 3D **RE3D**,
- 1 x Etalon de ángulo recto para mediciones de Wollaston **REW**.

3.3 Configuración del interferómetro en las mediciones

El interferómetro láser HPI-3D funciona por medio de una fuente de alimentación autónoma de 24 V CC / 5 A. La comunicación con un PC se realiza mediante interfaz USB o Bluetooth. La conexión USB es más rápida, por lo que ofrece más posibilidades en algunas mediciones (es decir,

vibración o dinámica).

Antes de comenzar las mediciones, el *cabezal láser* (1) debe colocarse en el soporte del *trípode* (3) y conectarse a la fuente de alimentación en la parte posterior del cabezal láser. El cabezal láser también se puede colocar directamente en la máquina porque está equipado con base magnética.

Si se utiliza la conexión USB, entonces el cable USB (12) debe conectarse en el panel posterior del cabezal láser (fig. 3.20). El segundo extremo del cable debe conectarse a la toma USB de un PC. Para la conexión Bluetooth sólo es necesaria una conexión eléctrica.

A través del conector de extensión, es posible controlar muchos periféricos directamente desde el cabezal láser. Esto ofrece enormes posibilidades de personalización del uso del interferómetro láser, p. Ej. en la emulación de escalas de vidrio, accionando motores paso a paso, medidas dinámicas, etc. La distribución de pines del conector estándar se describe en “Datos técnicos” al final de este manual.



FIG.3.20. CONEXIONES DEL HPI-3D.

Los sensores de temperatura base (6) y ambientales (7) se conectan al cabezal láser de forma inalámbrica. Los sensores no requieren mantenimiento, ni encendido / apagado ni carga. Cuando el cabezal láser no está encendido, permanecen en modo apagado. Los sensores sólo pueden "despertarse" y comenzar a medir cuando el cabezal láser es alimentado por la fuente de alimentación.

Los sensores se alimentan con una batería de litio de 1 / 2AA 3.6V (número 14250). Se puede reemplazar cuando el monitor de carga de la batería (ver más abajo en este capítulo) muestra en la pantalla de visualización que está agotado, después de quitar la tapa del sensor. La vida útil de la batería en el modo de apagado solo es de más de 30000 horas. La vida útil combinada de la batería del sensor es de 10000 horas. La luz estroboscópica inalámbrica (disparador inalámbrico) se utiliza para capturar puntos manualmente durante las mediciones (consulte el capítulo correspondiente). El botón de

encendido se utiliza para encender o apagar el láser y para señalar el estado interno del láser. El significado de la señalización del botón de encendido se describe en la tabla 3.1.

Estado del botón de encendido	Descripción del estado
 <p><i>Rojo</i></p>	<p>Cabezal láser encendido correctamente. Laser no está en funcionamiento.</p>
 <p><i>Rojo – parpadeo rápido</i></p>	<p>Cabezal encendido correctamente, pero el firmware de la CPU principal está dañado, se necesita programación de firmware.</p>
 <p><i>Naranja / Verde Parpadeando lentamente</i></p>	<p>Láser encendido; Fase de estabilización 1</p>
 <p><i>Naranja / Verde Parpadeando rápidamente</i></p>	<p>Láser encendido; Fase de estabilización 2</p>
 <p><i>Verde - parpadeo</i></p>	<p>Láser encendido; Fase de estabilización 3</p>
 <p><i>Naranja</i></p>	<p>El láser se estabiliza. Trayectoria del haz no alineada.</p>
 <p><i>Verde</i></p>	<p>El láser se estabiliza. Trayectoria del haz alineada. ¡Sistema listo para mediciones!</p>

TAB.3.1. ESTADOS LED DEL BOTÓN DE ENCENDIDO

3.4 Encendido del sistema

a. Iniciar hardware

El HPI-3D tiene sólo un interruptor ligero en la parte superior del cabezal láser. Es posible iniciar el láser manteniendo presionado el botón de encendido durante 3 segundos (ver figura 3.20) o desde el software HPI haciendo clic en la barra inferior de la pantalla en el texto “Láser” (ver figura 3.21).

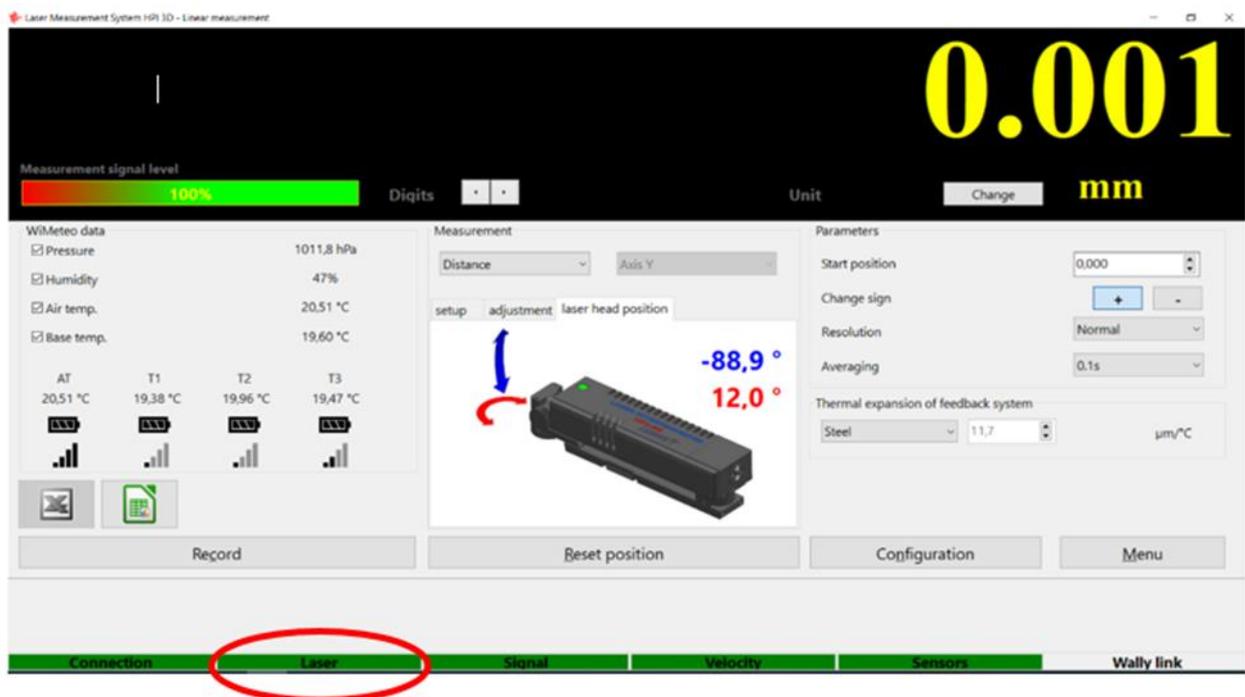


FIG.3.21. BARRA DE ESTADOS DEL SOFTWARE HPI-3D.

b. Iniciar software

Cuando se inicia el software, aparece una pantalla de presentación (figura 3.22). Al presionar F5 en el teclado del PC o el botón marcado como Simulador, el software cambia al modo de simulación: la conexión a un dispositivo HPI-3D se emula incluso si hay un dispositivo real conectado al PC.

En la parte inferior de la pantalla de presentación se muestran todos los dispositivos HPI-3D actualmente conectados al PC, ya sea por Bluetooth

o por interfaz USB. Los dispositivos emparejados con el PC a través de Bluetooth son visibles en azul. Los dispositivos conectados a través de USB se muestran en rojo.

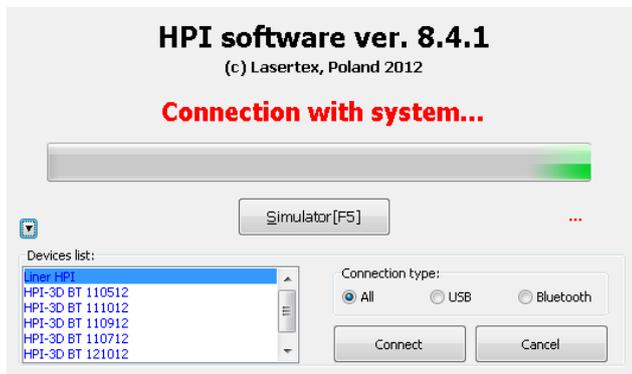


FIG.3.22. PANTALLA DE BIENVENIDA

3



FIG.3.23. MENÚ PRINCIPAL

Las pruebas de conexión se muestran en la figura 3.21. En la parte inferior izquierda se muestra la interfaz a través de la cual el software está tratando de obtener una conexión (indicada con un círculo rojo en la figura 3.21).

En la instalación posterior del software, por defecto, las primeras pruebas se realizan a través de la interfaz USB. Cuando se realiza una conexión exitosa a través de otras interfaces, la interfaz "más exitosa" se toma como la primera opción en las siguientes ejecuciones.

Después de la pantalla de conexión, aparece el **Menú principal** como se muestra en la figura 3.23. Hay dos filas de botones. El botón de **Display** abre la ventana con el control básico del funcionamiento del láser. Se describe en detalle más adelante en este capítulo. El botón Configuration abre la ventana de configuración. Al presionar el botón **Exit** se cierra la aplicación.

Otras opciones abren pantallas de medición. Todas las opciones se describen en detalle en los siguientes capítulos. Debido a la abundancia de tipos de medición que ofrece el HPI-3D, algunas de las opciones no son visibles y se pueden ver usando los botones con flechas azules en la segunda fila.

La solución de problemas de conexión se describe en el capítulo “Problemas Generales”.

3.5 Obtención de información básica del sistema

Cuando se inicia el software y el sistema está conectado, se debe elegir la opción de visualización general **Display** en el **Menú principal**. Aparece la ventana que se muestra en la figura 3.24. Si el haz de salida del láser se redirige correctamente al cabezal láser (por ejemplo, con el uso del retrorreflector RL1) y el láser mantiene la **estabilización** (la barra de estado del láser es verde), la intensidad del haz (un indicador verde en la pantalla) muestra 100 % del nivel de la señal. Mientras se calienta el láser para llegar al estado de estabilización, la intensidad del haz aparece y desaparece. La velocidad de los cambios está relacionada con la temperatura del láser. Durante el calentamiento, el sistema está listo para la alineación de la trayectoria óptica (ver capítulo 4).

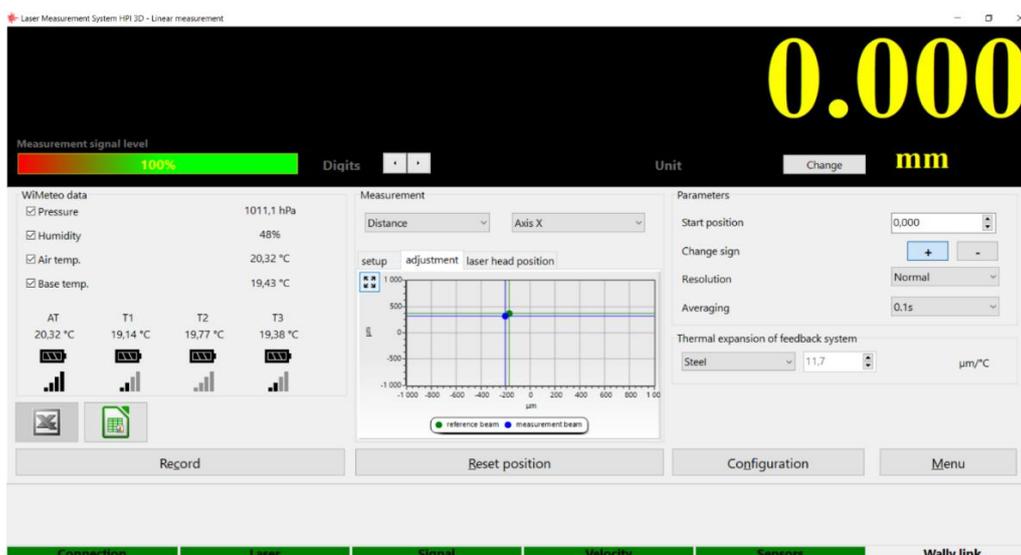


FIG.3.24. VENTANA DE VISUALIZACIÓN

En la pantalla de Display hay una barra de estado y cuatro paneles:

- Panel (figura 3.25) donde se presenta el resultado digital de la medida y el nivel de la señal. También hay botones ubicados para cambiar las unidades y la cantidad de dígitos mostrados en el resultado.



FIG.3.25. PANEL CON VISUALIZACIÓN PRINCIPAL

- El panel del entorno **WiMeteo** (figura 3.26), donde se muestran los datos obtenidos de la Unidad de compensación medioambiental (ECU). En la pantalla se presentan: temperatura, presión y humedad atmosférica (Presión, Humedad y Temperatura del aire) y la temperatura de la base que se mide por tres sensores de temperatura base y se promedia (Temperatura promedio, T1, T2 y T3). Para cada sensor se presentan el voltaje de la batería y la fuerza de la señal. El usuario también puede controlar los datos de la Unidad de Compensación Ambiental. Es posible apagar los datos provenientes de la ECU e insertar manualmente los parámetros del aire. En la esquina inferior izquierda hay iconos que configuran un enlace a Microsoft Excel u OpenOffice Calc (si está instalado). Este enlace permite registrar la medición en Excel o Calc con cada pulsación del disparador inalámbrico.

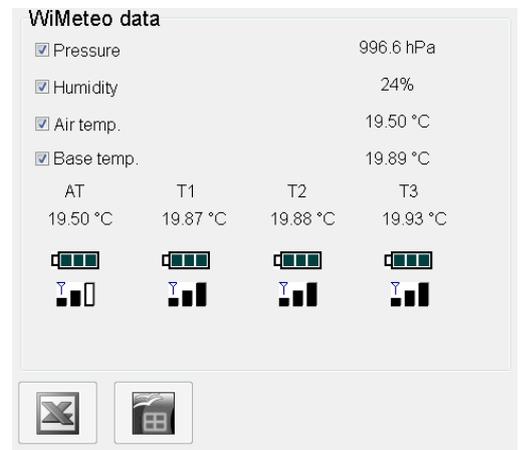


FIG.3.26. PANEL DE ENTORNO

- El panel de medición (figura 3.27) contiene información básica sobre la medición actual. Con la pestaña desplegable de la izquierda, se

cambia el tipo de medición. La pestaña desplegable derecha se utiliza para la selección de eje. Si la casilla de verificación **Adjustment** o **Laser head** no está marcada, se presenta la vista esquemática de la configuración óptica. Refleja el tipo de medición (es decir, distancia, velocidad, ángulo, rectitud) y eje (es decir, X, Y, Z). Las opciones de **Adjustment** y **Laser head** se seleccionan mediante las casillas de verificación ubicadas en el panel. Sin embargo, sólo uno de ellos puede estar activo, porque son mutuamente excluyentes. Ambas opciones son muy útiles en el proceso de alineación de la ruta óptica (consulte el capítulo 4).

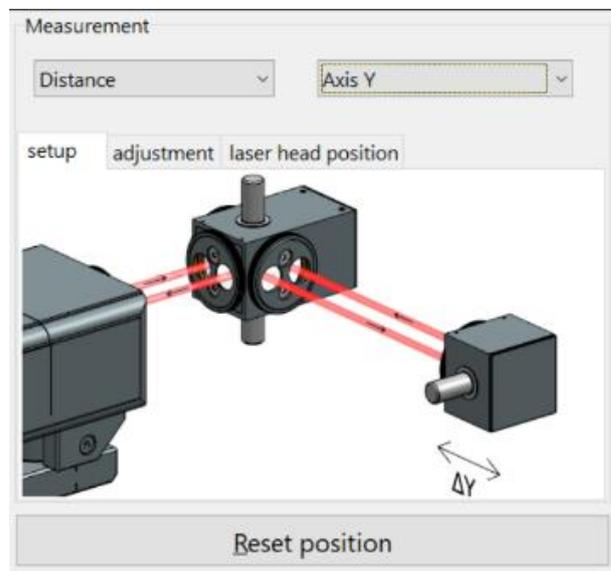


FIG.3.27. PANEL DE MEDICIÓN

- El panel de parámetros **Parameters** (figura 3.28) se utilizan para configurar el sistema de medición. La opción de cambio de signo **Change sign** establece si la variación entre la distancia entre el retroreflector y el interferómetro da un resultado positivo (predeterminado “+”) o negativo en la pantalla. La opción de expansión térmica del sistema de retroalimentación **Thermal expansion of feedback system** se utiliza para seleccionar el material del que está hecho el sistema de medición de retroalimentación de la máquina medida. Establecer el valor adecuado del coeficiente de expansión es muy

importante para obtener la máxima precisión del sistema. Opción **User** permite ingresar cualquier valor del coeficiente de capacidad de expansión térmica. La resolución **Resolution** permite cambiar entre la resolución del sistema **High** (0,1 nm) y **Normal** (1 nm).

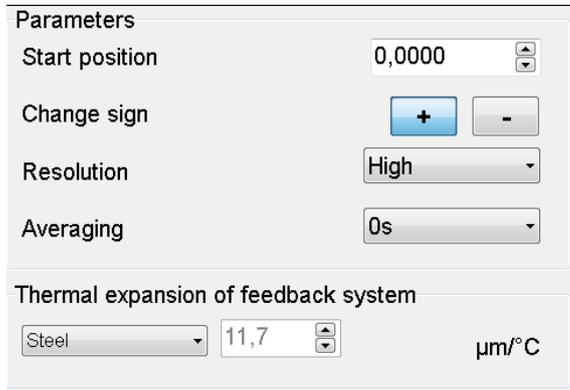


FIG.3.28. PANEL DE PARÁMETROS

La barra de estado (figura 3.21) presenta el estado del cabezal láser y el estado de las mediciones. Hay cuatro campos: Conexión, Láser, Señal y Velocidad. Si el funcionamiento es óptimo, todos deben estar en color verde. En la tabla 3.2 se muestran los posibles estados de los campos.

Campo	Descripción	Acción requerida
	Sin conexión al cabezal láser	Haga clic en el campo para abrir la ventana Configuración. Reinicie la conexión
	Cabezal laser conectado al PC correctamente	No se requiere acción
	Cabezal láser apagado	Haga clic en el campo para encender el láser
	Cabezal láser encendido pero no listo	Espere a que el láser esté listo
	Cabezal láser cerca de una región inestable.	Termine las mediciones y haga clic en el campo para permitir que el cabezal encuentre un nuevo punto estable
	Cabezal láser funciona correctamente	No se requiere acción

	La intensidad del haz es demasiado débil.	Usando el indicador de haz, ajuste los componentes ópticos para optimizar la intensidad de haz, luego haga clic en el campo para restablecer el error
	Intensidad del haz buena	No se requiere acción
	Intensidad del haz buena pero no calibrada	La trayectoria del haz entre los componentes ópticos IL1 y RL1 debe obstruirse durante un tiempo para que el láser pueda calibrar los parámetros del haz
	Velocidad del movimiento registrado demasiado alta	Haga clic en el campo para restablecer el error.
	Velocidad del movimiento registrado en rango	No se requiere acción
	No se detectaron sensores de medición	Al menos 3 minutos después de encender el cabezal láser: - Compruebe si los sensores están lo suficientemente próximos al cabezal láser; - Compruebe/reemplace las baterías de los sensores;
	Al menos un sensor en funcionamiento	No se requiere acción
	Codificador rotatorio no detectado	Compruebe si el codificador rotatorio está encendido
	Codificador rotatorio activo. Sin vínculo con el conjunto giratorio.	Haga doble clic en el campo para que el láser establezca el enlace con el elemento rotativo
	Enlace giratorio activo	No es necesario realizar ninguna acción

TAB.3.2. SITUACIÓN DE CAMPOS DE LA BARRA DE ESTADO

Si las mediciones se realizan con compensación automática de los parámetros atmosféricos y compensación de las temperaturas base, se debe:

- Coloque los sensores de temperatura y humedad del aire THS en la máquina cerca del rayo láser.

- Coloque los sensores de temperatura base a lo largo del eje medido en la base de la máquina.

Las mediciones realizadas sin compensación automática hacen referencia a condiciones normales: temperatura 20 ° C, presión 1013,25 hPa, humedad 50%.

La máquina medida se compensa con la temperatura configurada en el cuadro de edición *Reference temperature*, ubicado en el panel Configuration -> Advanced -> Parametres (ver figura 3.29). De forma predeterminada, la temperatura de referencia se establece en 20 grados C y no debe cambiarse a menos que sea necesario.

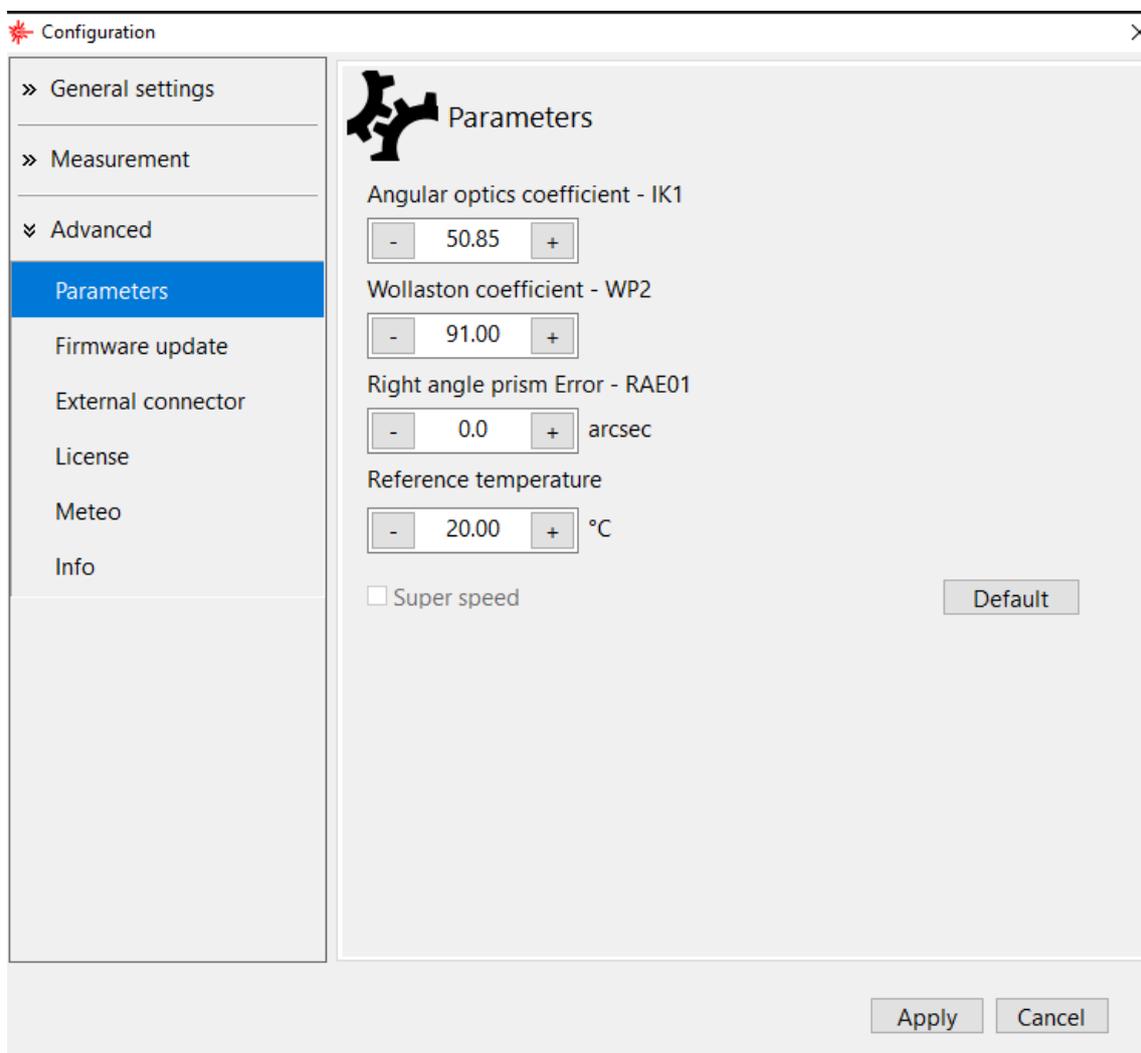


FIG. 3.29. VENTANA DE CONFIGURACIÓN–PANEL METEO

3.6 Modo de grabación

Los cambios a largo plazo de la longitud de los ejes de la máquina bajo cambios de temperatura pueden proporcionar información sobre las

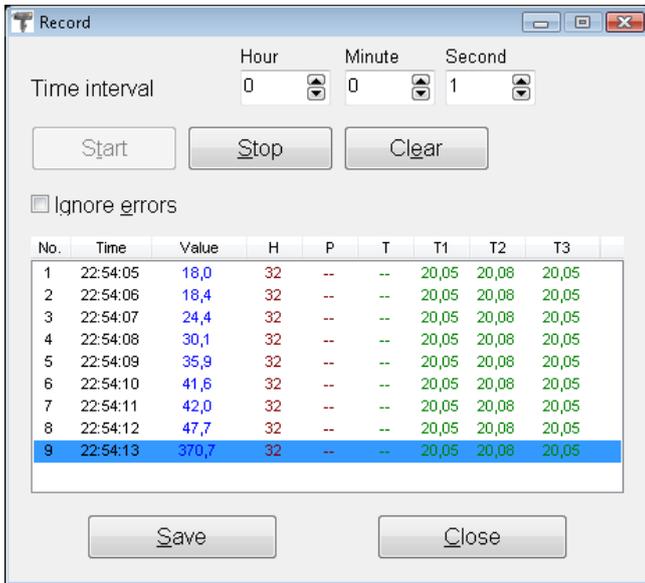


FIG.3.30. VENTANA DEL MODO DE GRABACIÓN

propiedades térmicas de la máquina. Este tipo de medidas llamado "Recording Mode" se puede elegir presionando el botón RECORD en la pantalla de visualización. Esto cambia el sistema al modo de registrador de datos. El intervalo de tiempo de los registros se puede programar desde el PC estableciendo un valor requerido.

Al presionar "End Recording" finaliza la grabación de datos. Los resultados se pueden guardar en la opción de "Save to file". En la Fig. 3.30 se presenta el ejemplo de Registro de datos.

4. ALINEACIÓN



La alineación de la trayectoria óptica es el paso más **difícil** y **laborioso** de todo el proceso de medición. ¡Preste mucha **atención** al leer este capítulo!

4.1 Introducción

La alineación del rayo es un proceso en el que el usuario, con el uso de ciertas disposiciones mecánicas, hace que la dirección del rayo láser sea paralela a la dirección del movimiento en un eje medido. Si el rayo no está correctamente alineado, puede producirse un efecto como el que se muestra en la Fig.4.1, es decir, la posición del rayo que regresa al detector en el cabezal láser desde el retroreflector en movimiento puede variar con la posición del retroreflector, lo que da como resultado un error de coseno (ver capítulo 20) y / o desalineación de la trayectoria óptica (haz sin intensidad).

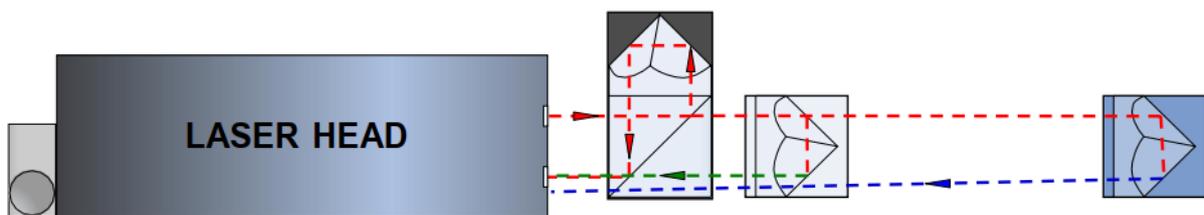


FIG.4.1. ILUSTRACIÓN DE DESALINEACIÓN DE HACES

La alineación de la configuración óptica debe realizarse en la opción **Display**. Se puede realizar durante el calentamiento del cabezal láser. La verificación final debe realizarse cuando el sistema esté listo para funcionar.

4.2 Herramienta electrónica de alineación

El proceso de alineación de la trayectoria del haz suele llevar mucho tiempo, por lo que, para simplificarlo y acelerarlo, el HPI-3D proporciona, junto con elementos mecánicos estándar como diafragmas, tres herramientas electrónicas únicas.

La primera es una función que muestra la orientación del cabezal láser en el espacio: **Display / Laser head**. Esta opción es una herramienta útil para la alineación de la posición del cabezal láser en el espacio.

Otra herramienta útil y exclusiva que apoya la alineación es la *herramienta electrónica de alineación del haz* activada en la opción **Display / Adjustment**. Con esta herramienta, la posición del rayo que regresa al láser se puede controlar con mucha precisión.

La tercera herramienta es el *indicador de haz electrónico* que muestra si el haz que regresa al láser es lo suficientemente fuerte como para tomar las medidas adecuadas. Para indicar la intensidad del rayo, se puede hacer uso del botón de encendido físico en el cabezal láser. Cuando el láser está listo para funcionar, este botón deja de parpadear, pero se vuelve naranja o verde. El color verde significa el valor adecuado del nivel del haz.

4.3 Reglas básicas para la alineación del haz

El sistema de HPI-3D se apoya en tres tipos principales de componentes ópticos: óptica **lineal**, óptica **angular** y óptica **Wollaston**. Aunque los elementos parecen diferentes, la alineación de la trayectoria es similar en todos los casos. En los puntos siguientes, el proceso se describe con más detalle, aclarando las diferencias para los diferentes tipos de ópticas.

En la Figura 4.2 se muestra un diagrama de bloques de las reglas básicas de alineación de la trayectoria del haz. Cada punto se trata en detalle en los párrafos siguientes.

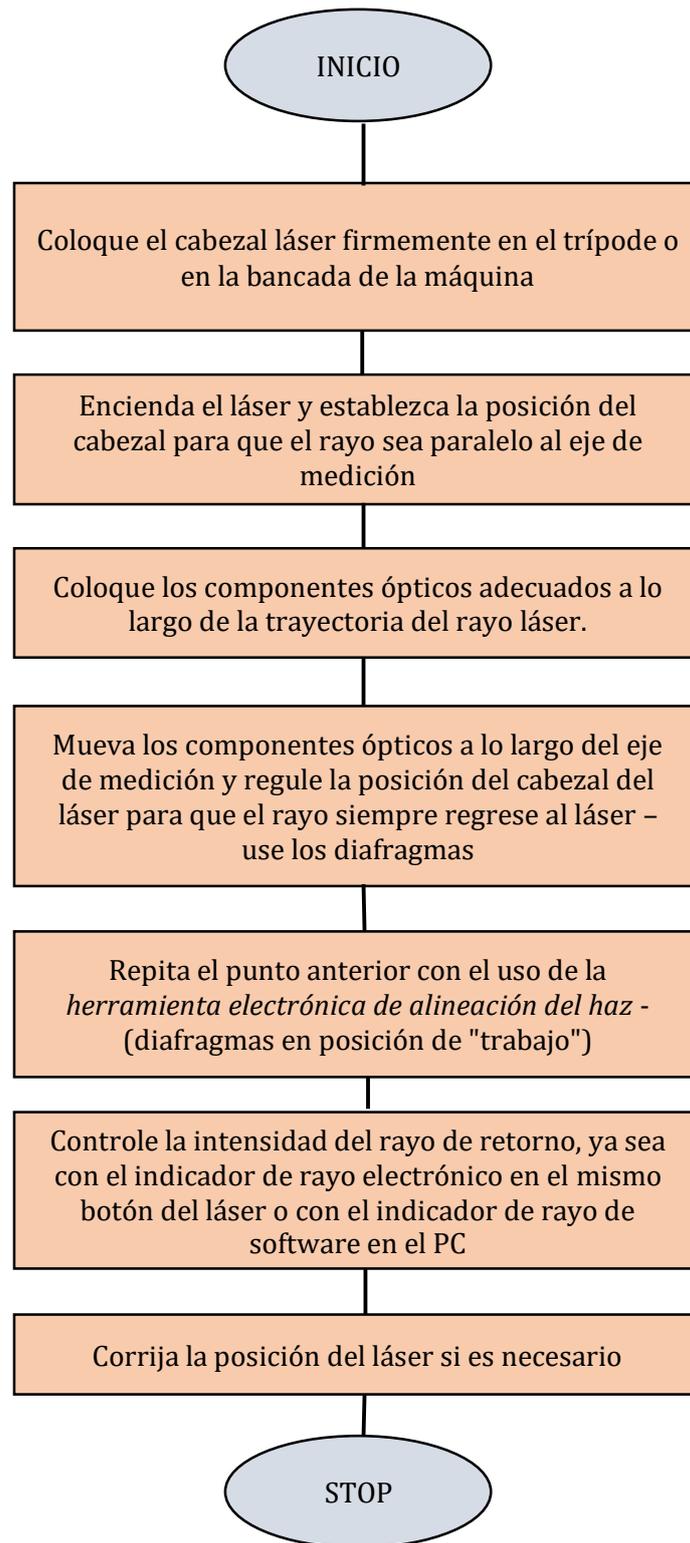


FIG.4.2. REGLAS BÁSICAS DE ALINEACIÓN

4.4 Preparaciones

El cabezal láser debe fijarse firmemente en el trípode o colocarse directamente sobre la bancada de la máquina. El trípode no debe contactar con la máquina, ya que las vibraciones pueden causar resultados erróneos en el cabezal láser y la trayectoria óptica. Importante no mover las patas del trípode durante las mediciones, el proceso de alineación tendría que repetirse entonces.

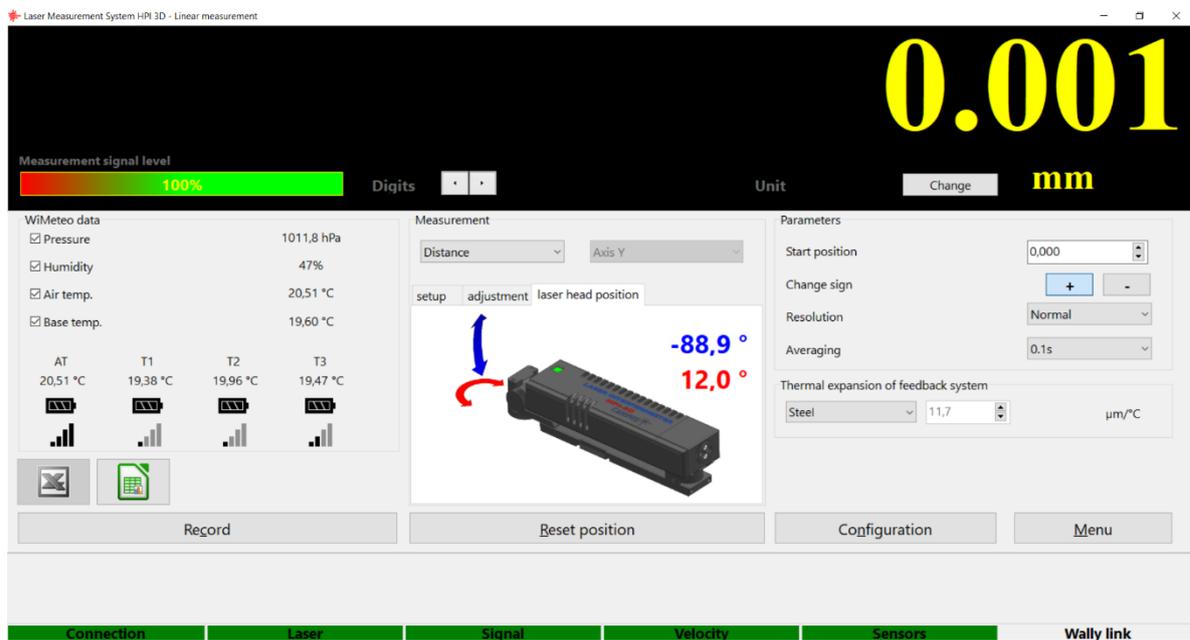


FIG. 4.3 ILUSTRACIÓN DE LA FUNCIÓN “LASER HEAD POSITION”

Los elementos mecánicos del trípode ayudan en el proceso de ajuste. El trípode debe nivelarse y, a continuación, con la función **Laser head position**, la posición del cabezal láser debe establecerse de acuerdo con el ángulo de la trayectoria de medición.

a. Diafragma

El diafragma del rayo láser en la parte frontal del cabezal láser (figura 4.4) ayuda en el proceso de alineación. El diafragma se puede colocar en dos posiciones:

" **Alineación**" - el rayo láser sale a través de la abertura en el diafragma de unos 2 mm de diámetro,

" **Medición**" del cabezal láser sale un haz de unos 8 mm de diámetro.



FIG.4.4. POSICIONES DEL DIAFRAGMA. A) MEDICIÓN, B) ALINEACIÓN



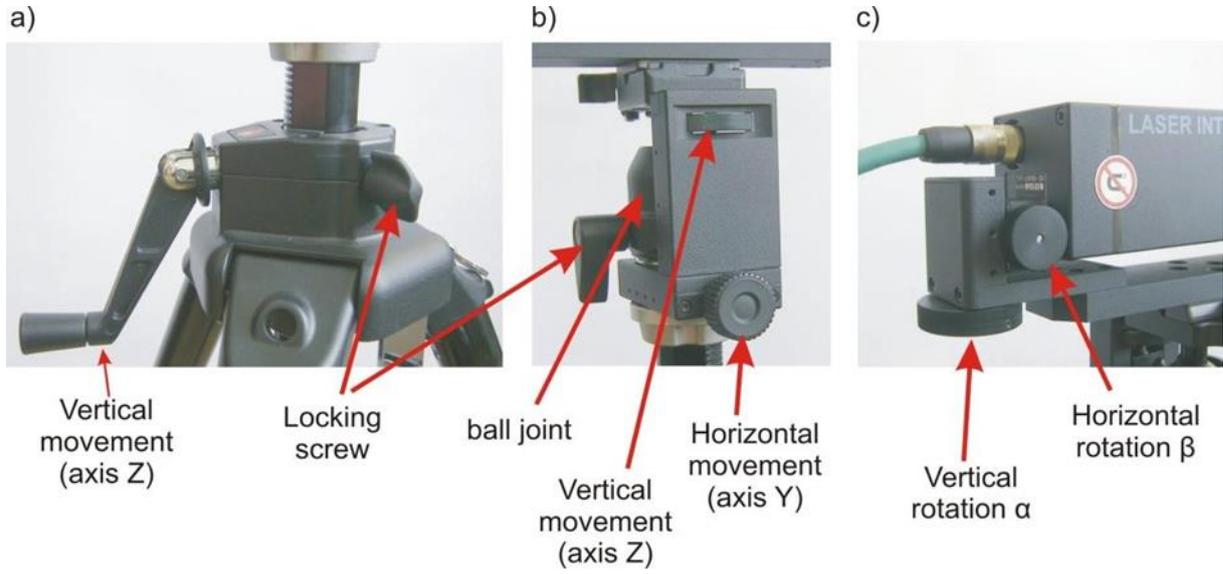
FIG.4.5. DIAFRAGMAS: POSICIÓN DE ALINEACIÓN (A) Y POSICIÓN DE TRABAJO (B)

Durante el transporte o cuando el sistema no se usa, la posición correcta del diafragma es la posición de **alineación**. En esta posición, la óptica está a salvo de ensuciarse, cubrirse con polvo y daños accidentales durante el transporte.

Los diafragmas se emplean en la mayoría de los componentes ópticos disponibles (consulte la figura 4.5) con la excepción de la óptica Wollaston.

Si es necesario, los diafragmas se pueden quitar y volver a colocar más tarde.

b. Elementos de alineación del cabezal



4



FIG.4.5. ELEMENTOS DE ALINEACIÓN DEL CABEZAL LÁSER

Para establecer correctamente la posición del rayo en el espacio, el cabezal láser dispone de algunos elementos de regulación, como se muestra en la figura 4.5. Los elementos se colocan en el cabezal giratorio del trípode (figura 4.5a y 4.5b) y en la base del cabezal láser (figura 4.5c).

Los elementos colocados en el trípode se utilizan en general para el

movimiento lineal vertical y horizontal de la posición del rayo, mientras que los elementos disponibles en la base del cabezal láser son para el movimiento angular vertical y horizontal del rayo.

c. Herramienta electrónica de alineación del haz

Una de las características principales del láser HPI-3D es la herramienta *Electronic Beam Alignment*. Esta es una herramienta del software que muestra la posición de los rayos que regresan al láser. La herramienta se puede activar en la opción **Display** seleccionando la casilla de verificación **Adjustment** en el panel medición **Measurement**; como muestra la figura 4.6.

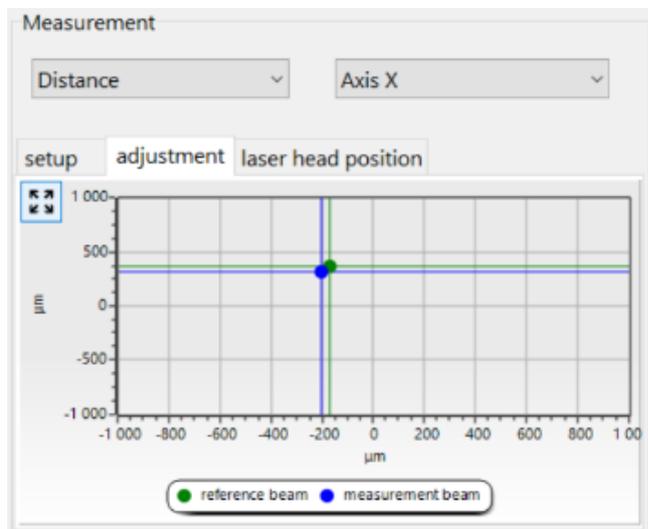


FIG.4.6. ELECTRONIC BEAM ALIGNMENT TOOL

La herramienta muestra **dos cruces**: verde y azul. La cruz verde muestra la posición del haz de referencia, mientras que la azul muestra la posición del haz de medición.

El significado exacto de las cruces depende del tipo de componentes ópticos utilizados. Los términos "haz de referencia" y "haz de medición" sólo tienen sentido para la óptica lineal. En este caso, el "haz de referencia" significa el haz del elemento IL1, mientras que el "haz de medición" es el haz reflejado por RL1.



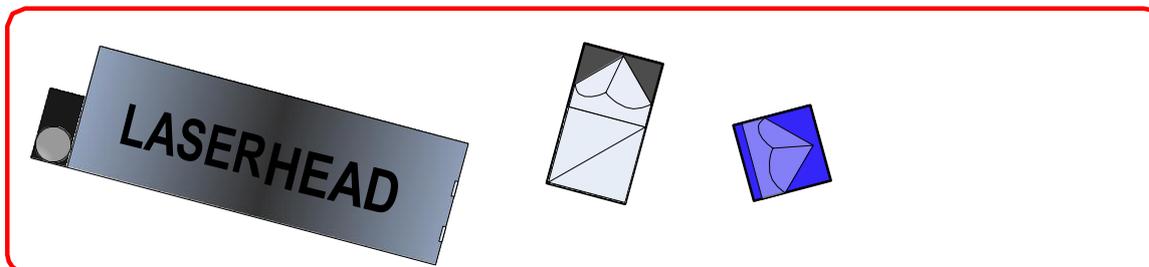
Cada vez que se cambia la configuración óptica de la óptica lineal, es necesario detener el haz entre IL1 y RL1 durante 2-3 segundos. El láser necesita esta operación para realizar los procedimientos de calibración.

4

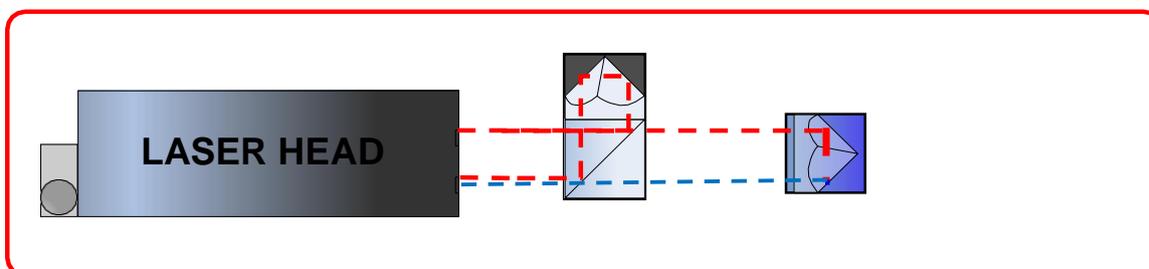


¡Atención! Es inadmisibles colocar uno de los elementos ópticos (es decir, RL1 o IL1) fuera de la máquina en un soporte adicional; ¡el sistema mide también los desplazamientos de la máquina en relación con el soporte!).

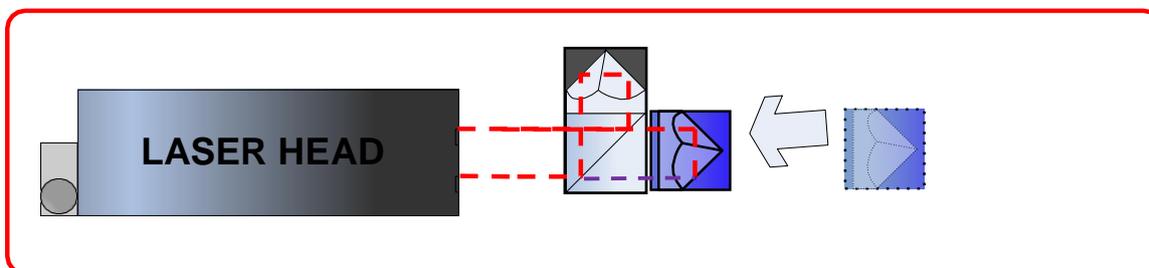
4.5 Procedimiento de alineación del haz con óptica lineal



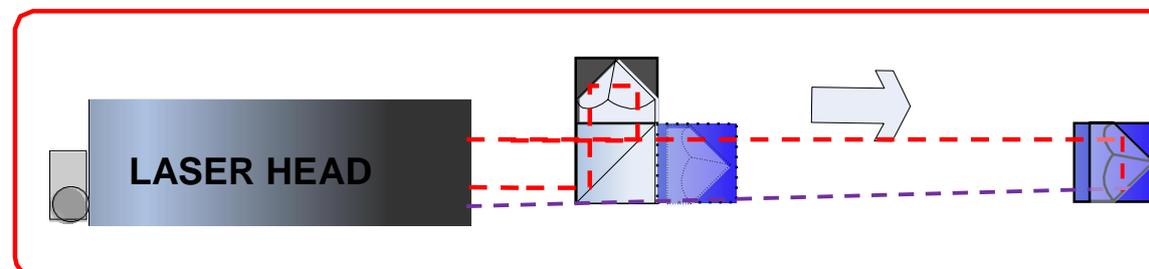
1. Monte el cabezal láser y los elementos IL1 y RL1 en la máquina



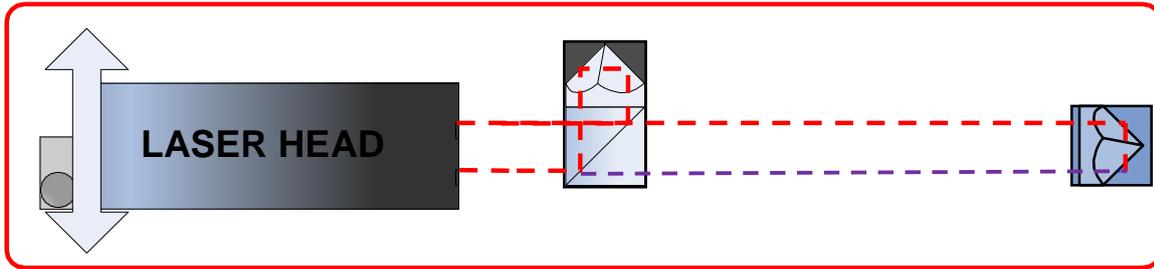
2. Encienda el láser y alinee todos los elementos a lo largo del eje de medición



3. Mueva el RL1 muy cerca de IL1 (pueden tocarse). Establezca su posición inicial para que el rayo regrese al láser



4. Mueva RL1 desde IL1

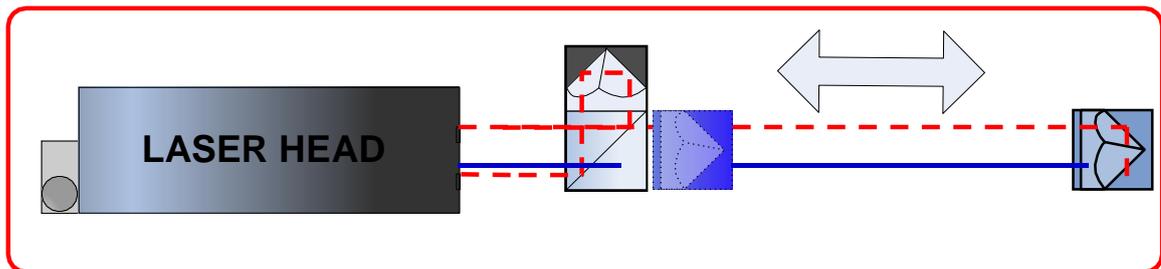


5. Mediante la regulación de la posición del cabezal láser, alinee la trayectoria del rayo de modo que ambos rayos se superpongan en el detector del cabezal

OBSERVACIÓN 1: Con regulación angular se debe regular la posición del haz de RL1. La posición del rayo que regresa de IL1 debe regularse con componentes mecánicos en el trípode.

OBSERVACIÓN 2: Si el cabezal láser se monta directamente en la máquina, la posición del rayo que regresa de IL1 debe regularse mediante el movimiento directo del componente IL1.

4

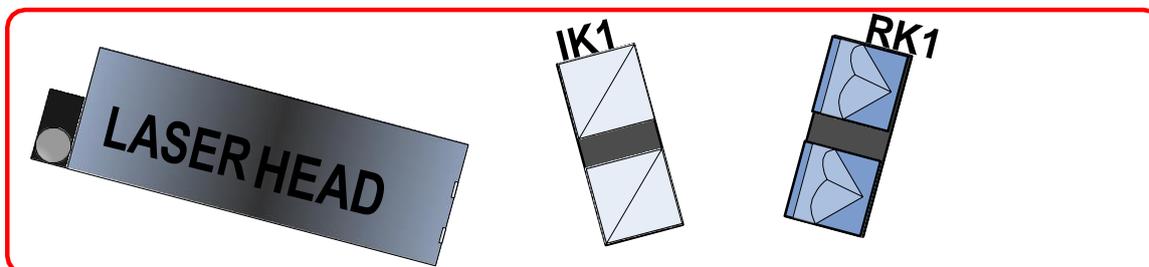


6. Mueva el RL1 de nuevo a IL1 (¡los componentes no deben tocarse!), y verifique la calidad de la alineación. Utilice las herramientas electrónicas disponibles: indicador de nivel de haz y herramienta de alineación de haz electrónico.

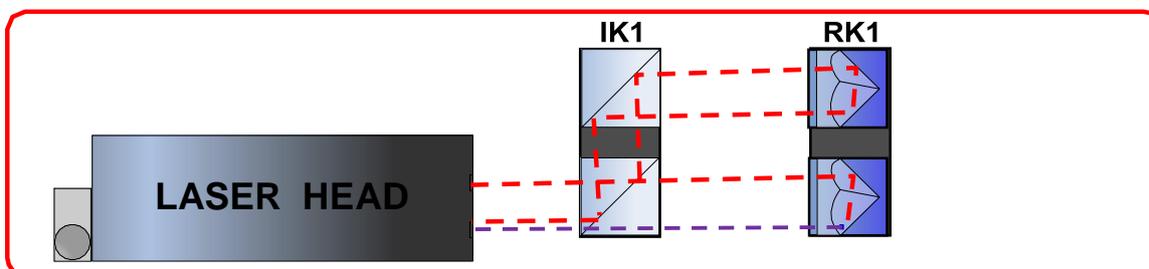


¡Atención! La posición cuando el interferómetro toca el retro-reflector sólo puede servir para ajustar. Asegúrese de que, durante las mediciones, en la posición de medición más cercana, el retro-reflector no toque el interferómetro, ya que puede suponer una fuente de errores en la medición.

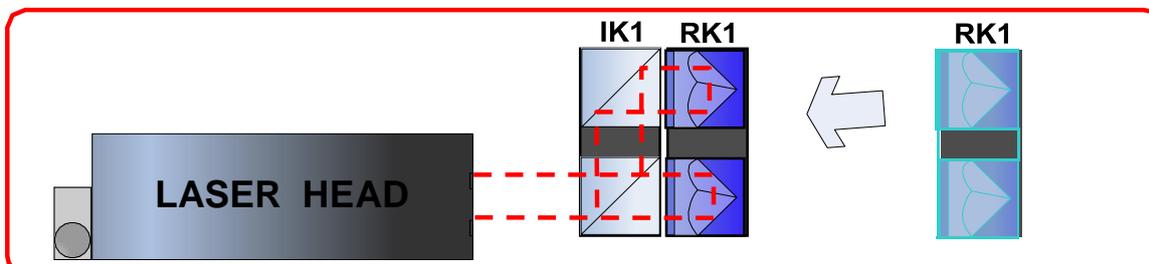
4.6 Procedimiento de alineación del haz con óptica angular



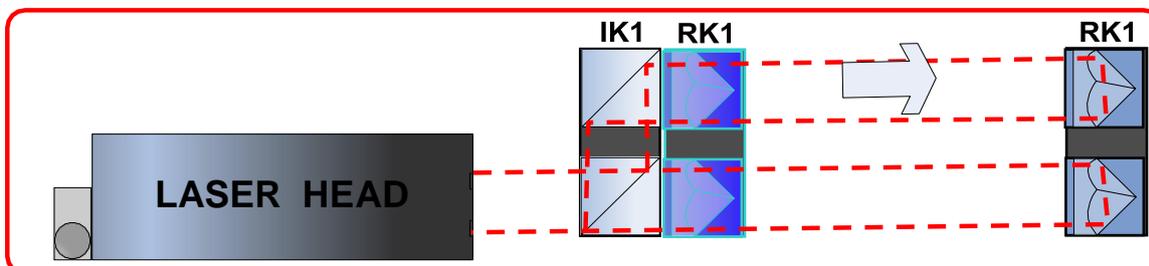
1. Monte el cabezal láser y los elementos IK1 y RK1 en la máquina.



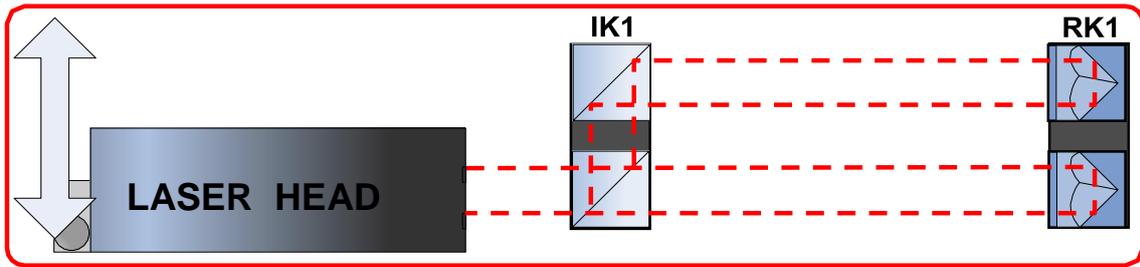
2. Encienda el láser y alinee todos los elementos a lo largo del eje de medición.



3. Mueva el RK1 muy cerca de IK1 (pueden tocarse). Establezca su posición inicial para que el rayo regrese al láser.

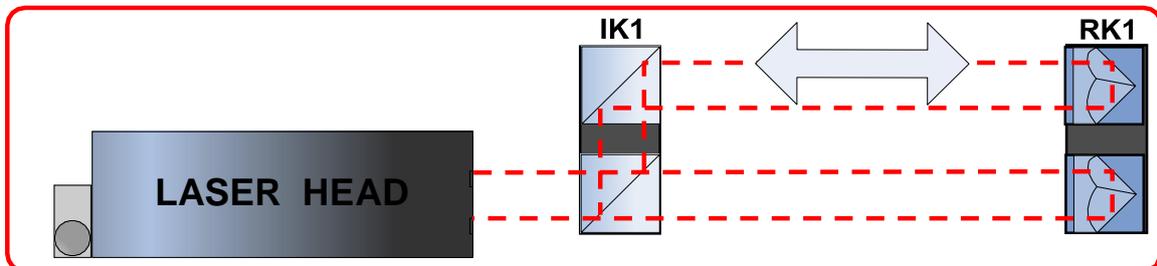


4. Mueva el RK1 desde IK1.



5. Mediante la regulación de la posición del cabezal láser, alinee la trayectoria del rayo de modo que ambos rayos se superponan en el detector del cabezal

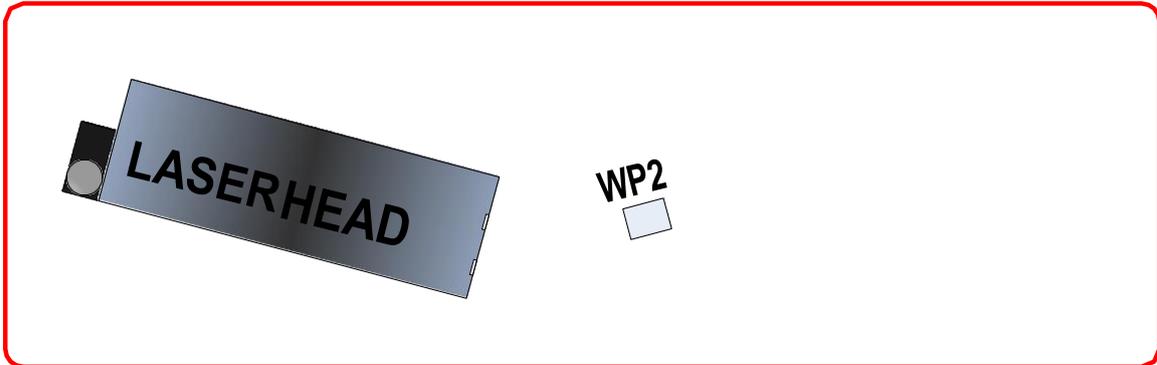
OBSERVACIÓN: Si los haces no se superponen, significa que el IK1 gira contra RK1. Verifique el alabeo (roll) del cabezal láser contra IK1 y RK1; ¡debería ser cero!



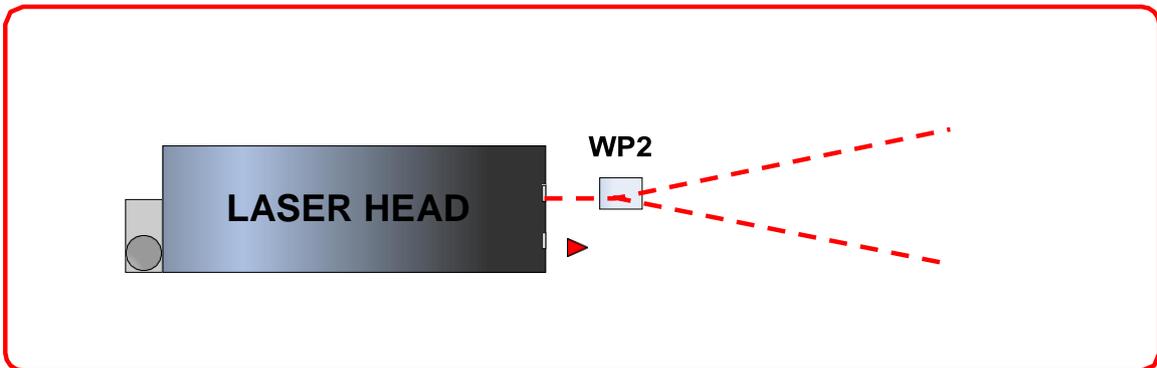
6. Mueva el RK1 de nuevo a IK1 (¡los componentes no deben tocarse!), y verifique la calidad de la alineación. Utilice las herramientas electrónicas disponibles: indicador de nivel de haz y herramienta de alineación de haz electrónico.

4

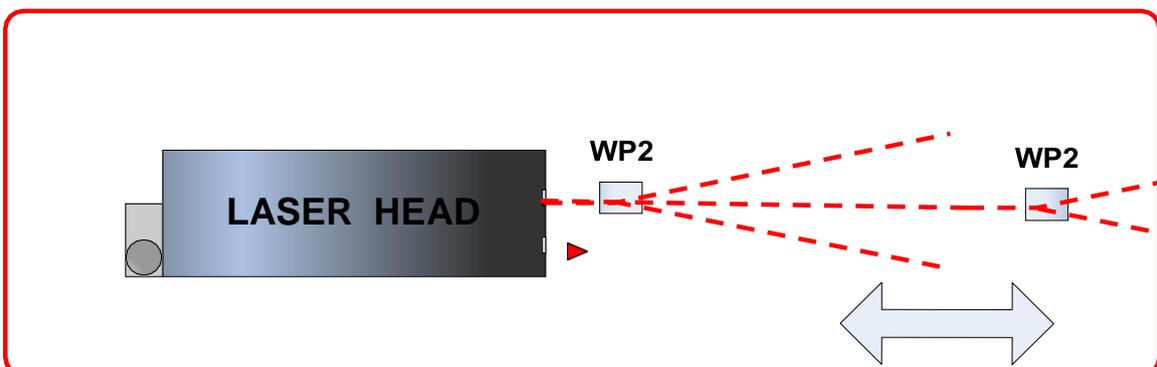
4.7 Procedimiento de alineación del haz con óptica de Wollaston



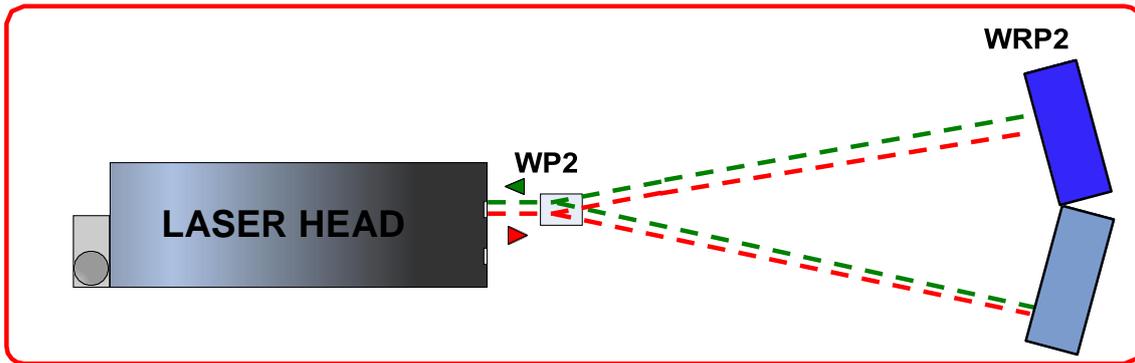
1. Monte el cabezal láser y el WP2 en la máquina medida.



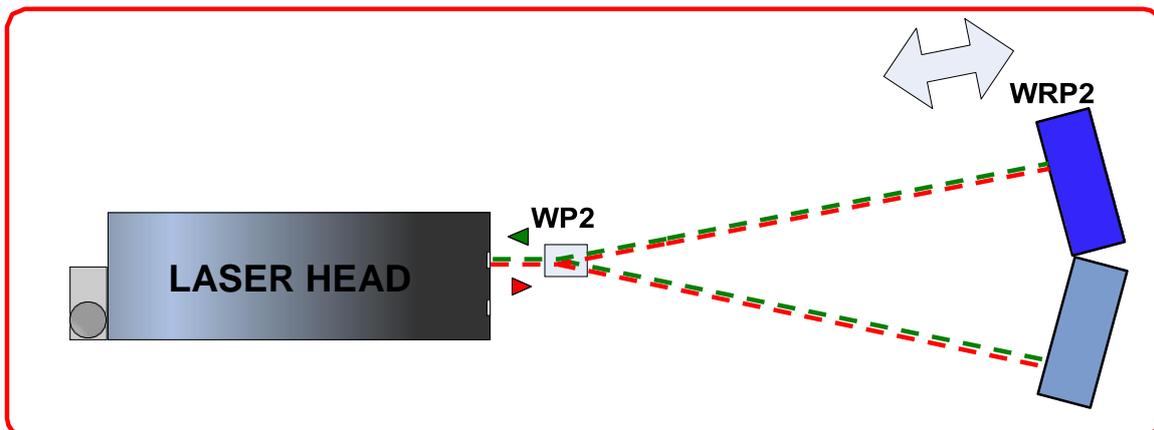
2. Encienda el láser. Cambie los diafragmas tanto en el WP2 como en el cabezal láser a la posición de alineación. Inserte el WP2 en la trayectoria de modo que el rayo pase por el centro de ambos diafragmas del WP2.



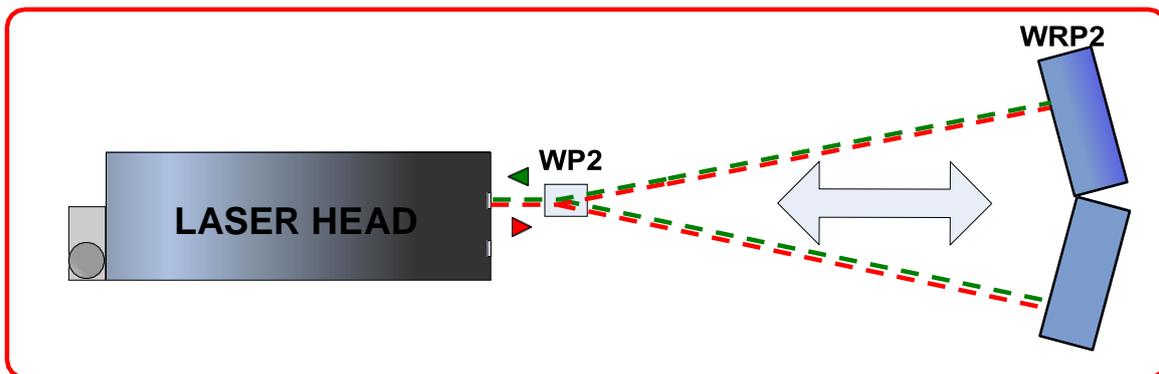
3. Mueva WP2 a lo largo del eje de medición. Alinee la posición del láser para que el rayo pase siempre por el medio de los diafragmas de WP2



4. Inserte WRP2 al final de la trayectoria de medición.

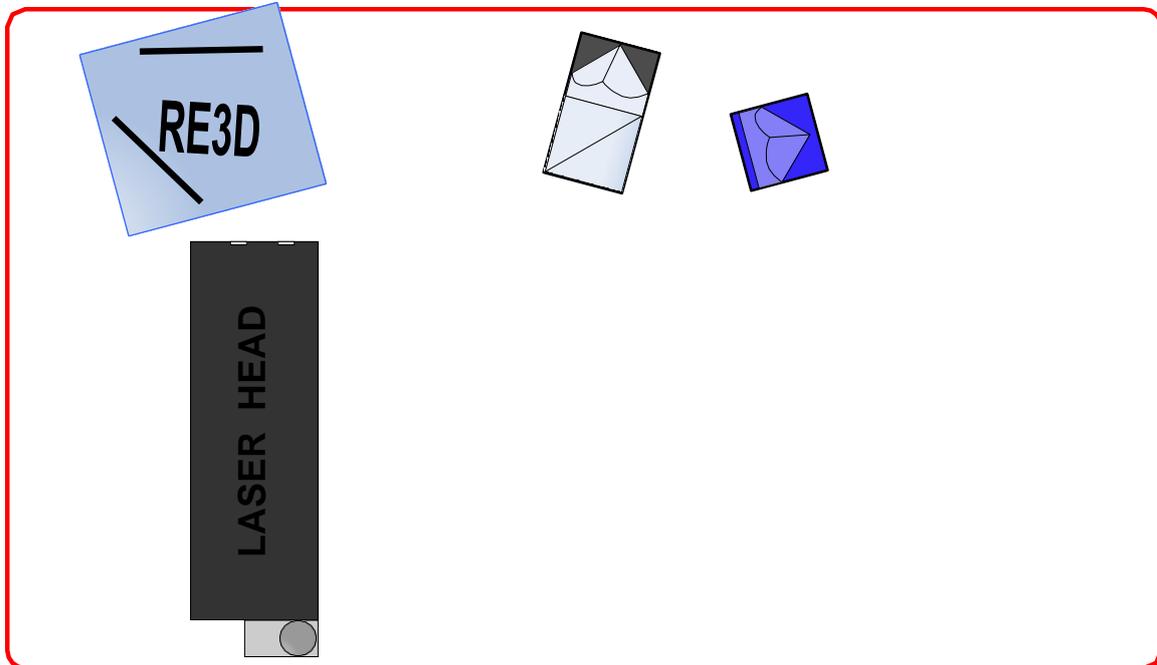


5. Regule el ángulo del WRP2 (con la rueda grande en la parte superior) para que el rayo reflejado regrese al cabezal láser.

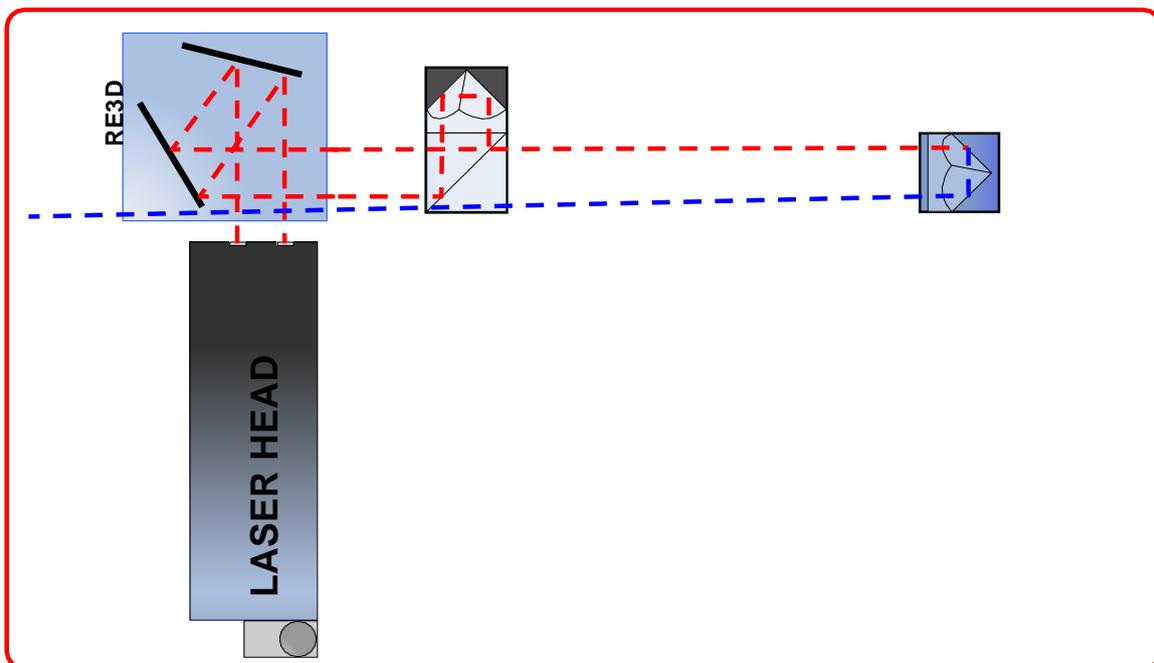


6. Mueva el WRP2 de nuevo a WP2 (no más cerca de 30 cm) y verifique la calidad de la alineación de la trayectoria del haz. Utilice las herramientas electrónicas disponibles: indicador de nivel de haz y herramienta de alineación de haz electrónico: ¡los haces de la herramienta de alineación deben superponerse! Si no se superponen, gire el WP2 para que queden uno sobre el otro.

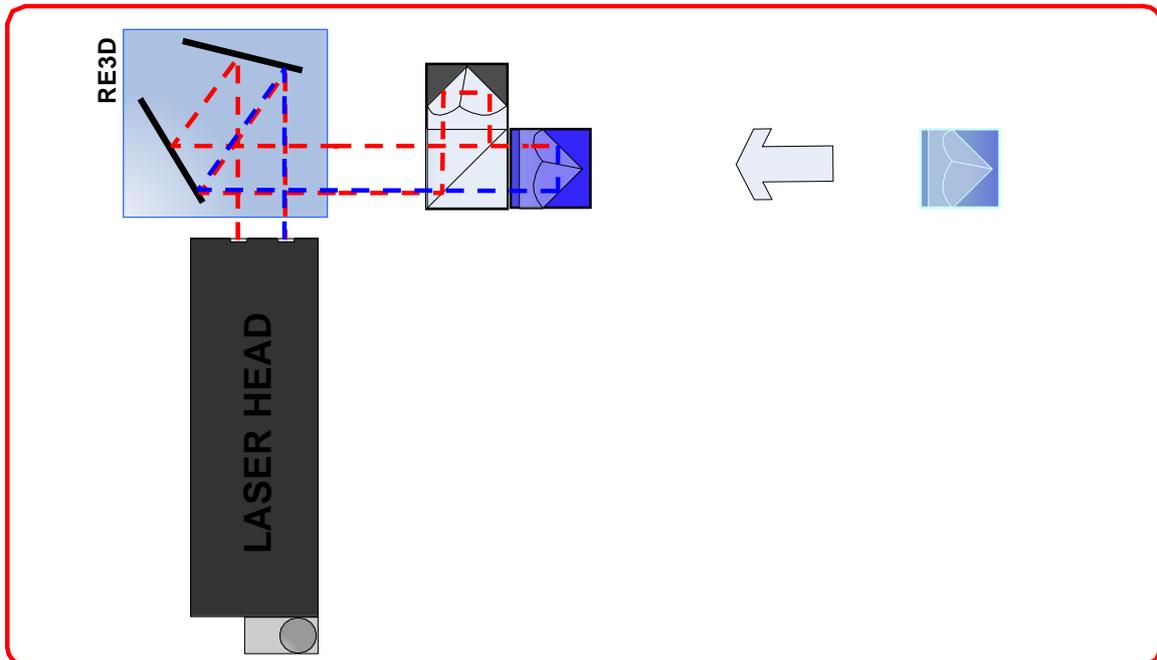
4.8 Alineación del haz con óptica lineal y etalon angular



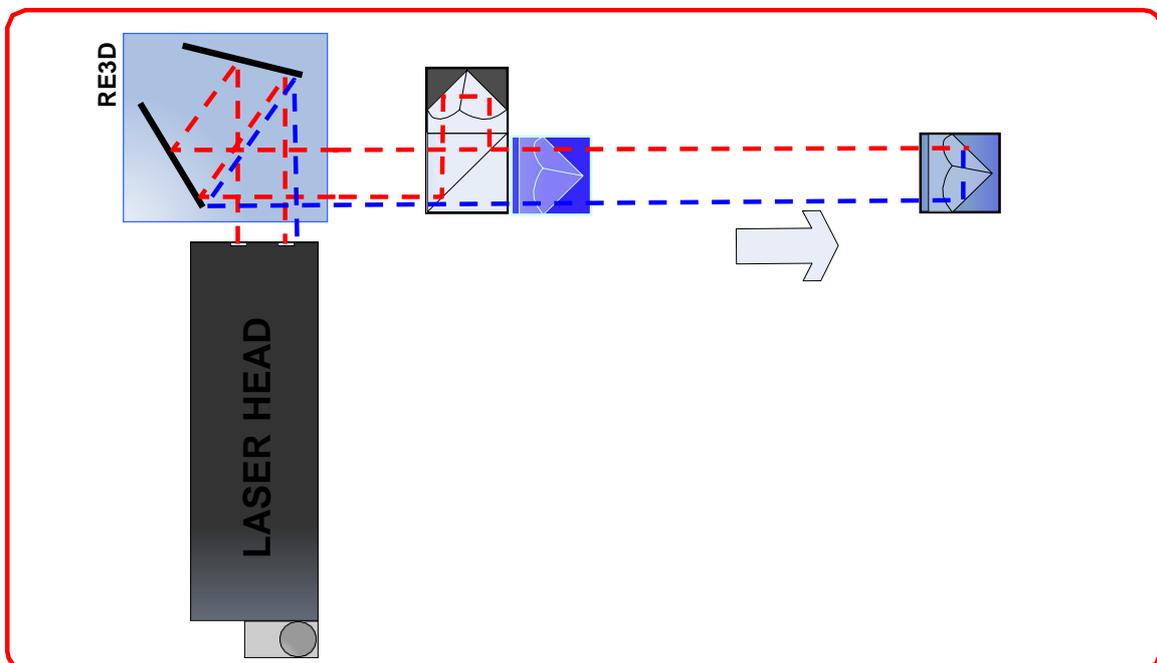
1. Monte el cabezal láser y los elementos IL1, RL1 y RE3D en la máquina



2. Encienda el láser y alinee todos los elementos a lo largo del eje de medición

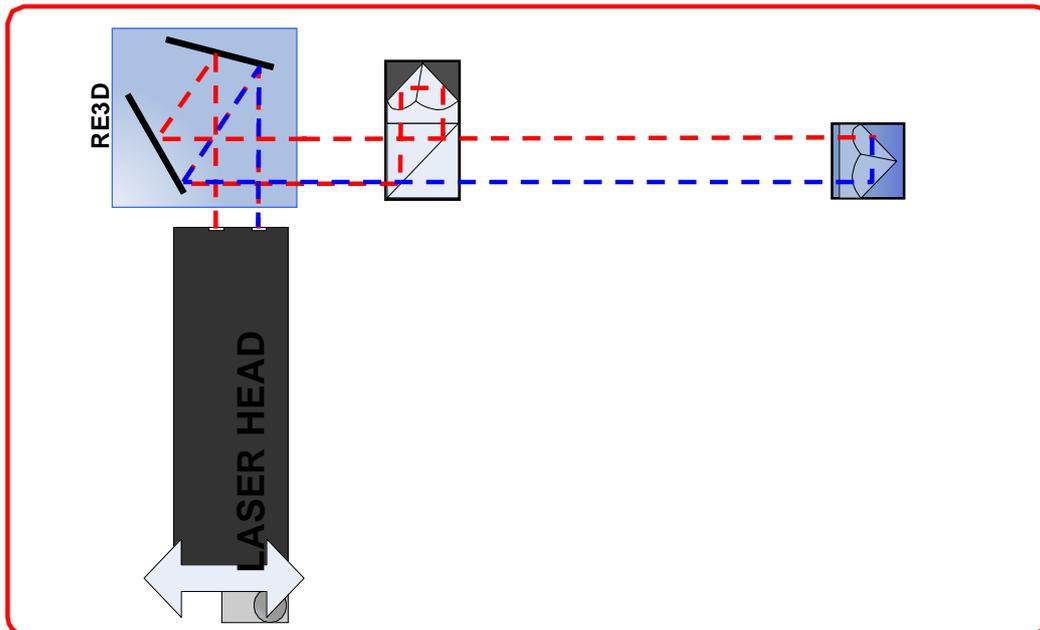


3. Mueva el RL1 muy cerca de IL1 (pueden tocarse). Establezca su posición inicial para que el rayo regrese al láser.



4. Mueva RL1 desde IL1

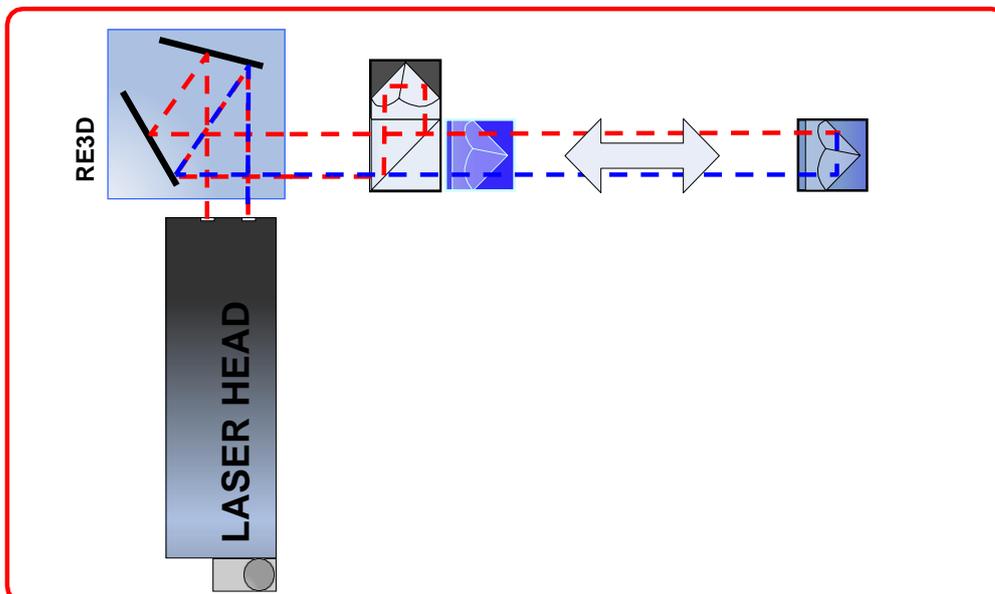
4



5. Mediante la regulación de la posición del cabezal láser, alinee la trayectoria del rayo de modo que ambos rayos se superpongan en el detector del láser.

OBSERVACIÓN 1: Con regulación angular se debe regular la posición del haz desde RL1. La posición del rayo que regresa de IL1 debe regularse con componentes mecánicos en el trípode.

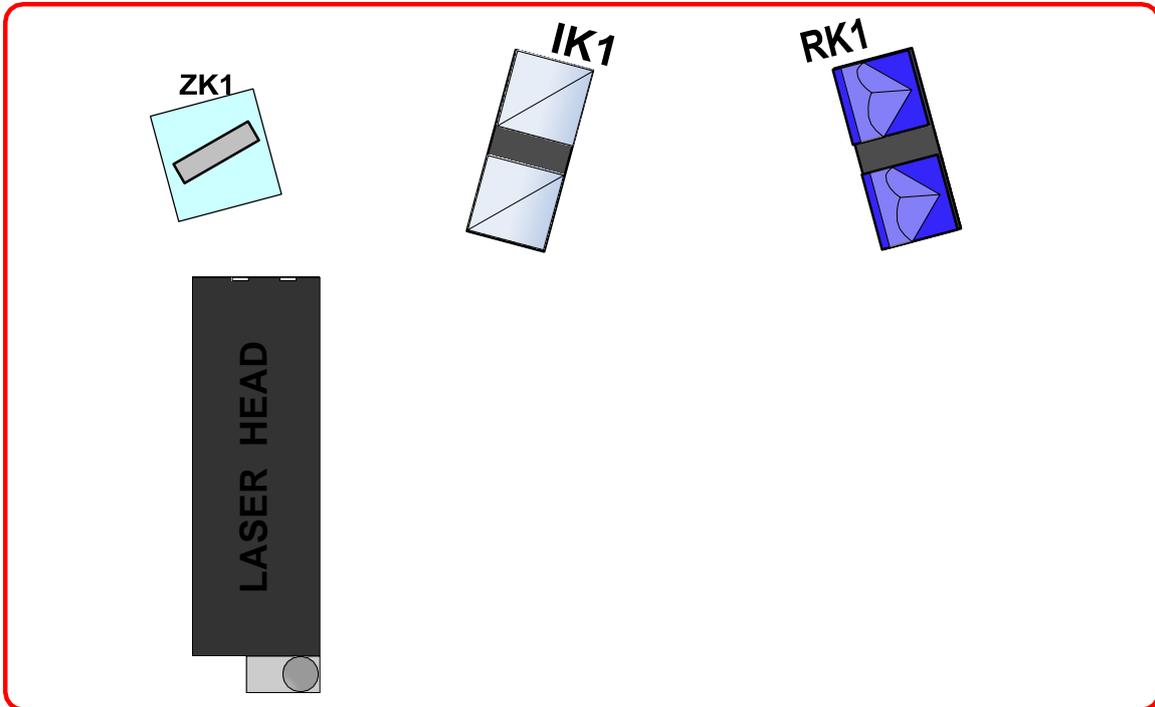
OBSERVACIÓN 2: Si el cabezal láser está montado directamente en la máquina, la posición del rayo que regresa de IL1 debe regularse mediante el movimiento directo del componente IL1.



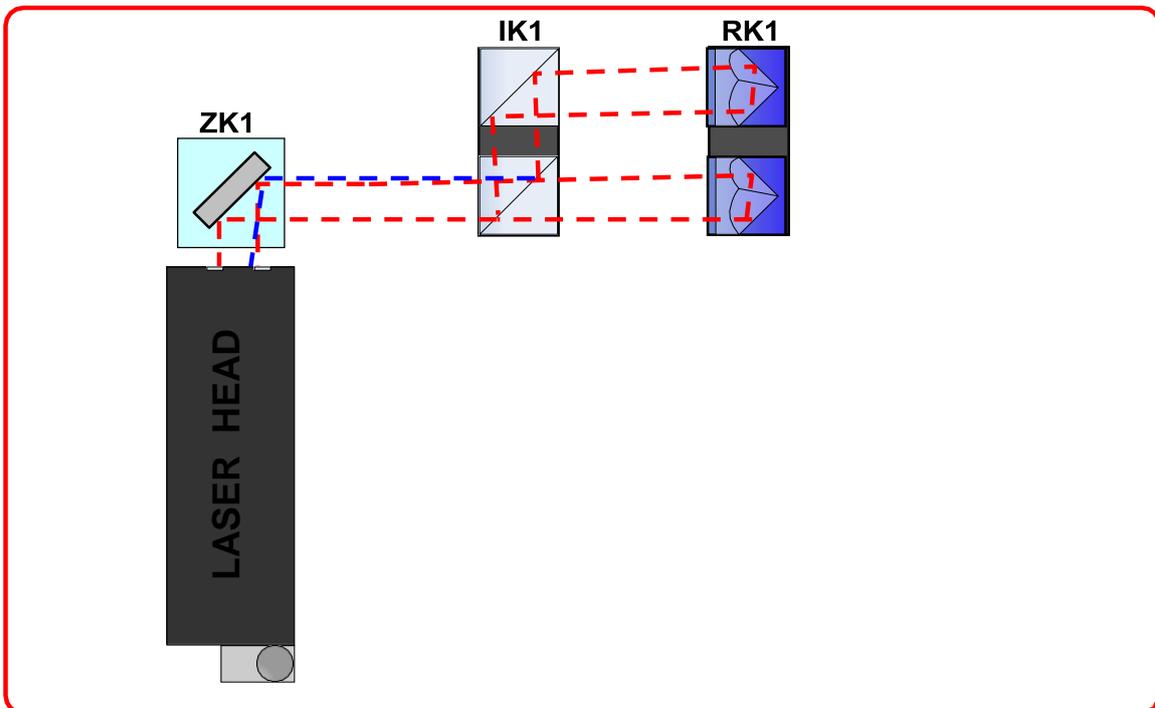
6. Mueva el RK1 de nuevo a IK1 (¡los componentes no deben tocarse!) Y verifique la calidad de la alineación. Utilice las herramientas electrónicas disponibles: indicador de nivel de haz y herramienta de alineación de haz electrónico.

4.9 Alineación del haz con óptica angular y doblador de haz

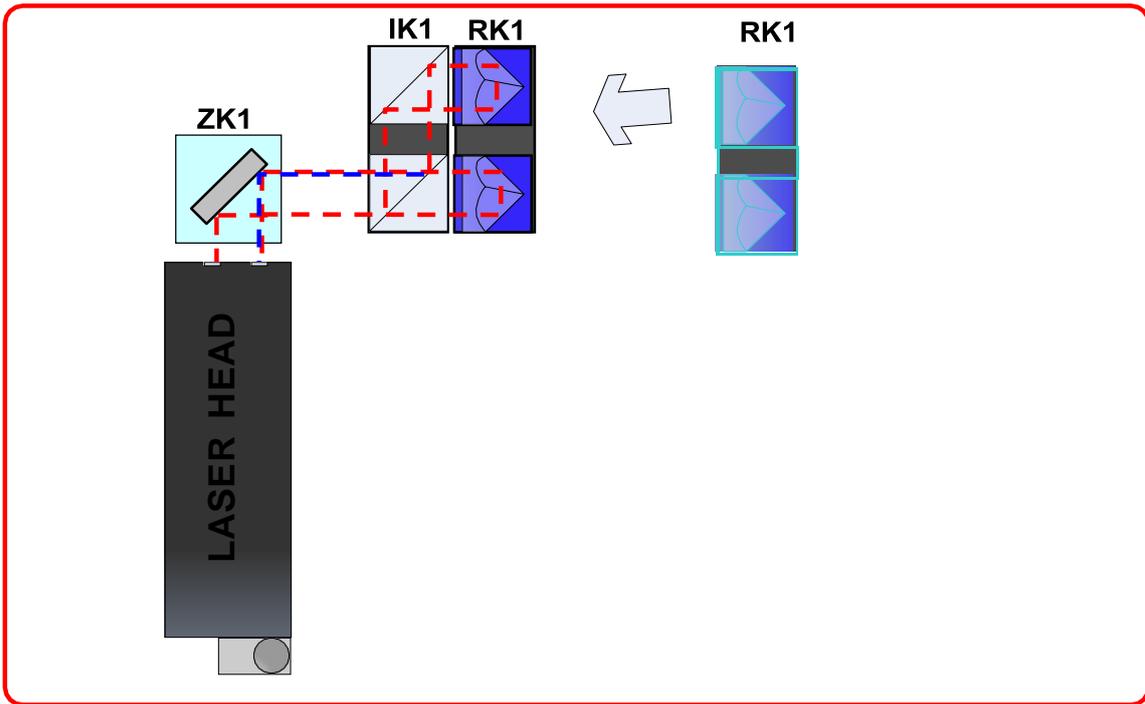
a. Cabezal láser inicialmente NO alineado



1. Monte el cabezal láser y los elementos IK1, RK1 y ZK1 en la máquina

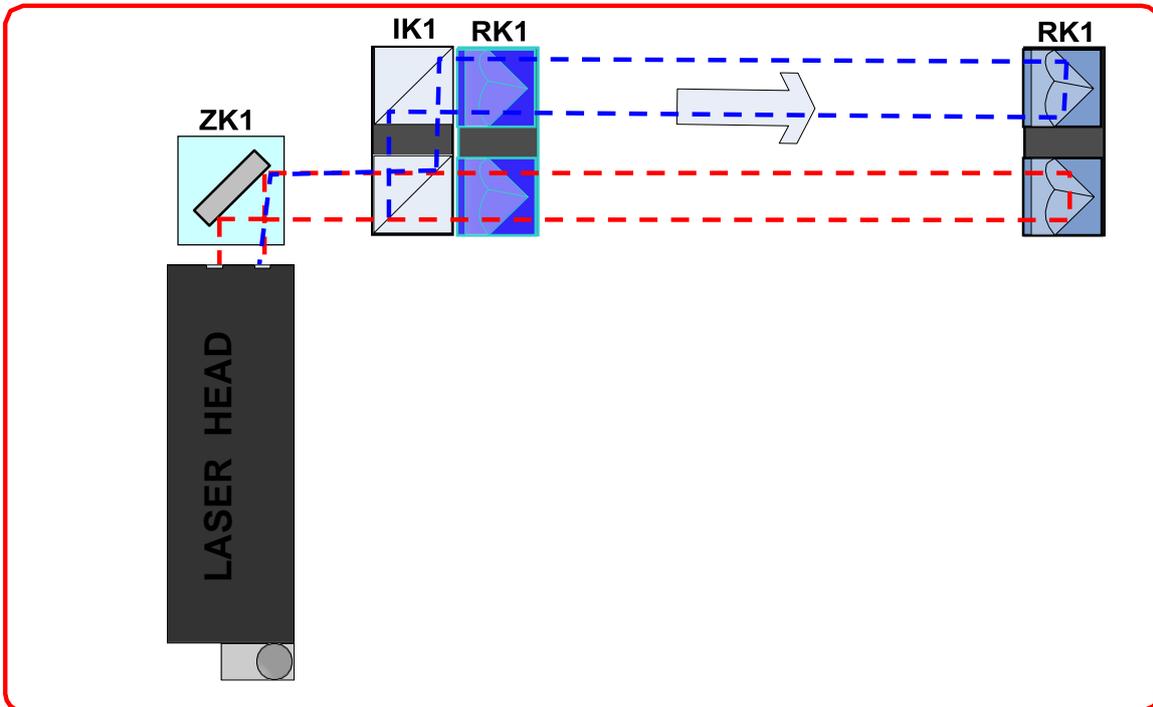


2. Encienda el láser y alinee todos los elementos a lo largo del eje de medición

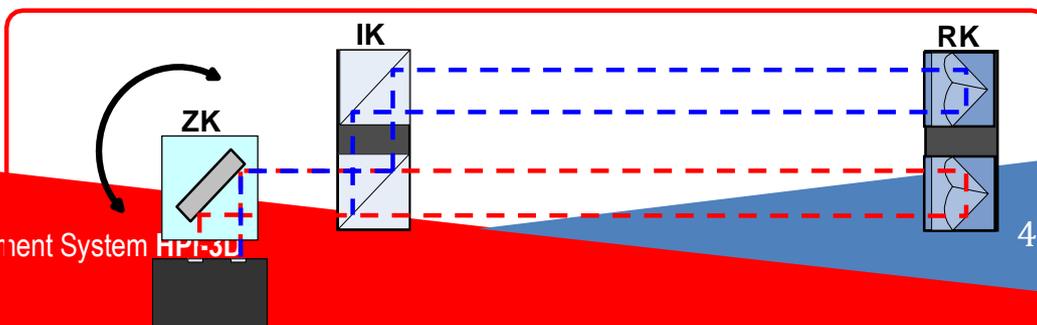


4

3. Mueva el RK1 muy cerca de IK1 (pueden tocarse). Establezca su posición inicial y la posición de ZK1 para que el rayo regrese al láser



4. Mueva el RK1 desde IK1

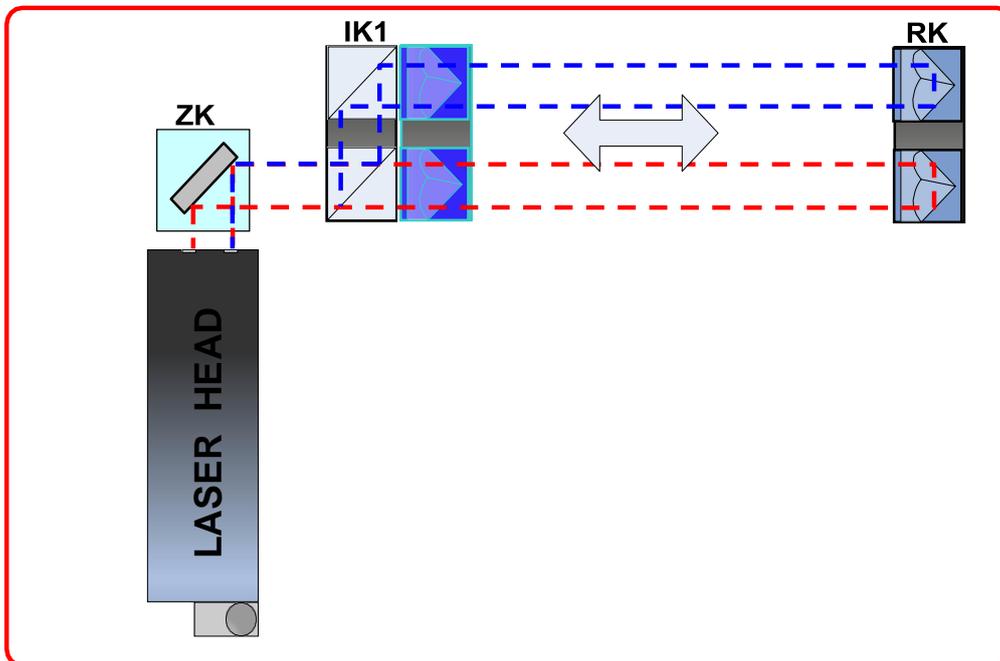


LASER HEAD

4

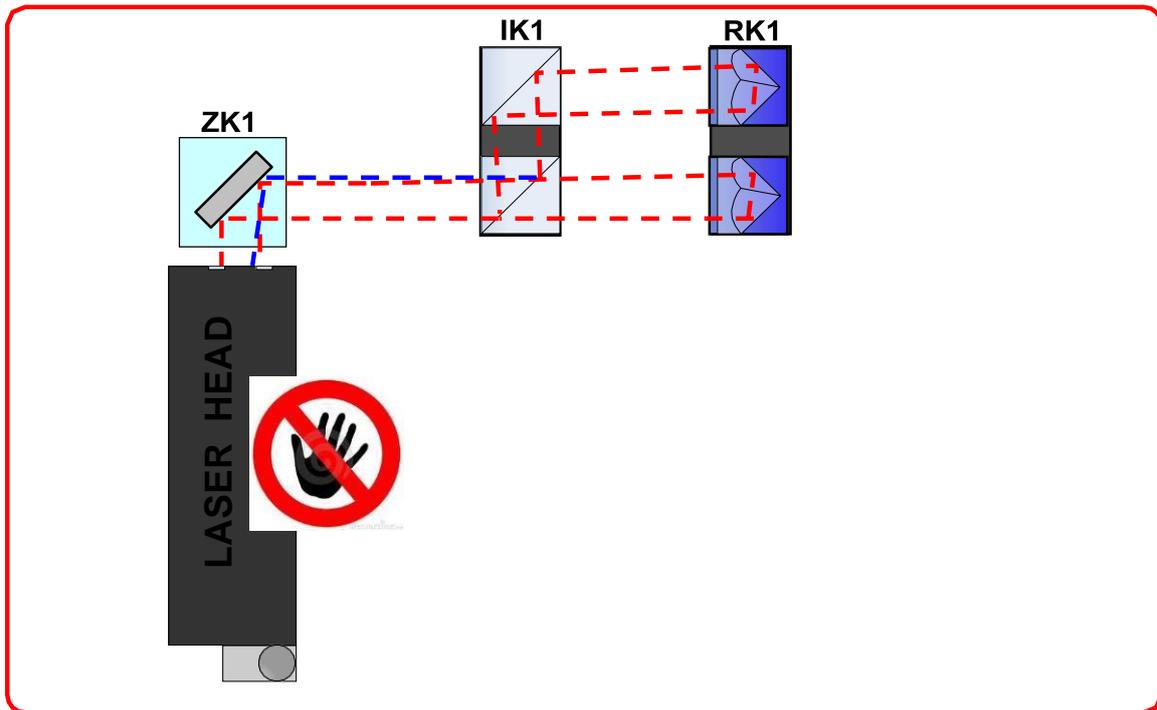
5. Mediante la regulación de la posición del cabezal láser, alinee la trayectoria de modo que ambos rayos se superpongan en el detector del láser. En lugar de regular la posición del cabezal láser, es posible regular ZK1; ¡en muchas situaciones resulta más rápido!

OBSERVACIÓN: Si los haces no se superponen, significa que IK1 gira contra RK1. Verifique el alabeo (roll) del cabezal láser contra IK1 y RK1; debería ser cero.

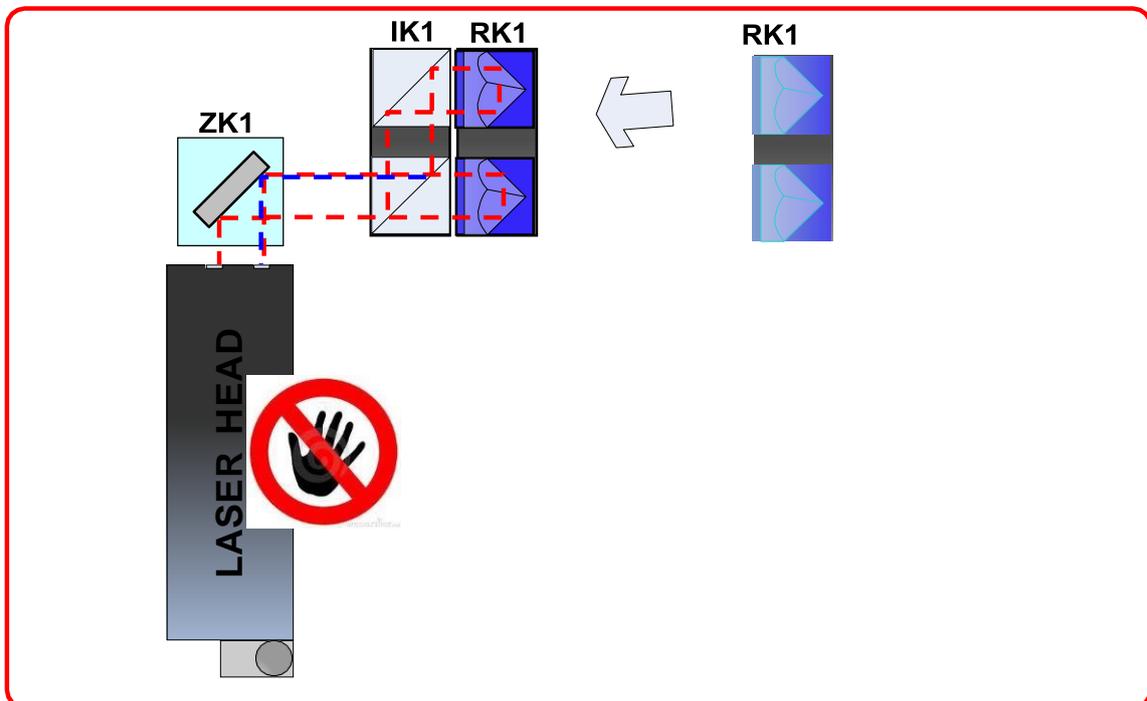


6. Mueva el RK1 de nuevo a IK1 (¡los componentes no deben tocarse!), y verifique la calidad de la alineación. Utilice las herramientas electrónicas disponibles: indicador de nivel de haz y herramienta de alineación de haz electrónico

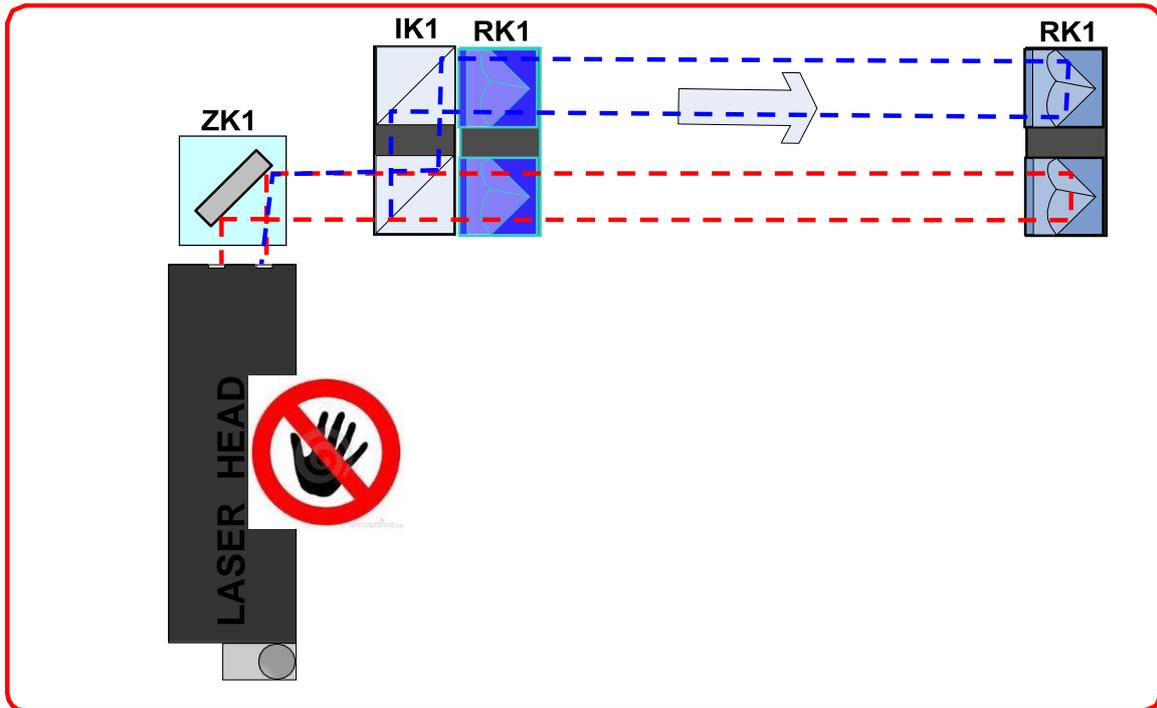
b. Cabezal láser inicialmente alineado



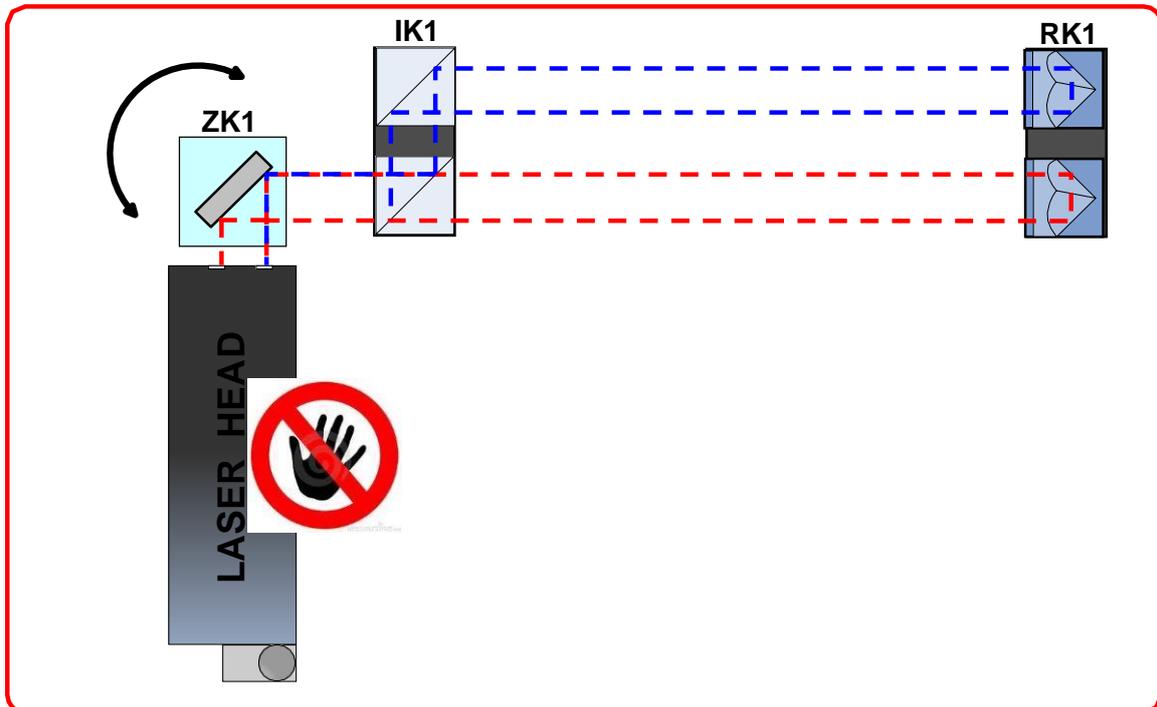
1. Alinear todos los elementos (ZK1, IK1, RK1) a lo largo del nuevo eje de medición. NO TOCAR el cabezal láser.



2. Mueva el RK1 muy cerca de IK1 (pueden tocarse). Establezca su posición inicial y la posición de ZK1 para que el rayo regrese al láser



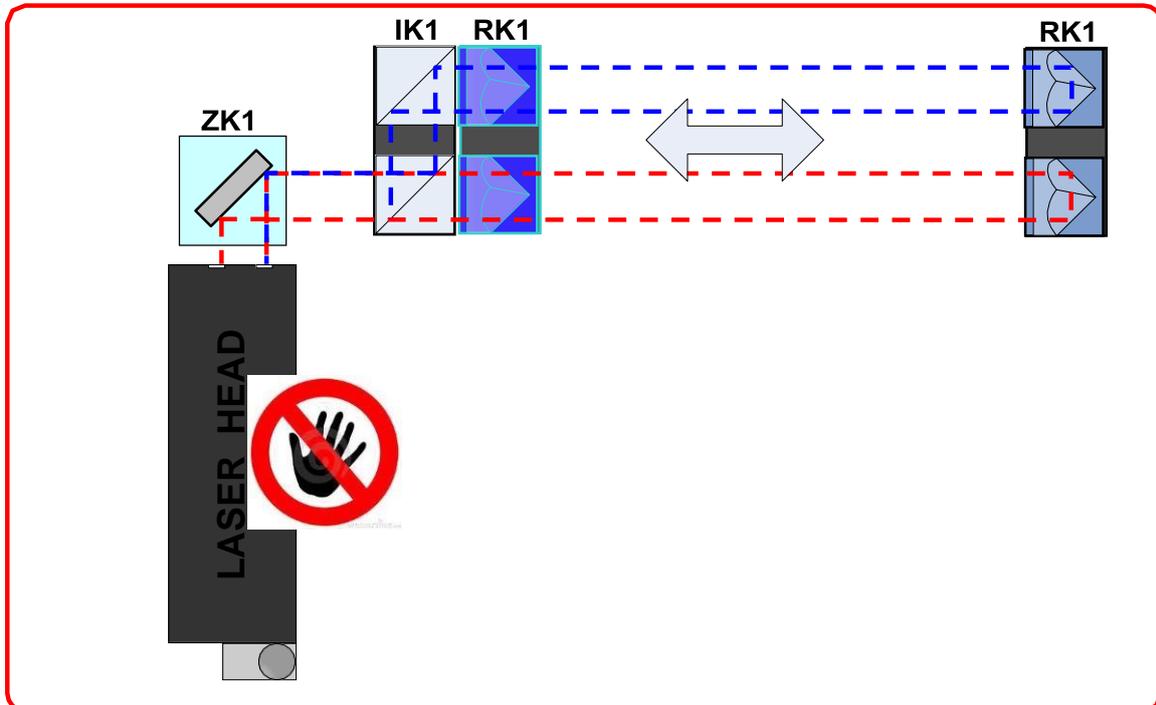
3. Mueve el RK1 de IK1



4. Mediante la regulación de la posición ZK1, alinee la trayectoria del rayo de modo que ambos rayos se superpongan en el detector del láser. NO TOCAR el cabezal láser

4

OBSERVACIÓN: Si los haces no se superponen, significa que IK1 gira contra RK1. Verifique el alabeo (roll) del cabezal láser contra IK1 y RK1; ¡debería ser cero!



5. Mueva el RK1 de nuevo a IK1 (¡los componentes no deben tocarse!), y verifique la calidad de la alineación. Utilice las herramientas electrónicas disponibles: indicador de nivel de haz y herramienta de alineación de haz electrónico.

4

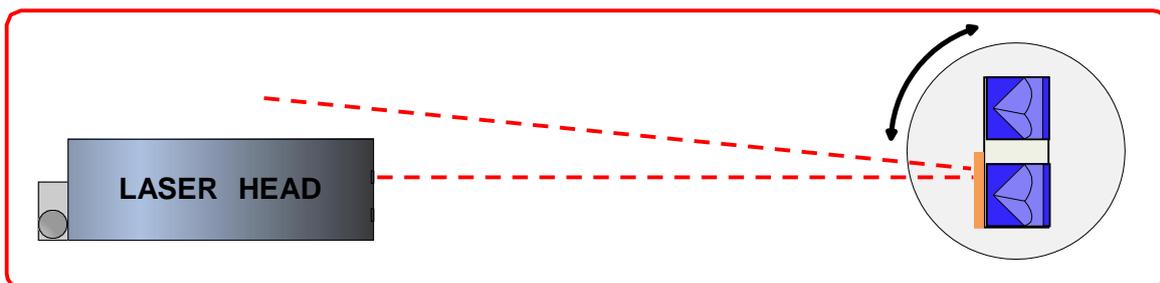
4.10 Alineación del haz de Sistema rotatorio – HPI-3D +Wally



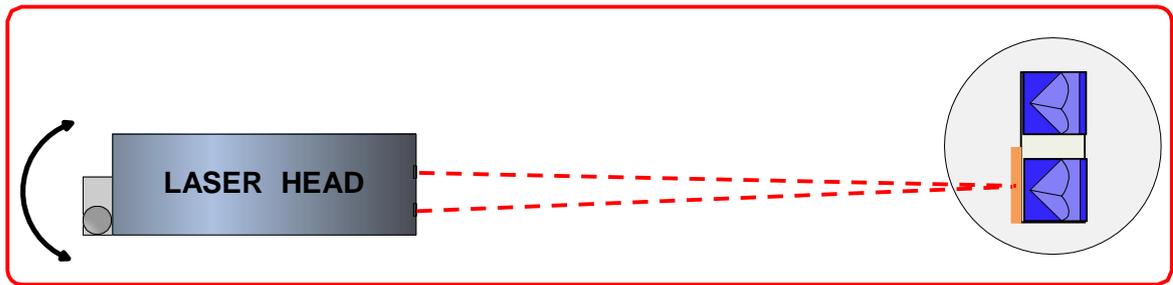
1. Monte Laser Head y Wally en la máquina



2. Establezca la posición del cabezal láser y Wally de modo que el rayo regrese (utilice la alineación del rayo electrónico)



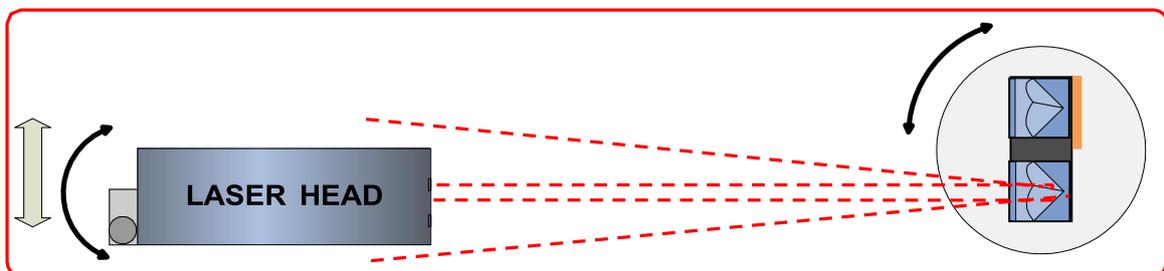
3. Gire Wally en el software 180 grados para que el rayo se refleje en el espejo trasero



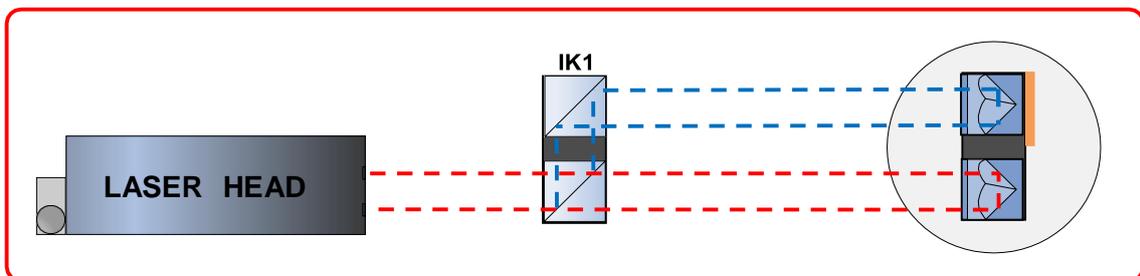
4. Cambie la posición angular del cabezal láser para que el rayo reflejado vuelva al láser



5. Gire Wally 180 grados y modifique la posición vertical y / u horizontal del cabezal láser para que el rayo regrese al láser



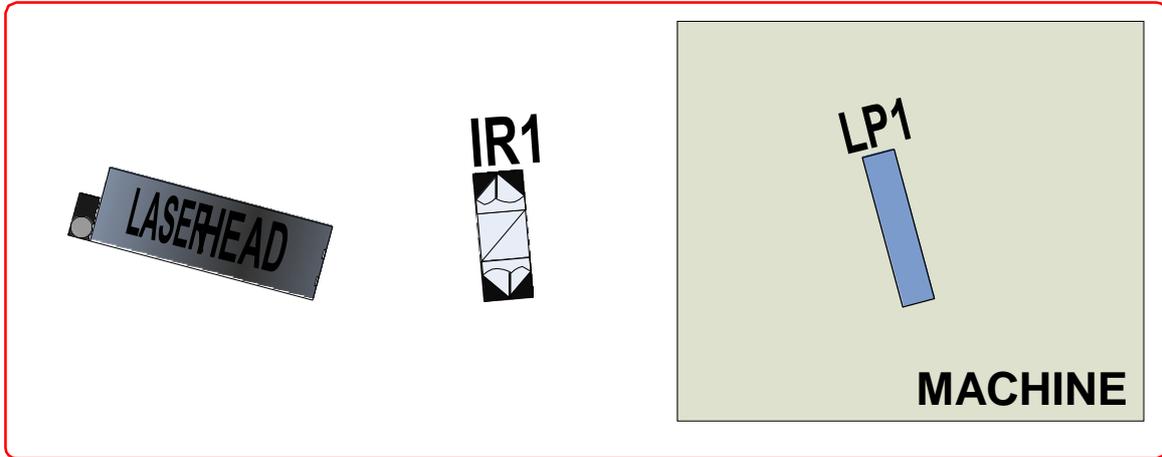
6. Repita los pasos 3 a 5 hasta que la posición del rayo que regresa al cabezal láser no cambie cuando el rayo se refleja en el espejo y el retroreflector



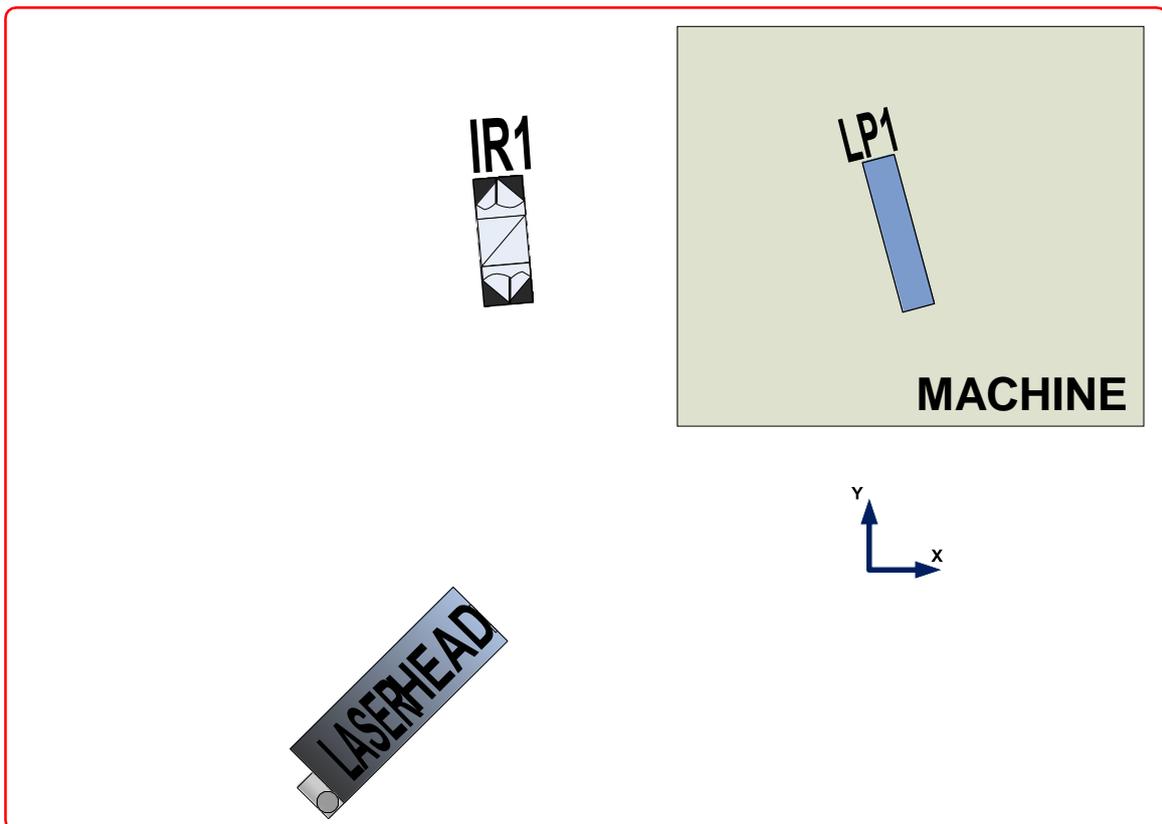
7. Inserte el IK1 en la trayectoria de medición. Vincular Wally en el software HPI

4

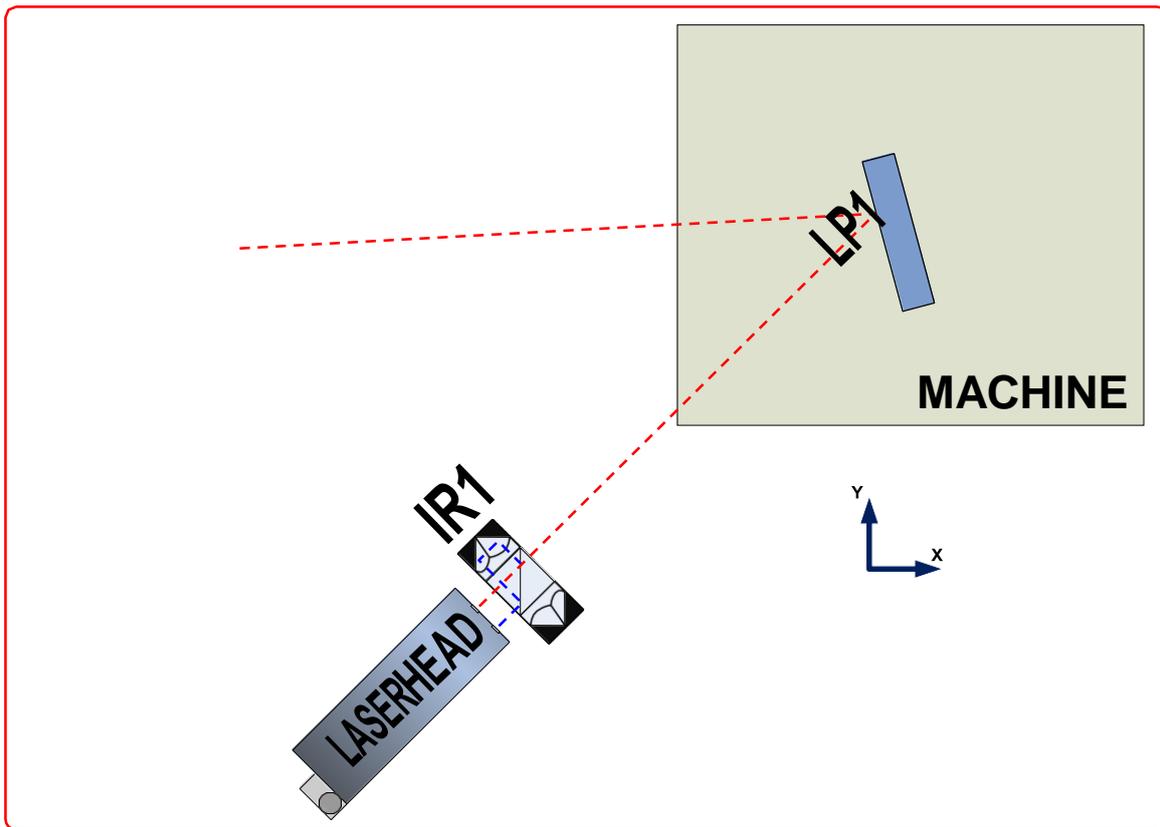
4.11 Alineación del haz para Circularidad dinámica



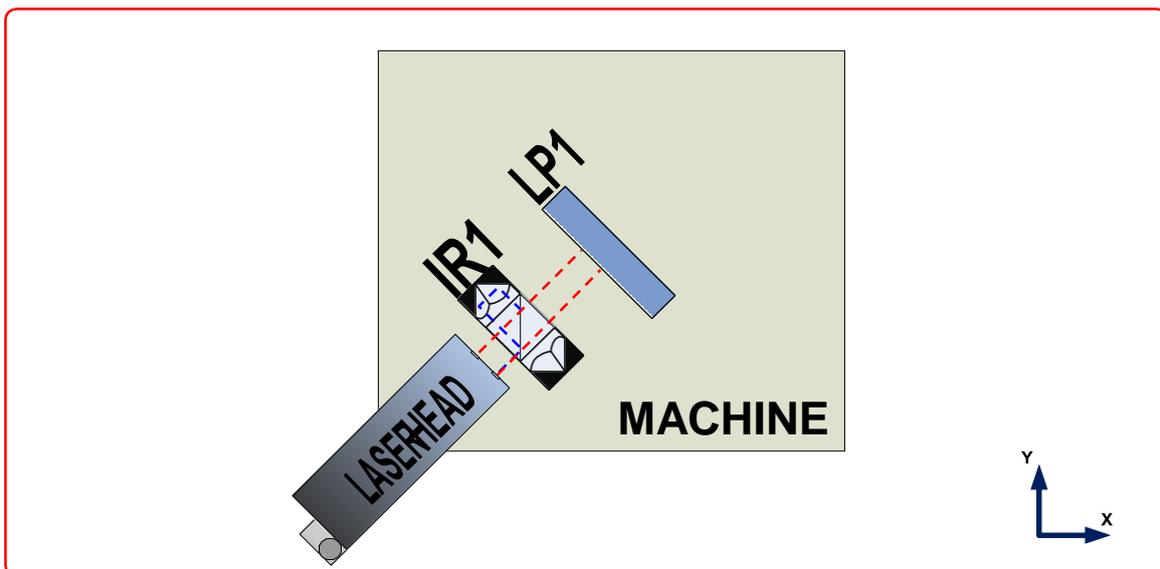
1. Monte el cabezal láser, el interferómetro diferencial IR1 y el espejo plano LP1 en la máquina



2. Ajuste el cabezal láser a aprox. 45 grados de los ejes probados de la máquina. Utilice la herramienta de posición del cabezal láser en la opción Display.

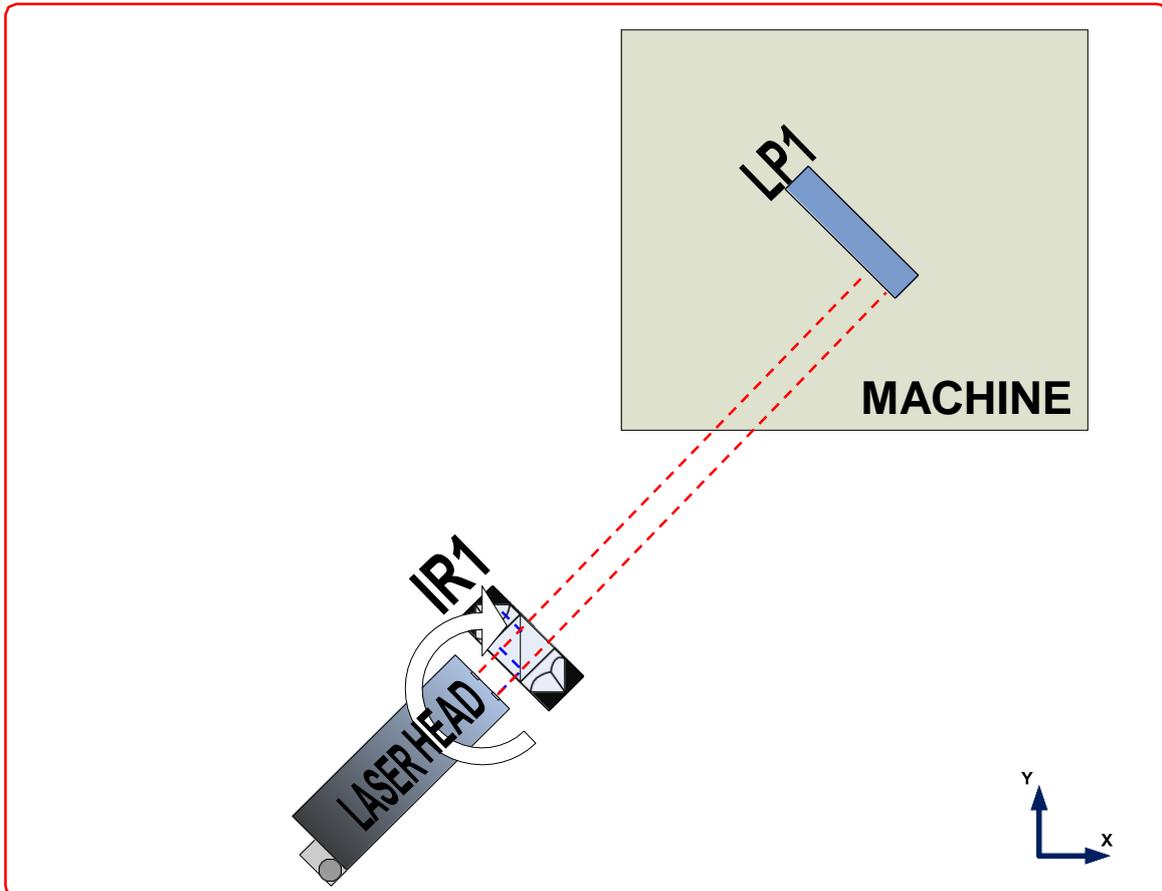


3. Encienda el cabezal láser y ajuste la posición del IR1 de manera que el rayo regrese al centro del receptor. Use la herramienta Electronic Beam Alignment de la opción Display.



4. Acerque la máquina al cabezal láser. Configure la posición del espejo LP1 de tal manera que el rayo regrese al cabezal láser

4



4

5. Mueva el elemento LP1 a lo largo del eje medido y compruebe si el rayo no sale fuera del espejo. Si esto sucede, gire el láser y el IR1 45 grados y vuelva al punto 4.

5. MEDICIONES - POSICIONAMIENTO

5.1 Descripción general

La medición de posicionamiento lineal es la opción más avanzada de mediciones lineales. También es la forma más común de mediciones con interferómetro láser realizadas en máquinas. El sistema láser mide la precisión de posicionamiento lineal, la repetibilidad y el backlash al comparar la posición a la que se mueve la máquina (es decir, la posición que se muestra en la lectura de la máquina) con la posición real medida por el interferómetro.

El dispositivo HPI-3D ofrece una característica única de medición simultánea de posicionamiento y estimación de rectitud en planos horizontales y verticales. Esta función 3D simplifica y acelera significativamente el proceso de prueba de la geometría de la máquina y mejora la precisión de la medición gracias a la eliminación del error de coseno.

a. Resumen de posicionamiento

En la Figura 5.1 se muestra el diagrama de bloques del algoritmo de corrección de errores de posicionamiento lineal. Siguiendo el algoritmo presentado, es fácil corregir cualquier máquina controlada numéricamente.

En el primer paso se pueden elegir algunas opciones de medidas. En la mayoría de los casos, este paso se puede omitir. A continuación, en el software

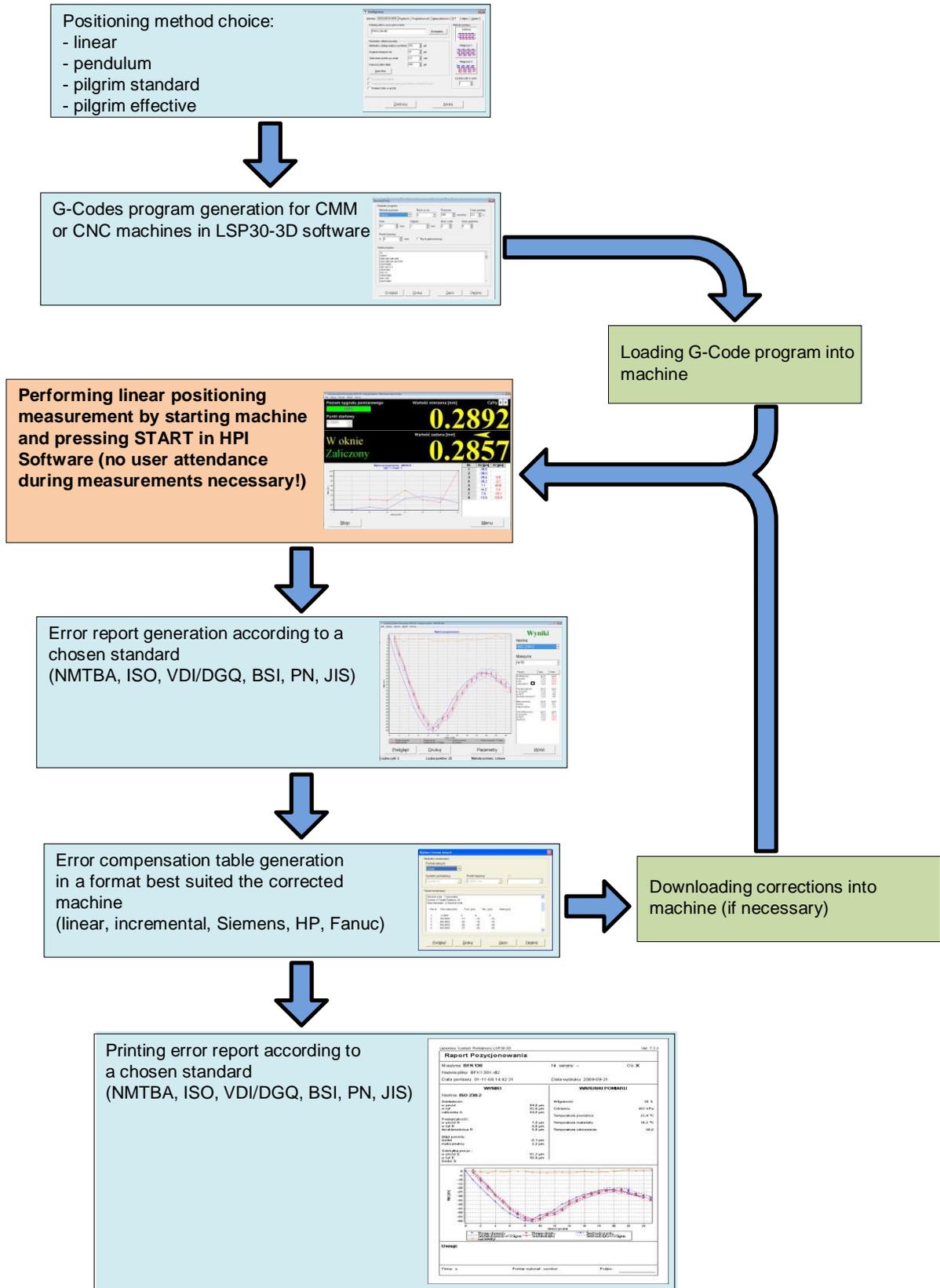


se debe generar el programa para el movimiento de la máquina (Códigos G). El programa generado mueve la máquina de acuerdo con la norma ISO230-2.

Después de iniciar el programa cargado en la máquina, las mediciones también se pueden iniciar en el software HPI. No es necesaria la asistencia del usuario durante el proceso de medición.

Una vez finalizada la medición, se puede generar un archivo especial para la compensación del control de la máquina. Después de cargar el archivo, se debe volver a medir el posicionamiento de la máquina para obtener los resultados finales. Los resultados finales se pueden almacenar o imprimir.

Todos los pasos de medición se describen con mucho más detalle a lo largo del capítulo.



5

FIG.5.1 PROCEDIMIENTO DE CORRECCIÓN DE ERRORES DE POSICIONAMIENTO LINEAL

5.2 Configuración de medición

a. Principios

La medición de posicionamiento es la medición más básica que se realiza con los componentes ópticos lineales: el retroreflector lineal **RL1** y el interferómetro lineal **IL1**. Cualquier cambio en la distancia entre IL1 y RL1 es detectado por el cabezal láser y se muestra en el software HPI.

Como se ilustra en la Figura 5.2, ambos elementos están normalmente alineados a lo largo del rayo láser. Aunque IL1 generalmente se trata como un elemento de referencia respecto al movimiento del RL1 medido, la configuración también puede ser inversa, es decir, RL1 puede estar estacionario con IL1 traducido.

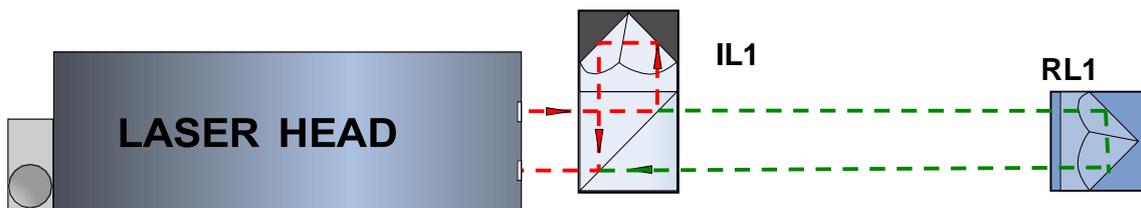


FIG.5.2 CONFIGURACIÓN DE LA TRAYECTORIA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE POSICIONAMIENTO - ESQUEMA

La distancia L medida en la configuración lineal depende significativamente de la longitud de onda real λ_{aire} de los rayos láser con la fórmula

$$L = N * \lambda_{air} = N * \frac{\lambda_{vac}}{n(T,P,H)} \quad (5.1)$$

, donde N denota el número de franjas de interferencia, λ_{vac} es la longitud de onda del láser medida en el vacío y $n(T, P, H)$ es el coeficiente de refracción del aire.

La longitud de onda cambia con las fluctuaciones de los parámetros del

aire: humedad, presión y humedad. De las fórmulas experimentales (ver Capítulo 17) se pueden obtener las dependencias del coeficiente de refracción de T, P y H en condiciones habituales (T = 293K, P = 1000hPa, H = 50%):

$$\frac{\partial n}{\partial T} = -0,93 * 10^{-6} \left[\frac{1}{K} \right]$$

$$\frac{\partial n}{\partial P} = 0,27 * 10^{-6} \left[\frac{1}{hPa} \right]$$

$$\frac{\partial n}{\partial H} = -0,96 * 10^{-8} \left[\frac{1}{\%} \right]$$

Los cambios de longitud de onda se compensan automáticamente mediante el cabezal láser HPI-3D sólo si el sensor TH se utiliza correctamente, es decir, si se coloca cerca de la trayectoria del rayo láser. La presión del aire se mide dentro del cabezal láser.

b. Principios – compensación de temperatura base

Uno de los factores más importantes que limitan la precisión de cada máquina es la temperatura. En la Figura {2} se muestra esquemáticamente una fresadora. En la máquina hay una mesa de trabajo con una pieza de trabajo. También se muestra esquemáticamente el subsistema de medición de la máquina, es decir, la escala de medida. El codificador de posición (marcado como Scale) es la parte que está conectada al control CNC. Puede ser de diferente construcción - magnética, vidrio, láser, etc. Su expansión se corrige con signo positivo para obligar al control del CNC a dejar la mesa en la misma posición a pesar de la expansión térmica de la escala.

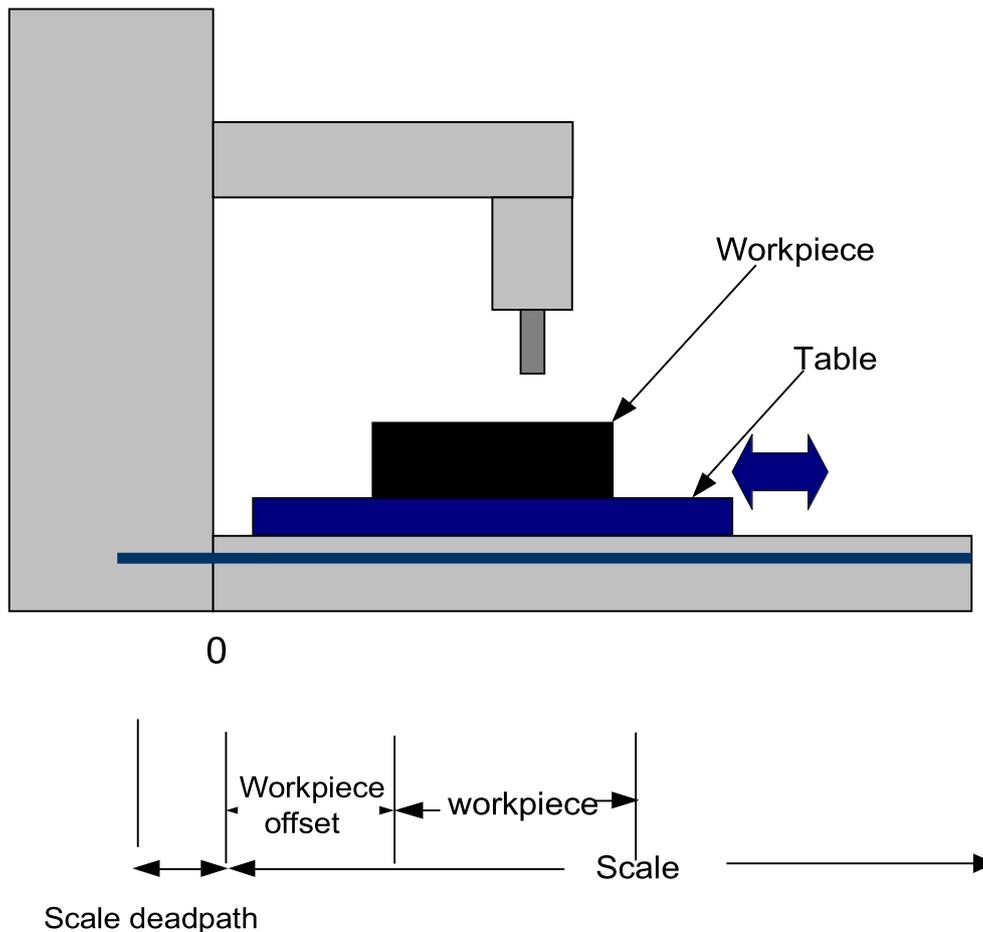


FIG.{2} COMPENSACIÓN BÁSICA DE EXPANSIBILIDAD - NOTACIÓN

Los parámetros más significativos en la compensación de longitud de escala son:

- factor de escala de capacidad de expansión térmica en unidades [ppm] o [$\mu\text{m} / (\text{m} * \text{K})$]; para escalas de vidrio puede tener un valor muy bajo
- Escala de Deathpath: longitud de la parte de la escala no utilizada o la distancia entre el comienzo de la escala y la marca cero.

El HPI-3D es capaz de compensar automáticamente la capacidad de expansión térmica de la escala. El usuario sólo tiene que usar correctamente los sensores de temperatura base (es decir, colocarlos lo más cerca posible del sistema de medición de la máquina) y establecer el valor de capacidad de expansión térmica de la escala.

c. Preparaciones para configurar la medición

Para las mediciones de posicionamiento, se debe utilizar óptica lineal.

Los componentes necesarios son (véanse también las figuras 5.2 a 5.5):

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Interferómetro lineal **IL1**
- Retro-reflector lineal **RL1**
- Sensor de temperatura del aire TH (¡Importante!)
- Al menos un sensor de temperatura base (T1, T2 or T3)(¡Importante!)

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode

Las mediciones de posicionamiento requieren que los elementos ópticos IL1 y RL1 estén alineados a lo largo del rayo láser, como se muestra en la figura 5.2. Cada uno de los elementos se puede mover.

Durante las mediciones de posicionamiento, deben tenerse en cuenta los errores de Abbe, Dead Path y Coseno (para obtener más detalles, consulte el Capítulo 17). ¡El uso del sensor de temperatura del aire y al menos un sensor de temperatura base (T1 o T2 o T3) es **absolutamente necesario**! Se debe usar más de un sensor de temperatura base en ejes de medición largos, especialmente donde es posible un gradiente de temperatura.

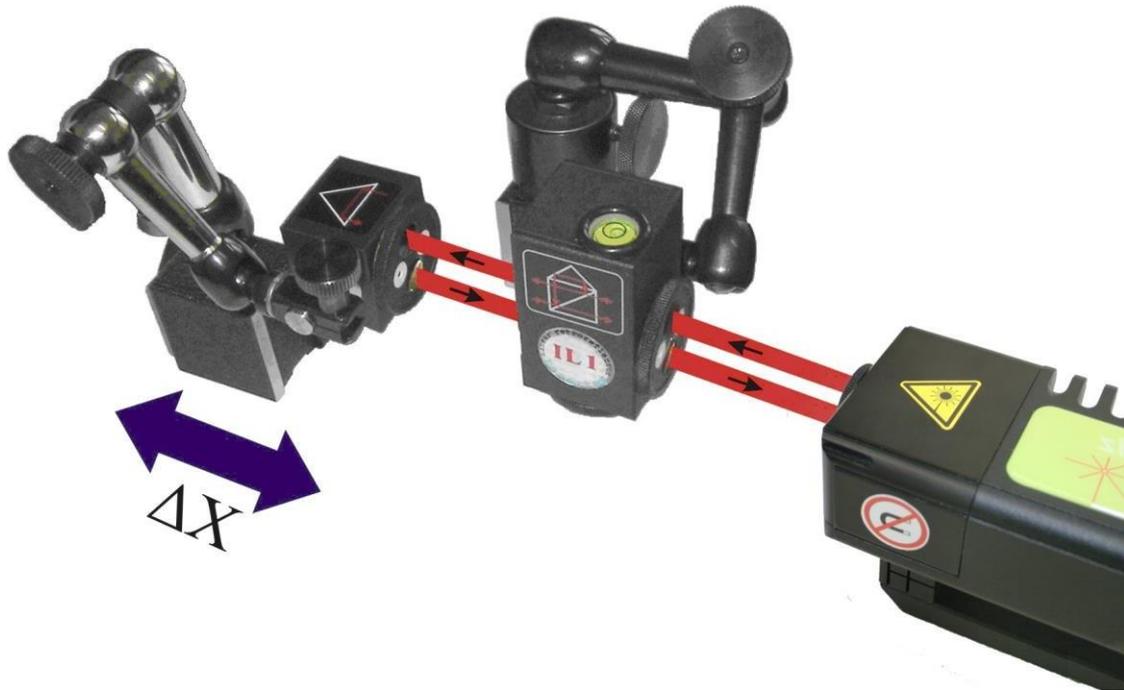


FIG.5.3 CONFIGURACIÓN DE LA TRAYECTORIA ÓPTICA PARA EL POSICIONAMIENTO DE LAS MEDIDAS EN EL EJE X

Si sólo se usa un sensor de temperatura base, entonces los sensores que no se usen deben apagarse en el software HPI. De lo contrario, el valor de la temperatura base sería falso y la medición arrojaría resultados incorrectos. El cambio de sensores singulares se puede realizar en el menú **Display** haciendo clic en los campos de valor de los sensores T1, T2 o T3 en el panel de WiMeteo.

Las mediciones de posicionamiento se pueden realizar no sólo a lo largo del rayo láser (como se muestra en las figuras 5.2 y 5.3) sino también en direcciones perpendiculares al rayo. Estas configuraciones se muestran en las figuras 5.4 y 5.5. En esas dos configuraciones, el rayo láser tiene que entrar en el IL1 desde la parte inferior del elemento. Sólo se puede mover el retroreflector RL1.

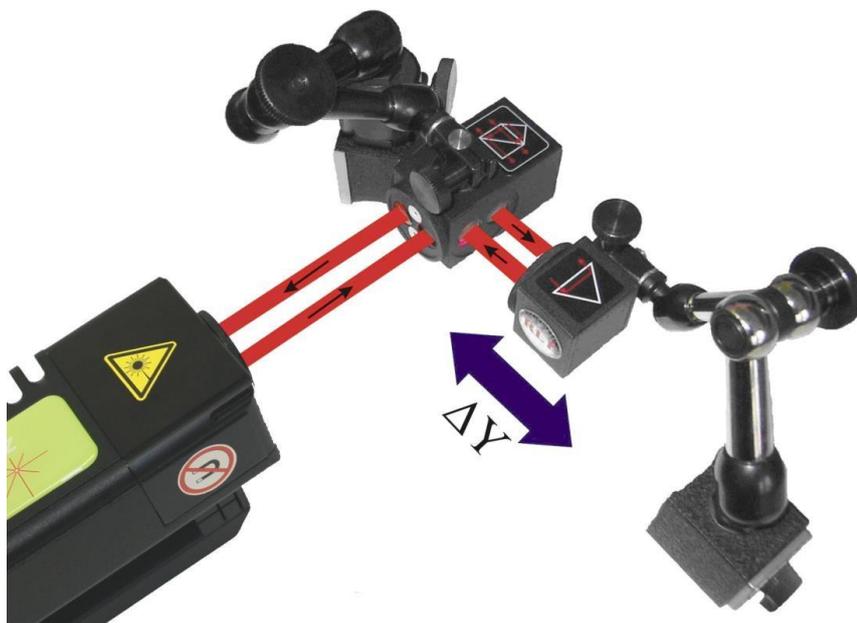


FIG.5.4. CONFIGURACIÓN DE LA TRAYECTORIA ÓPTICA PARA EL POSICIONAMIENTO DE LAS MEDIDAS EN EL EJE Y

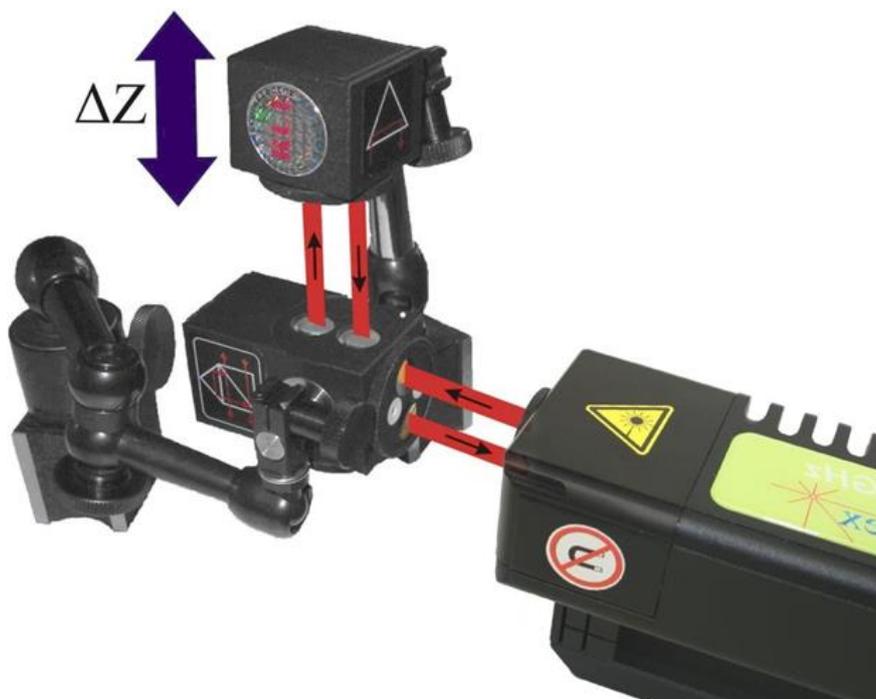


FIG.5.5. CONFIGURACIÓN DE LA TRAYECTORIA ÓPTICA PARA EL POSICIONAMIENTO DE LAS MEDIDAS EN EL EJE Z

5.3 Descripción del Software

a. Introducción

Para iniciar las mediciones de Posicionamiento en el **Menú Principal**, se debe presionar el botón de **Positioning** (Figura 5.6). En la pantalla debería aparecer una ventana de posicionamiento lineal como se muestra en la Fig. 5.7. La ventana consta de un menú desplegable y cuatro paneles:

- 1) Panel de visualización: presenta información sobre la distancia actual, la distancia del objetivo y el nivel de la señal de medición.;
- 2) Panel de trazado de posicionamiento;
- 3) Panel de resultados de posicionamiento ;
- 4) Panel con botones de control e información de estado.

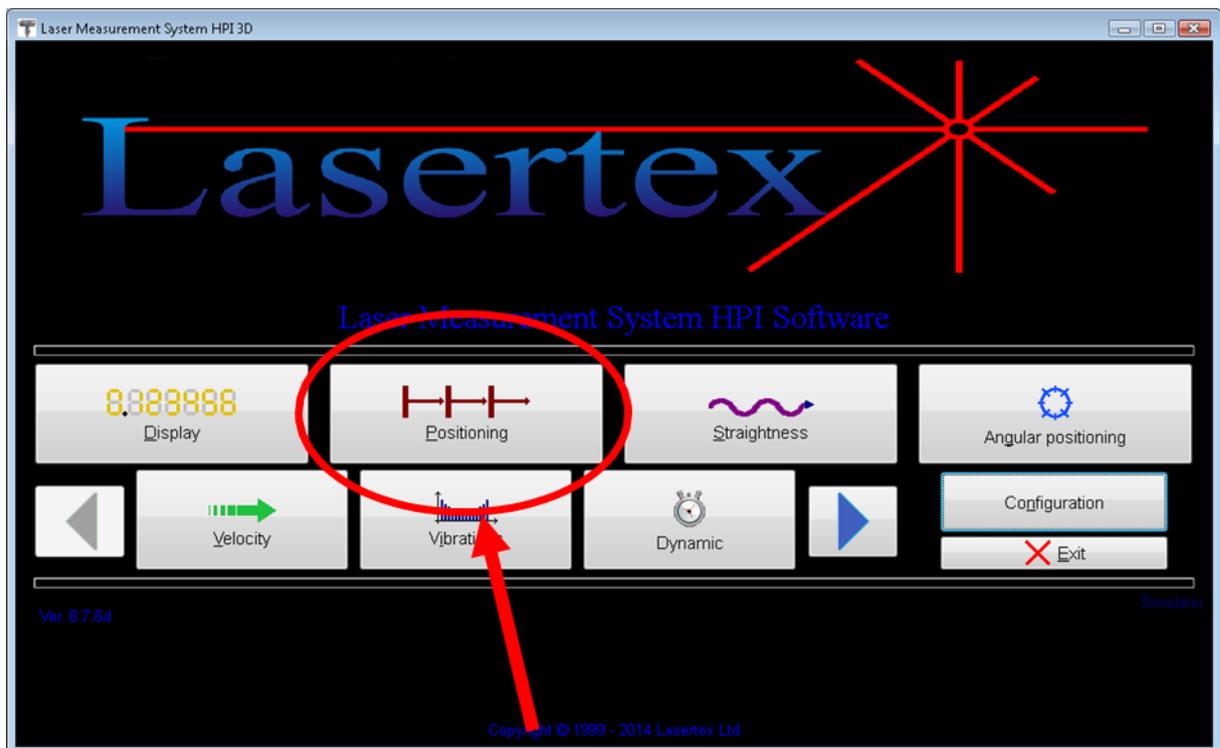


FIG.5.6 MENÚ PRINCIPAL

5

b. Panel de visualización

La parte superior del panel de visualización (bloque 1 de la figura 5.7) se utiliza para el control básico del funcionamiento del láser. A través de este panel es posible monitorear la calidad de la señal de entrada, es decir, la intensidad del haz y el valor actual medido por el láser. El número de dígitos mostrados también se puede modificar.



FIG.5.7 VENTANA DE POSICIONAMIENTO LINEAL

En la esquina superior izquierda del Panel hay dos campos denominados *1st measurement point* and *2nd measurement point* que permiten vincular el sistema de coordenadas del láser con el sistema de coordenadas de la máquina medida. Esta opción se describe con más detalles a continuación en este capítulo. También más adelante en el capítulo se describe una opción para cambiar entre posicionamiento 1D y 3D.

c. Panel de representación gráfica

En el gráfico dibujado en el Panel de trazado de posicionamiento se muestra información sobre la desviación medida entre la traslación real y la deseada de la máquina. En el gráfico, los puntos se colocan en dos colores: las desviaciones medidas durante el movimiento de ida de la máquina se muestran con círculos azules, mientras que las desviaciones medidas durante el movimiento de vuelta se muestran con triángulos rojos. Los puntos de la serie de medidas actual están conectados con la línea continua (consulte la Figura 5.8).

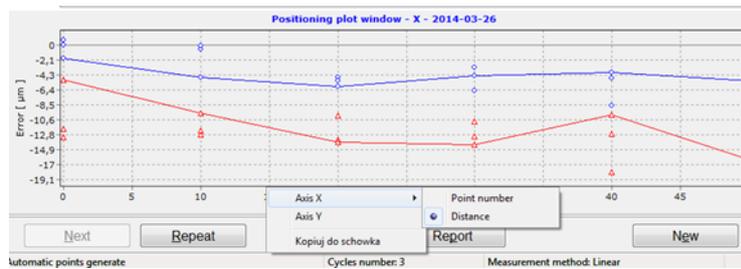


FIG.5.8. PLOT WITH POSITIONING MEASUREMENT RESULTS

Aunque la escala del eje Y se establece automáticamente de forma predeterminada, es posible establecer los límites de visualización manualmente eligiendo la opción **Axis Y** en el menú desplegable (Figura 5.8). Los valores en el eje X se pueden mostrar como unidades de distancia o como números de puntos de medición.

d. Panel de resultados de posicionamiento

En el Panel de valores se muestran valores numéricos de las medidas de posicionamiento (Figura 5.10). Estos son los valores de la serie de medición actual y se muestran en el gráfico de posicionamiento como puntos conectados con la línea.

La unidad de distancia se puede cambiar, independientemente de la



unidad del gráfico, haciendo clic con el botón izquierdo del ratón en la columna de distancia (es decir, Ref.) del gráfico. Hay dos posibilidades: valor real de la distancia o número de punto.

e. Panel de control de posicionamiento

El panel de control de posicionamiento consta de tres partes principales (Figura 5.11):

- Línea con botones de control,
- Línea con información del estado de medición,
- Línea con información del estado del láser.

La funcionalidad de la línea con los botones cambia con el estado de medición actual. En la Figura 5.9 se muestran varias apariencias de la parte de control del Panel de control.



FIG.5.9 PANEL DE CONTROL - DIFERENTES MODOS

El caso A aparece cuando no hay ninguna medición en curso y no se leyeron datos de un archivo. En este modo es posible iniciar la medición ("Start"), reiniciar el contador principal ("Reset position") o volver al menú principal del programa ("Menu").

El caso B aparece durante las mediciones. La medición se puede detener directamente ("Stop") o indirectamente ("Menu"). Después de presionar el botón "Menu", el software siempre da la opción de detener primero la medición.



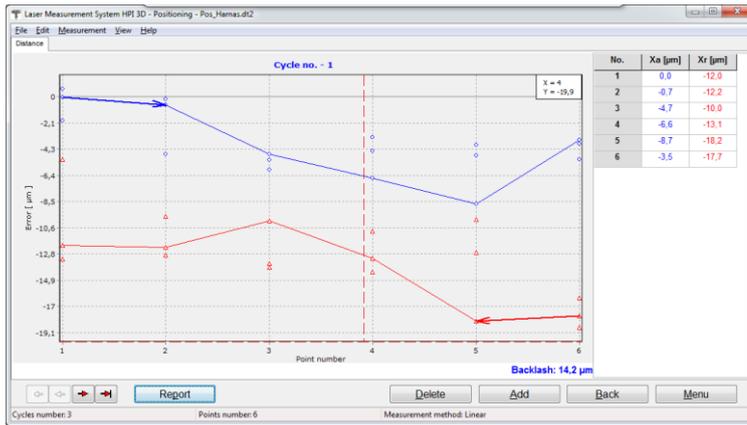


FIG.5.10. VENTANA DE EXPLORACIÓN DE DATOS

El caso C es visible durante el análisis de los resultados obtenidos. Si se miden menos series que el límite deseado, el botón "Next" se activa. Al presionar este botón se inicia la medición.

Los resultados obtenidos durante la medición se agregarán a los resultados registrados hasta el momento. Al presionar el botón "Repeat" también se inicia una nueva medición, pero los resultados reemplazarían a los resultados de la última serie de mediciones. Al presionar el botón "New", todos los resultados registrados se borran y se inicia una nueva medición.

El botón "Browse" abre la ventana de búsqueda de resultados (Figura 5.9). La funcionalidad de esta ventana se muestra con más detalles más adelante en el Capítulo. Al presionar "Report" se abre la ventana Informe de posicionamiento lineal como se muestra en la Figura 5.34



FIG.5.11. BARRAS DE ESTADO EN VENTANA DE POSICIONAMIENTO

En la parte inferior del Panel de control de posicionamiento se pueden encontrar dos líneas de estado. El superior presenta una configuración de las medidas de posicionamiento, el inferior es el estado del sistema láser.

En el primer campo de la línea superior hay información sobre el método de captura de puntos (manual o automático). El siguiente campo informa sobre el número de ciclos en serie (número de ciclos ejecutados

uno tras uno, si no está activa la opción **Stop After Cycle**). En el tercer campo se muestra la información sobre el método de medición seleccionado en la **Configuration**.

La línea inferior muestra información común a todas las opciones del software HPI, es decir, el estado de conexión, láser, señal, sensores y codificador rotatorio. La funcionalidad de la línea se describe en otro capítulo.

f. Menú desplegable - File

La barra de menú consta de las siguientes opciones: File, Edit, Measurement, View, Help. En el menú File (figura 5.12) se pueden encontrar comandos para leer los datos medidos de un archivo, guardar los datos en un archivo, imprimir los resultados de las mediciones o exportarlos a un archivo.

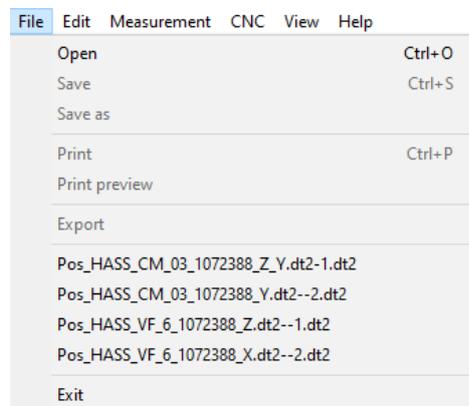


FIG.5.12. MENÚ DESPLEGABLE *FILE*

Otros comandos importantes disponibles en el menú File son las opciones para generar la ruta CNC y preparar la tabla de compensación.

g. Generación de ruta CNC

Las opciones de **generación de ruta CNC** permiten la preparación automática, mediante el software HPI-3D, del programa de código G compatible con la mayoría de los sistemas de control CNC. Las opciones de generación de ruta se establecen en la ventana separada como se muestra en la figura 5.13.

En la parte superior de la ventana se configuran los parámetros de movimiento de la máquina. En la parte inferior se puede visualizar y editar el programa generado. Los resultados se pueden guardar en un archivo de texto o previsualizar e imprimir.

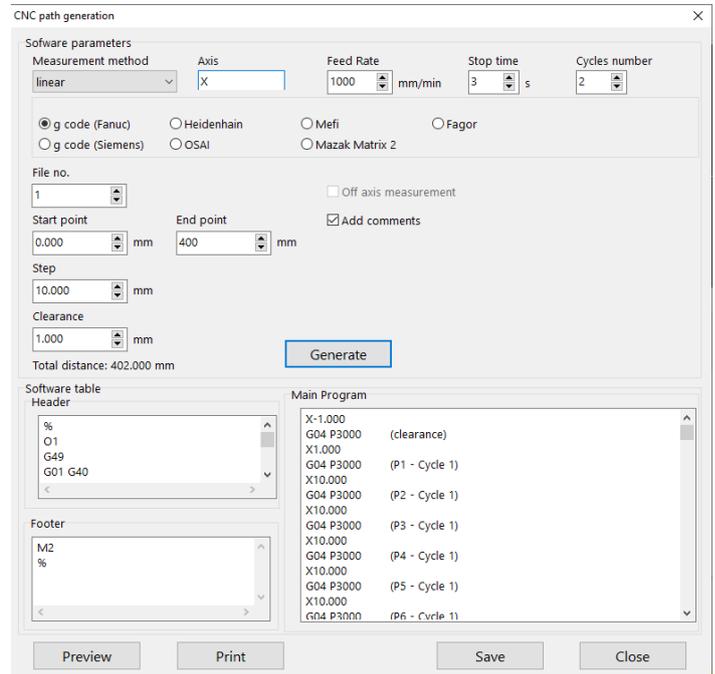


FIG.5.13. VENTANA DE GENERACIÓN DE RUTA CNC

Los siguientes parámetros en el panel de *software parameters* deben configurarse para generar el código adecuado:

- **Measurement method** -: debe configurarse de acuerdo con el método de medición elegido (ver más abajo). Se debe elegir entre *linear*, *pendulum*, *pilgrim effective* y *pilgrim standard*;
- **Axis** – se debe elegir el eje de movimiento de la máquina (X, Y, Z, U, V, W, A, B, C).
- **Feed Rate** – se puede modificar la velocidad máxima de avance de la máquina en el eje elegido durante las mediciones. El valor elegido no puede ser mayor que las limitaciones de la máquina (consulte el manual de la máquina probada) y la limitación del láser (7 m/s = 420000 mm/min).
- **Stop Time** – el tiempo que la máquina se detiene en cada punto de

medición. Este tiempo es necesario para que el software HPI capture el punto medido. El valor adecuado de este parámetro depende de la máquina y de los parámetros de captura *Points Capture* de puntos del láser (descritos más adelante en este capítulo).

- **Step** – la distancia entre los puntos de medición.
- **Clearance** – movimiento adicional de la máquina utilizado para compensar el backlash. El valor elegido debe ser lo suficientemente grande para la compensación adecuada de la holgura de la máquina.
- **Cycles number** – establece el número de ciclos de movimiento generados. Para un cálculo adecuado de los parámetros estadísticos en el Informe, el número de ciclos de medición no debe ser inferior a tres. Cuantos más ciclos de medición se eligen, mejor se realiza la caracterización de la máquina, pero más dura el proceso de medición. El número de ciclos debe ser el mismo que el valor en *Configuration->Positioning->Cycles in series*.
- **G code** – es posible generar el programa estándar de código G o una versión compatible con cualquier control de máquina.

h. Tabla de compensación

Compensation table preparation (figura 5.14) es una opción que se utiliza cuando finaliza la medición (no está habilitada antes del inicio). El

software utiliza los resultados de la medición para calcular errores y generar los valores de compensación para el sistema de control de la máquina. El formato adecuado de la tabla de compensación para el sistema de control de la máquina debe seleccionarse en la lista desplegable *Data format*. Junto con el formato de datos se configuran parámetros adicionales

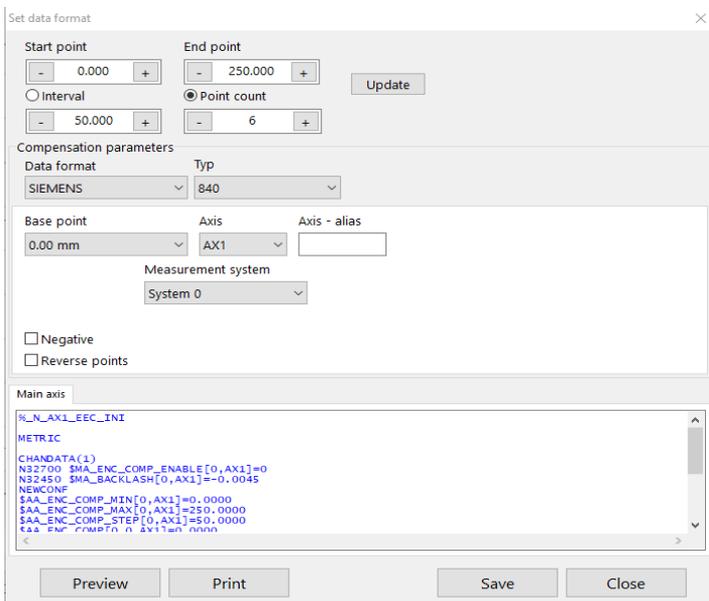


FIG.5.14. VENTANA DE PREPARACIÓN DE LA TABLA DE COMPENSACIÓN

La opción se describe con más detalle al final del capítulo.

i. Menú desplegable - Edit

En la opción del menú desplegable **Edit** (fig. 5.15) hay opciones para configurar los datos medidos de la máquina (Fig. 5.16), definir los límites de error de la máquina (fig. 5.17), previsualizar los resultados de posicionamiento obtenidos, editar puntos de posicionamiento (cuando la opción **Target Points from List** del menú **Measurement** está activa) y cambiar la configuración de posicionamiento general.

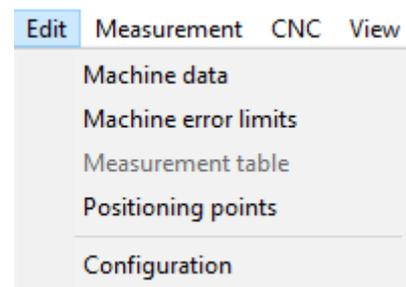


FIG.5.15. MENÚ DESPLEGABLE DE POSICIONAMIENTO *EDIT*

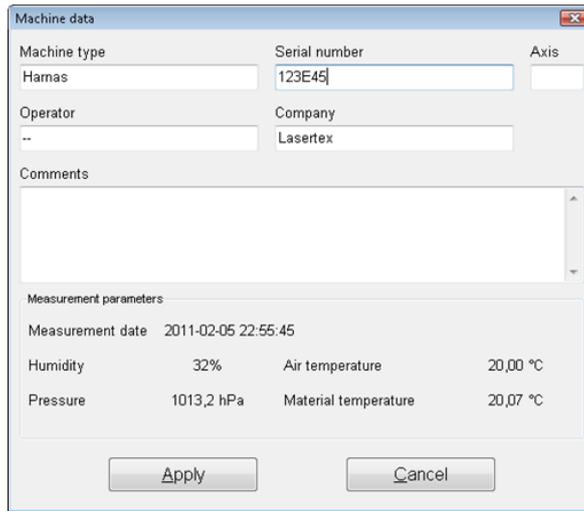


FIG.5.16 VENTANA DE DATOS DE LA MÁQUINA

j. Límites de error de la máquina

En la opción **Edit**, el usuario puede configurar los límites de error permitidos de la máquina para diferentes normas (opción **Machine error** de la máquina - Fig. 5.17). Los resultados de todas las mediciones de posicionamiento lineal se comparan con estos límites (ver Fig. 5.18). Esta opción es especialmente útil cuando se comprueban muchas máquinas del mismo tipo y se esperan los mismos requisitos en cuanto a su precisión.

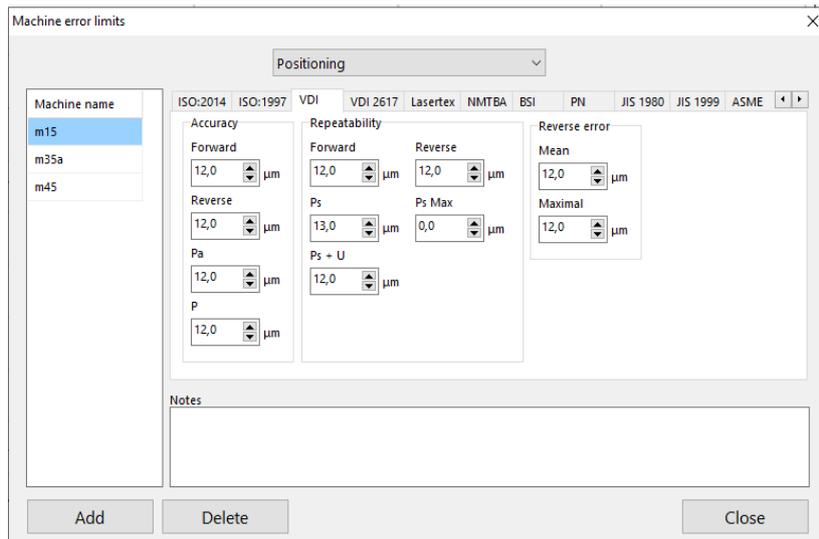


FIG.5.17. VENTANA DE LÍMITES DE ERROR DE MÁQUINA



Results

Norm
ISO 230-2

Machine
m15

Param.	Max.	Value
Accuracy:	[µm]	[µm]
forward	12,0	3,1
reverse	12,0	3,2
overall A	12,0	6,7
Repeatability:	[µm]	[µm]
forward R	12,0	2,5
reverse R	12,0	2,1
bidirectional R	12,0	6,3
Reverse error:	[µm]	[µm]
mean	12,0	3,6
maximal	12,0	3,9
Position. deviation:	[µm]	[µm]
forward E	10,0	2,0
reverse E	12,0	1,3
mean E	12,0	1,5

FIG.5.18. PANEL DE COMPARACIÓN DE LÍMITES DE ERRORES DE MÁQUINA

k. Generación de puntos de posicionamiento

Si la opción **Target Points from List** del menú **Measurement** está activa, entonces el programa espera que la máquina medida se detenga en los puntos definidos en la ventana Puntos de posicionamiento como se muestra en la figura 5.19. Los puntos se pueden introducir manualmente o se pueden

generar a partir de los parámetros de entrada: posición inicial (puede ser negativa), distancia (debe ser positiva) e intervalo (debe ser positivo) o número de puntos. Los puntos se calculan cuando se presiona el botón *Calculate*. Los puntos obtenidos se pueden guardar en un archivo.

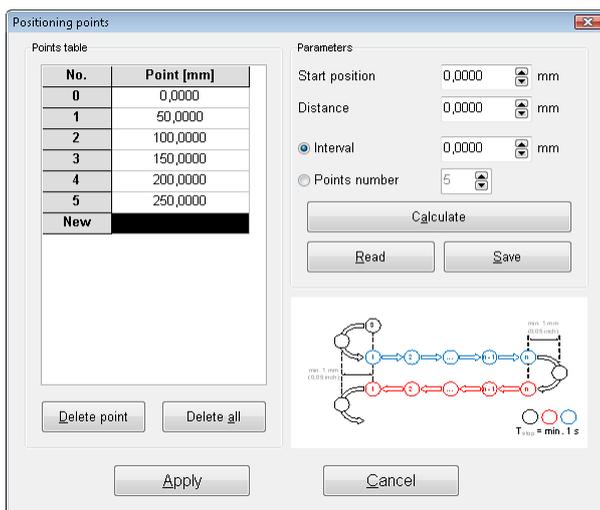


FIG.5.19. GENERACIÓN DE PUNTOS DE POSICIONAMIENTO

I. Configuración de medición de posicionamiento

En la pestaña **Positioning** en la ventana **Configuration** se pueden configurar las opciones importantes de las medidas de posicionamiento lineal (Fig. 5.20).

En la pestaña **Measurement**, el usuario puede elegir los principales parámetros de la medición de posicionamiento. Los parámetros agrupados en la pestaña **Point detection** cambian el comportamiento del software durante el proceso de captura de puntos. Hay cuatro métodos disponibles para verificar el posicionamiento de la máquina: Linear, Pendulum, Pilgrim Standard y Pilgrim Effective (botones en el panel *Measurement method*). Las direcciones del movimiento esperado de la máquina se muestran en los pictogramas y en las figuras 5.21, 5.22, 5.23 y 5.24. Por lo general, se utiliza el método lineal.

En el campo *Cycles in series* en serie se configura el número de ciclos de medición completos. Cuanto mayor número de ciclos se utilice, mejor resultado se obtendrá. Se recomiendan al menos tres ciclos para el cálculo adecuado de las estadísticas.

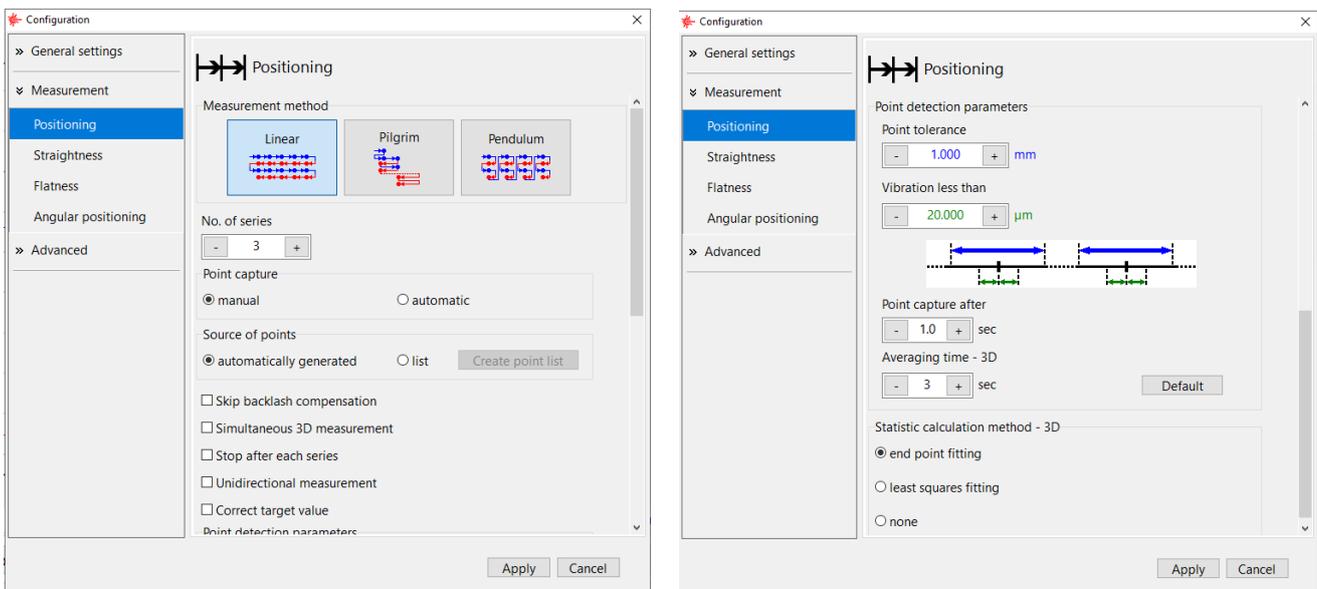


FIG.5.20 VENTANA CONFIGURACIÓN DE POSICIONAMIENTO LINEAL

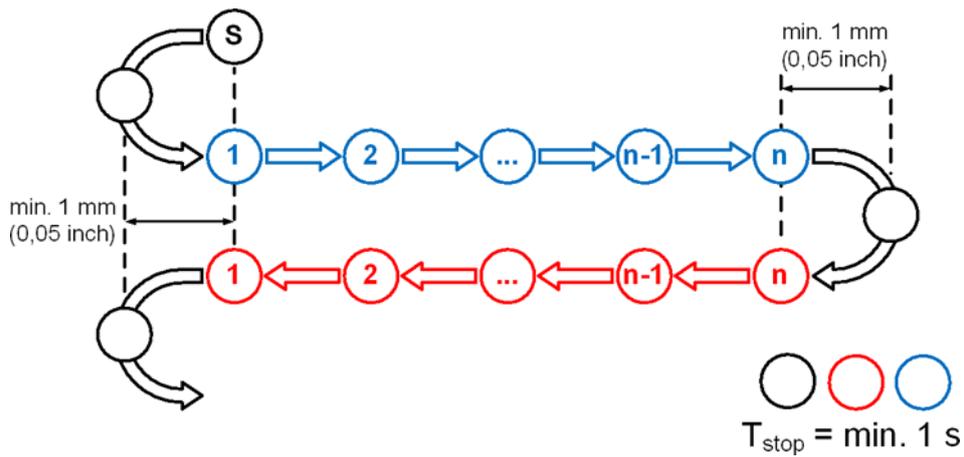


FIG.5.21. MOVIMIENTO DE LA MÁQUINA EN MODO **LINEAR** (S - PUNTO DE INICIO)

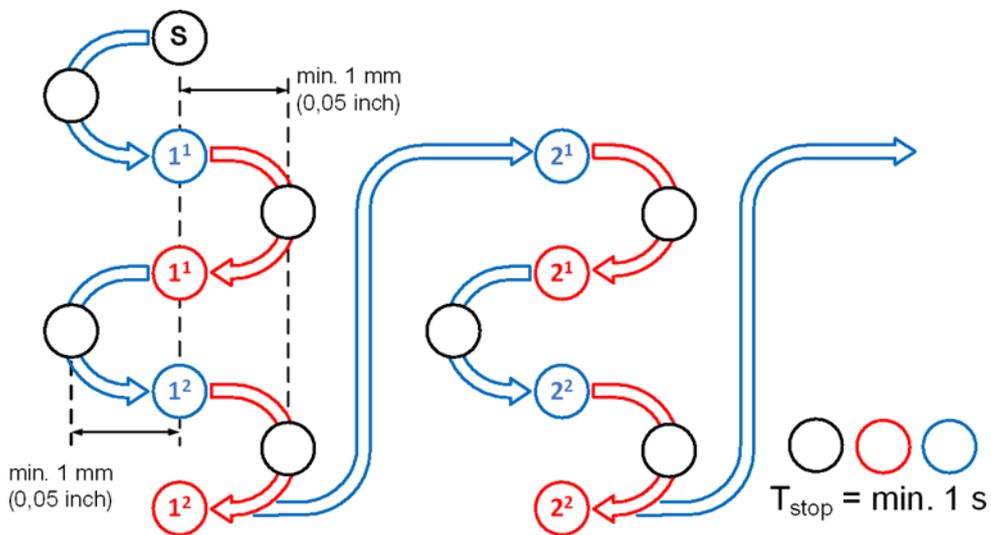


FIG.5.22. MOVIMIENTO DE LA MÁQUINA EN MODO **PENDULUM** (S - PUNTO DE INICIO)

5

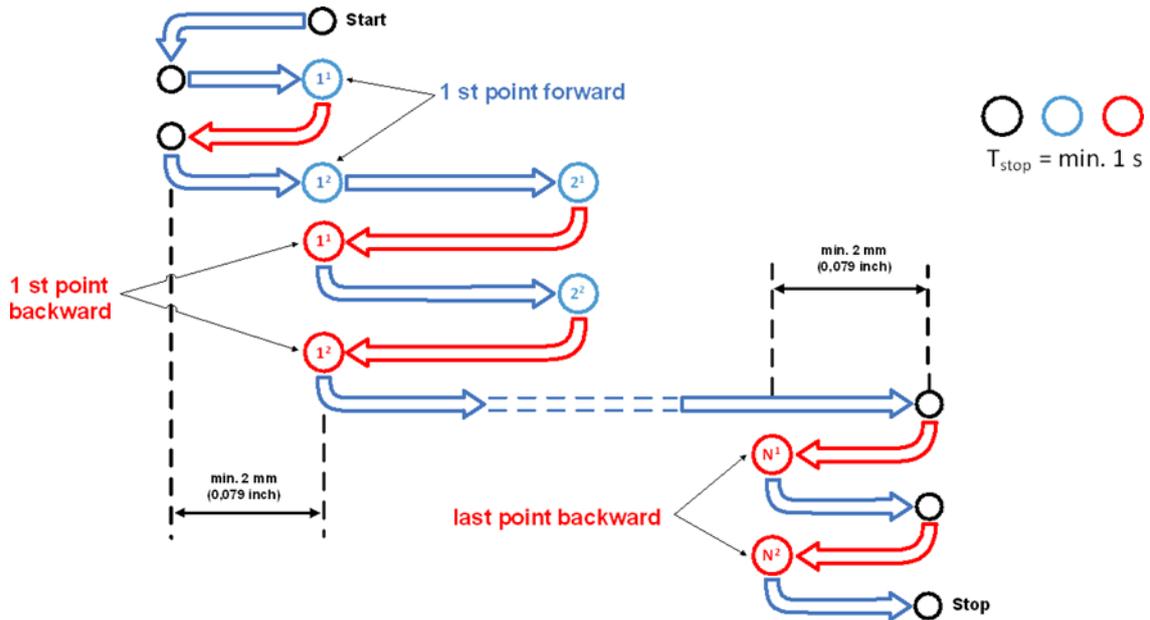


FIG.5.23. MOVIMIENTO DE LA MÁQUINA EN MODO PILGRIM STANDARD (S - PUNTO DE INICIO)

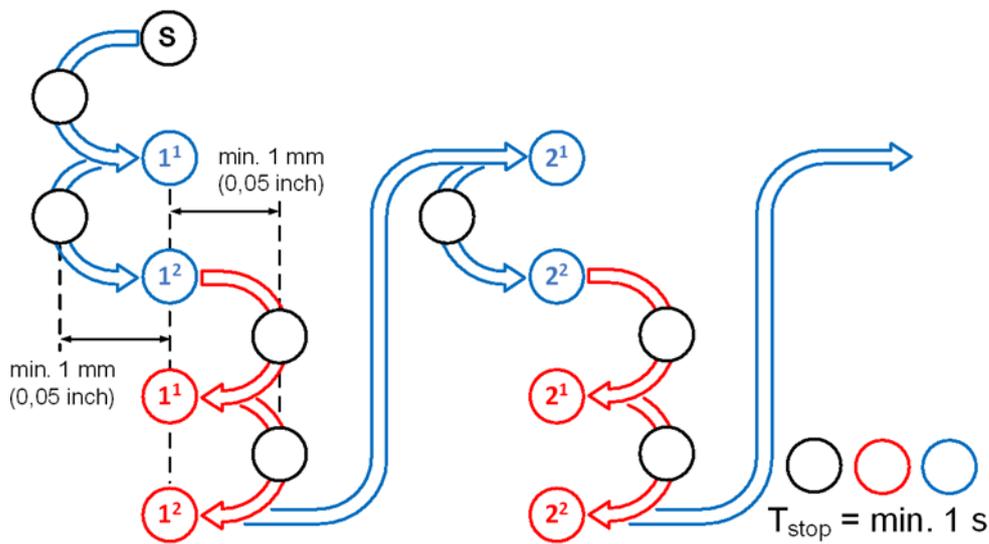


FIG.5.24. MOVIMIENTO DE LA MÁQUINA EN MODO PILGRIM EFFECTIVE (S - PUNTO DE INICIO)

Los puntos de medición pueden capturarse manualmente (con el espacio del teclado o el disparador inalámbrico) o capturarse

automáticamente por el software. Para la captura automática se utilizan los parámetros establecidos en la pestaña **Point detection**.



Para máquinas controladas numéricamente, se debe elegir la captura automática de puntos y la generación automática de puntos..

Los puntos de medición pueden ser detectados automáticamente por el software durante el proceso de medición o pueden editarse manualmente. La edición manual de la lista de puntos se describe más adelante en este capítulo.

El conjunto de casillas de verificación permite una mayor modificación del proceso de posicionamiento

- **Skip backlash compensation** – si se marca, el software no espera que la máquina realice el movimiento de compensación del backlash (del punto S al punto 1 en las figuras 5.21 - 5.24). Cuando se elige la opción de captura de punto manual, no hay compensación de backlash en el primer punto de medición.
- **Correct target value** – si se marca, el software corrige el valor de la distancia medida en cada punto capturado. Opción utilizable para máquinas no numéricas.
- **Stop after each cycle** – si se marca, las mediciones se detienen automáticamente después de completar el ciclo de medición (es decir, cuando la máquina vuelve a la posición 0). La opción es útil cuando se van a ver y analizar resultados intermedios.
- **Simultaneous 3D measurement** – si se marca, durante las mediciones de posicionamiento también se realizan mediciones de rectitud 3D. Se requiere un mayor tiempo de parada de la máquina en los puntos de medición.
- **Unidirectional measurements** – si se marca, la medición finaliza

cuando se detecta el movimiento de retorno de la máquina y no cuando la máquina vuelve a cero.

Las opciones disponibles en la pestaña **Point detection** sólo se pueden utilizar cuando se elige la opción *Automatic Point Capture*. Definen las condiciones bajo las cuales el software captura los puntos de medición. Se captura un punto cuando las vibraciones de la distancia medida son más bajas que el valor de *Vibration less than*, después del tiempo definido en *Point capture after*. El valor del punto de medición se redondea con la tolerancia establecida en *Point tolerance*.

Por ejemplo, si el valor de *Point tolerance* se establece en 1,0 mm y el láser mide 50,11 mm, entonces se toma un punto de medición deseado de 50,00 mm con un error de máquina de 0,11 mm. En el caso de que el láser mida 60,61 mm, el punto de medición de 61,00 mm se toma con un error de máquina de -0,39 mm.

En el caso de que la tolerancia de punto se establezca en 0,2 mm y el láser

mida 50,11 mm, se tomará un punto de medición deseado de 50,20 mm con un error de máquina de -0,09 mm. En el caso de que el láser mida 60,61 mm, el punto de medición de 60,60 mm se toma con un error de máquina de 0,01 mm.

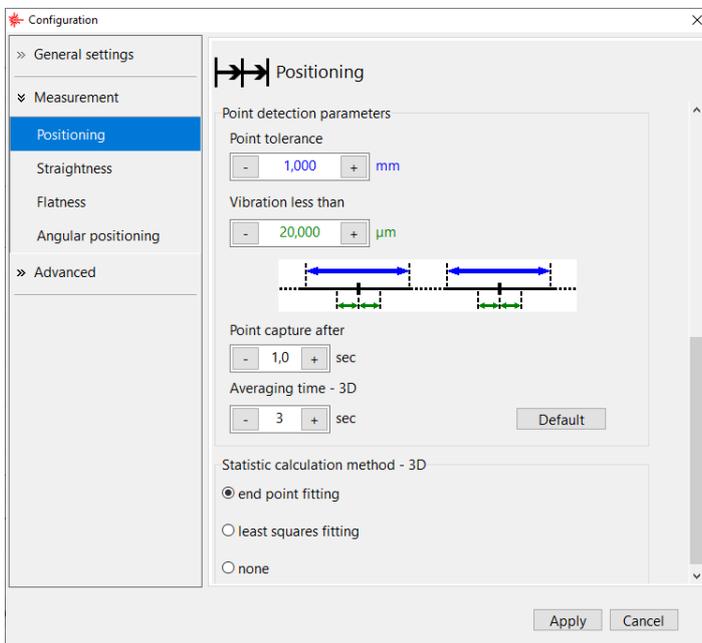


FIG.5.25. VENTANA DE COFIG DE POSICIONAMIENTO LINEAL - DETECCIÓN DE PUNTOS

m. Menú desplegable – Measurement

Menú **Measurement** incluye las opciones relacionadas con el proceso de medición:

Stop after each cycle – si esta opción está activa, el programa interrumpe la medición cuando se completa un ciclo de medición; si no está activo se ejecuta el número de ciclos configurado.

Correct target value – - Esta opción permite cambiar un valor de distancia definido anteriormente de un punto de medición durante el proceso

de medición. Antes de capturar el punto, aparece una ventana en la que se puede escribir un nuevo valor de distancia. En el campo de edición sólo hay lugares marcados después de la coma, lo que provoca que no sea necesario escribir toda la distancia.

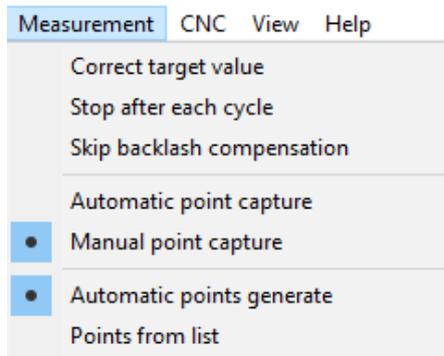


FIG.5.26. MENÚ DESPLEGABLE DE POSICIONAMIENTO *MEASUREMENT*

Skip backlash compensation – si se marca, el software no espera que la máquina realice el movimiento de compensación de backlash (del punto S al punto 1 en las figuras 5.21 - 5.24).

Automatic point capture – El programa captura los puntos de medición automáticamente usando la configuración de *Configuration*. En este modo, el propio sistema reconoce el momento de la parada, el valor del punto de destino, la dirección del movimiento y el número de serie. Opción exclusiva con "Manual point capture".

Manual point capture – Los puntos medidos son capturados por el programa cuando se presiona el botón de captura manual *Manual Capture*, una tecla de espacio o un botón del disparador remoto. Opción exclusiva



con "Automatic point capture".

Automatic points generate – Los puntos de posicionamiento se calculan automáticamente por el programa. El cálculo de puntos se realiza en el primer ciclo de medición. Opción exclusiva con "Points from list".

Points from list – cuando se selecciona esta opción en la pantalla aparece una ventana para la edición de puntos de posicionamiento. Esta ventana permite escribir o calcular valores de distancia para puntos de posicionamiento que se comparan con puntos medidos durante la medición de posicionamiento. Opción exclusiva con "Automatic points generate".

El menú **View** se usa para activar o desactivar la tabla de Desviación **Deviation table** y para activar el dibujo en los puntos del gráfico de todos los ciclos **All cycles** (el ciclo activo se dibuja usando una línea continua, pero los ciclos restantes se ilustran usando sólo puntos). El comando **Show pictogram** se utiliza para presentar un diagrama esquemático del método de medición seleccionado.

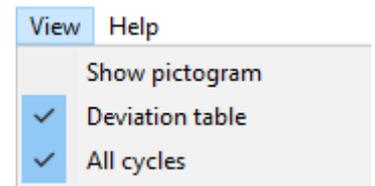


FIG.5.27. MENÚ DESPLEGABLE *VIEW*

5.4 Preparaciones para la medición

a. Ventana de medición

Si el sistema está listo para funcionar, aparecerán en la pantalla dos pantallas digitales y el indicador del nivel de la señal de medición. En la pantalla superior se muestra el valor medido. En la pantalla inferior se muestra el valor de la posición objetivo (leído de la tabla de puntos de datos o designado automáticamente). Debajo de las pantallas del lado izquierdo se muestra un gráfico en el que se muestran los resultados de las mediciones. En el lado derecho se puede encontrar una tabla de errores, **Error Table**. Debajo del gráfico se pueden encontrar tres botones.

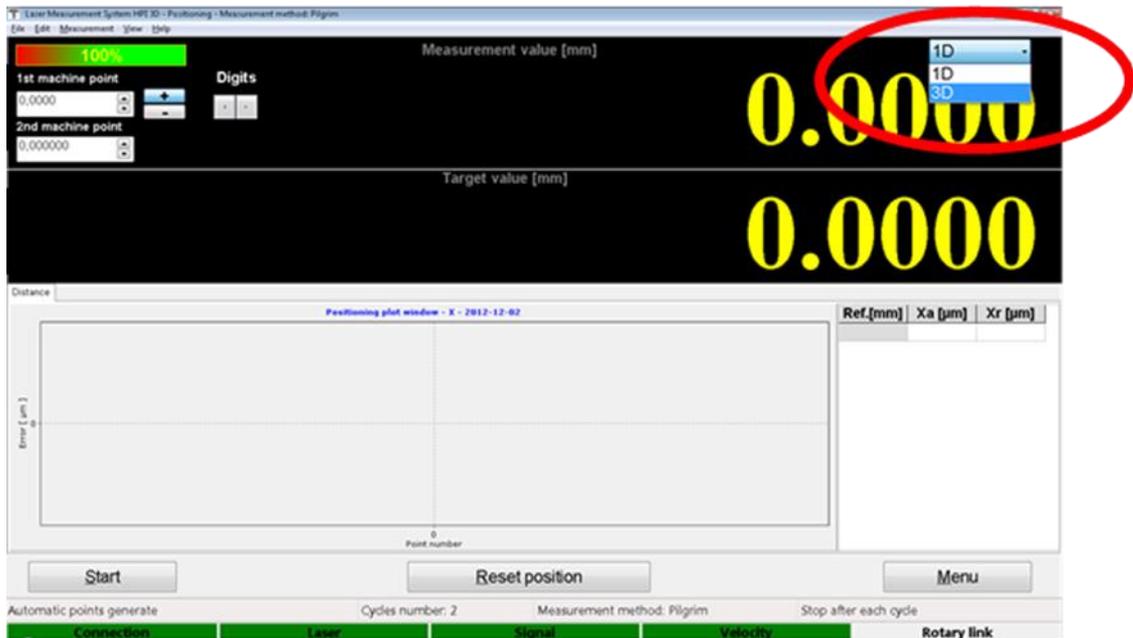


FIG.5.28 ELECCIÓN ENTRE POSICIONAMIENTO 1D Y 3D

- **Start** - comienzo de la medición,
- **Reset Position** – restablecer el valor medido,
- **Menu** - permite volver al menú principal.

b. Mediciones 1D y 3D

En la esquina superior derecha de la ventana principal de posicionamiento (ver figura 5.28) se coloca el botón para elegir si el láser mide sólo el posicionamiento ("1D") o si la rectitud de los ejes 3D se mide simultáneamente ("3D"). Si se elige la opción "3D", junto con los datos de posicionamiento, se recopilan los datos de rectitud en planos horizontales y verticales.

Todos los datos medidos se pueden examinar durante las mediciones cambiando los paneles de datos (figura 5.29). Los datos de la serie de medidas reales se muestran en la tabla y en el gráfico conectado con líneas. Los puntos de series obtenidas anteriormente son visibles en el gráfico como círculos azules o triángulos rojos.

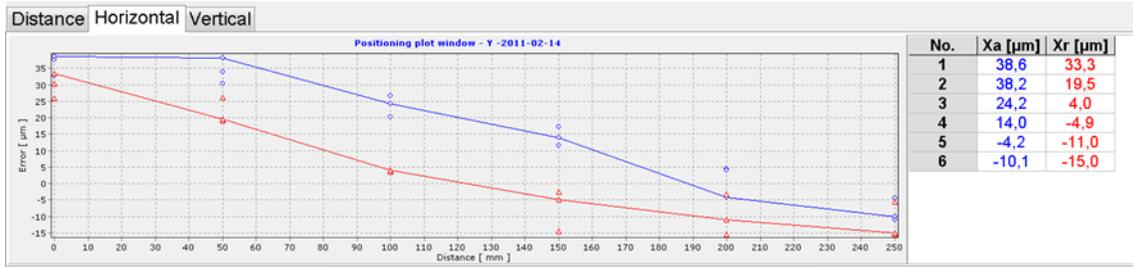


FIG.5.29. NAVEGACIÓN DE DATOS 3D

c. Mediciones según el Sistema de coordenadas de la máquina

Es posible obtener medidas de posicionamiento directamente en el sistema de coordenadas de la máquina. Para hacer esto, los campos 1er punto de máquina y 2do punto de máquina deben tener algún valor (ver figura 5.31). En estos campos debe introducirse la posición de los dos primeros puntos de

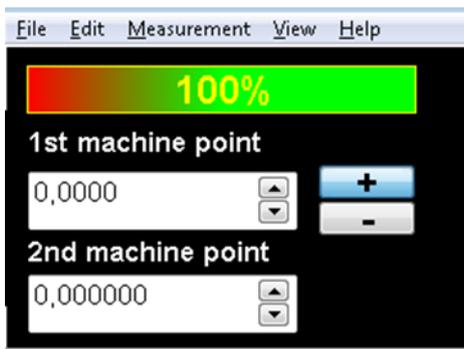


FIG.5.31. CONEXIÓN DE SISTEMAS DE COORDENADAS DE LÁSER Y MÁQUINA

medición en el sistema de coordenadas de la máquina. Después de la modificación de estos campos, los resultados de la medición se muestran en el sistema de coordenadas de la máquina. Además, los archivos de compensación de errores se modifican de forma adecuada.

d. Configurar puntos de medición

La medición de posicionamiento lineal requiere posiciones de destino que definan los puntos donde se calculan los errores de posicionamiento. Los puntos objetivo pueden definirse automáticamente durante el primer ciclo de la medición, o escribirse manualmente en la lista o calcularse (*Target Points From List*). Los puntos se detectan con una tolerancia de 1,0 mm en modo automático (si se requiere otro valor de tolerancia de punto, entonces *Configuration->Positioning->Point detection->Point tolerance value* debe



cambiarse). Los puntos de posicionamiento también se pueden escribir o calcular después de marcar la opción *Target Points From List* (ver figura 5.19).

Después de activar esta opción, los puntos de posicionamiento se pueden definir con cualquier exactitud.

La medición se puede realizar en una opción automática **Automatic** o en una opción de captura manual **Manual Capture**, como se describe anteriormente en este capítulo. En el modo automático, el propio sistema reconoce el momento de la parada, el valor del punto de destino, la dirección del movimiento y el número de serie.

5.5 Reglas para la medición de posicionamiento automático

- 1) El tiempo de inactividad de la máquina en el punto de posicionamiento no debe ser inferior a 1 segundo - valor predeterminado (esto se puede cambiar en *Configuration->Positioning->Point detection->Point capture after*),
- 2) Las vibraciones del objetivo deben ser inferiores a 10 μm - valor predeterminado (esto se puede cambiar en *Configuration->Positioning->Point detection->Vibrations less than*),
- 3) El movimiento de compensación del juego de la máquina debe exceder 1.0 mm.

Si las vibraciones son demasiado grandes y el sistema no captura puntos, entonces la opción de captura manual **Manual Capture** debe estar activada en el menú **Measurement**.

5.6 Observaciones sobre mediciones y análisis de datos

El examen del posicionamiento lineal de la máquina consta de al menos 2 ciclos de medición.

En cada ciclo medido, la máquina mueve el retrorreflector la distancia programada hacia adelante y hacia atrás.

Después de cada cambio, la máquina debe detenerse durante un tiempo de al menos un segundo.

Desde el punto de vista práctico, debido a la vibración de la máquina, el tiempo de parada debe exceder los 3 segundos.

La distancia medida por el sistema láser se guarda en la tabla de resultados.

Después de un ciclo, si se establece **Stop after each cycle**, o después de todo el proceso de medición, aparece la ventana con los resultados (figura 5.32).

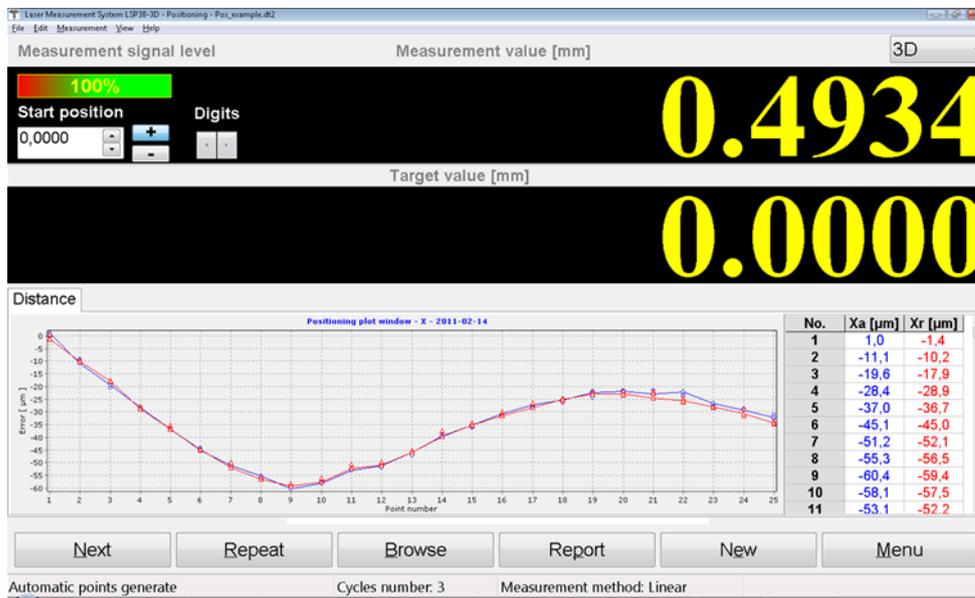


FIG.5.32. VENTANA DE POSICIONAMIENTO DESPUÉS DE TERMINAR UN CICLO DE MEDICIÓN COMPLETO



FIG.5.33. VENTANA DE EXPLORACIÓN DE DATOS

Los botones **Remove** y **Add** se pueden utilizar para eliminar o agregar un ciclo de medición, respectivamente. Es posible cambiar el ciclo de medición en el que se sospecha un error accidental. El botón **Browse** abre la ventana de exploración de datos (figura 5.33) donde se puede ver y analizar cada ciclo de datos.

Tanto desde la ventana de posicionamiento principal como desde la ventana de navegación de datos se puede generar el informe de medición. Si se completan al menos dos series de ciclos, se pueden realizar cálculos estadísticos y se puede generar el informe. Para obtener el informe final, se debe presionar el botón **Report**. La pantalla del PC después de presionar el botón **Report** se presenta en la fig. 5.34.

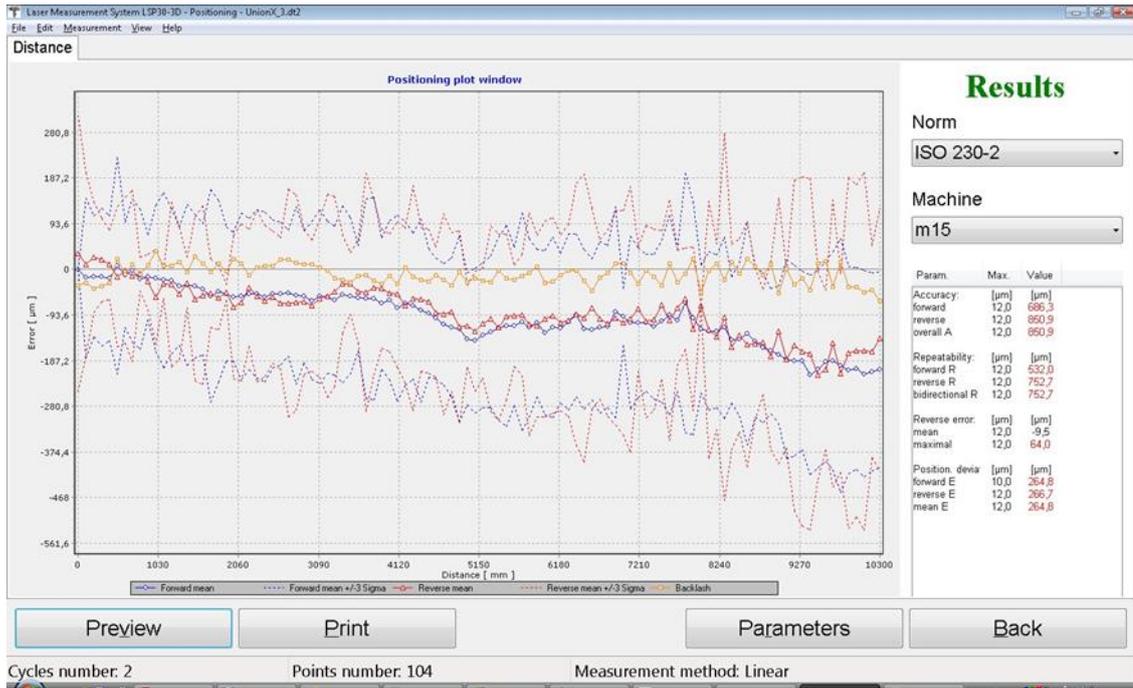


FIG.5.34. VENTANA DE INFORME DE POSICIONAMIENTO LINEAL

Los resultados de posicionamiento se presentan en el gráfico y en el panel **Results**. Este panel también se utiliza para configurar los parámetros de procesamiento de datos de medición. La norma define un método estadístico utilizado en los cálculos y se puede elegir de una lista desplegable. La selección de normas hace que se vuelvan a calcular los resultados. Los valores límite para los parámetros medidos de la máquina se presentan en este panel. Se asignan a la máquina que se elige de la lista desplegable **Machine**. Si el valor de error excede los límites de la máquina, este error se muestra en rojo.

Debajo del gráfico hay: botones utilizados para la vista previa del informe, **Preview**; imprimir el informe, **Print**; cambiar los parámetros del gráfico, **Parameters**, y volver a la ventana anterior.

La escala del eje se puede cambiar usando la opción **Axis Scale** (escala o asignación automática, valores mínimos y máximos) disponible al hacer clic con el botón derecho del ratón en el gráfico.



Positioning measurement - Report

Machine: Union Serial no.: Axis: V
 Acquisition date: 2011-01-04 18:45 Print date: 2012-12-02 22:19:49

RESULTS		MEASUREMENT CONDITIONS	
Norm: ISO 238-2			
Accuracy:		Humidity	58 %
forward	30.7 µm	Pressure	1013.0 h
reverse	48.7 µm	Air temperature	20.00 °
overall A	48.7 µm	Media/temperature	20.00 °
Repeatability:		Reference temperature	20.0
forward R	0.0 µm		
reverse R	0.0 µm		
bilateral R	48.0 µm		
Process error:			
mean	7.8 µm		
maximal	48.0 µm		
Position - deviation:			
forward E	30.7 µm		
reverse E	48.7 µm		
mean E	48.0 µm		

Comments:
 Company: Operator: Signature:

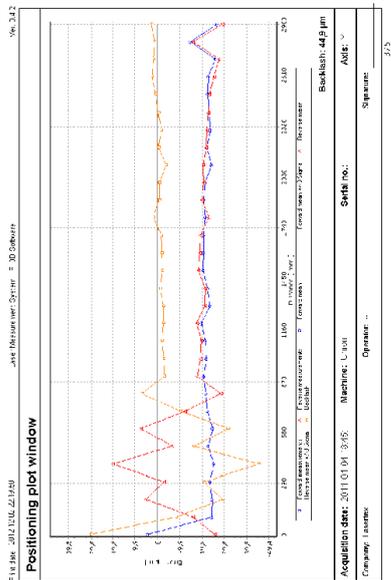


FIG.5.35. EJEMPLO DE INFORME DE POSICIONAMIENTO LINEAL

El informe generado se puede simplificar o ampliar. La ventana de selección se muestra cada vez que se presionan los botones **Preview** o **Print**. La versión simplificada consta de tres páginas: la página de título, la página de resultados y la página del gráfico; consulte también la figura 5.35. El logotipo de la página de título se puede cambiar en **Configuration->Parameters**. En el Informe ampliado se agregan páginas adicionales con resultados de medición. El número de páginas adicionales depende del número de puntos de medición recopilados.



5.7 Compensación de error de la máquina

Una vez finalizada la medición, los datos se pueden guardar en un archivo o exportar como un archivo de texto (menú desplegable *File->Export*). La exportación de archivos de texto brinda la posibilidad de un análisis adicional de los datos obtenidos en herramientas matemáticas como Matlab, Mathematica o Excel.

El software HPI a partir de los resultados del posicionamiento genera también el archivo de compensación de texto para el control de la máquina (figura 5.36). En este momento hay disponibles ocho formatos diferentes de archivos de salida. El formato debe seleccionarse de acuerdo con el tipo de control de la máquina.

Dependiendo del formato de datos de salida elegido, aparecen diferentes conjuntos de parámetros en la ventana *Error Compensation* (figuras 5.37- 5.39). A continuación se describen los formatos de datos más utilizados.

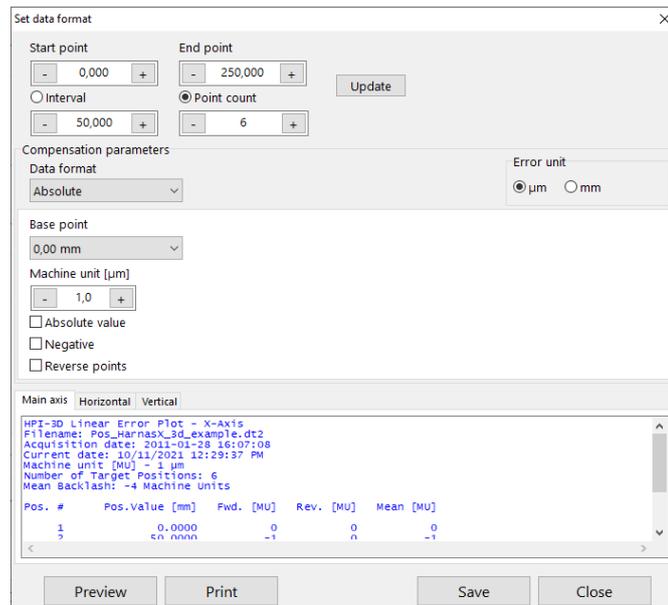


FIG.5.36. COMPENSACIÓN DE ERRORES DE MÁQUINA

a. Formato de datos absoluto e incremental

Los formatos de archivo de corrección de errores básicos y más universales son *Absolute* e *Incremental*. En este caso, los datos se formatean como una tabla simple con cinco columnas (figura 5.37):

- número de punto de posicionamiento,
- valor de distancia en el punto de posicionamiento,
- error en la dirección de avance,
- error en dirección de retorno,
- error medio.

En el caso del formato absoluto, los valores de los errores son absolutos, no relativos. En el caso del formato incremental los errores en el punto determinado se calculan en relación a los errores en el punto anterior, tomando como cero el error en el primer punto de medición.

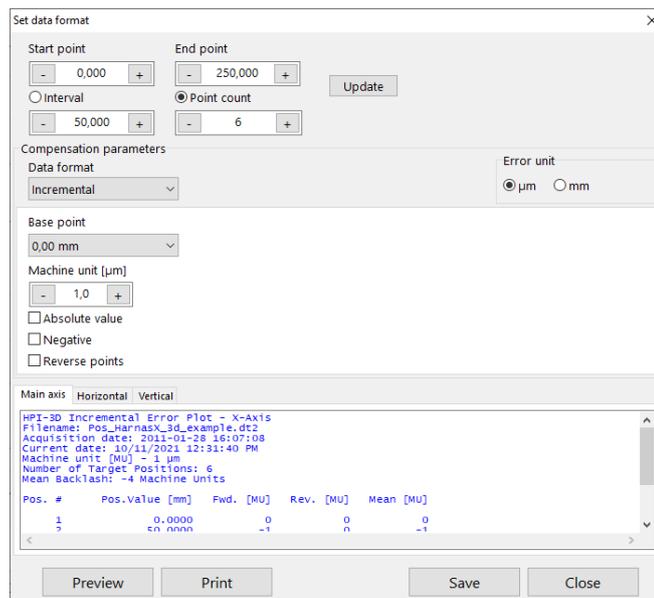


FIG.5.37. COMPENSACIÓN DE ERRORES DE MÁQUINA - LINEAL Y FORMATO DE DATOS INCREMENTAL

La ventana de compensación para esos formatos se muestra en la figura 5.37. El usuario puede cambiar la unidad de error *Error unit* entre μm and mm y el punto base *Base point*. El valor del punto base se suma a todos los valores de posición en la segunda columna.

b. Formato de datos Siemens

El archivo de formato de datos de Siemens se puede utilizar en las unidades de control de máquinas más comúnmente producidas por Siemens.

La elección es entre los tipos 828 y 840.

Para unidades de control más antiguas, se debe utilizar el formato de datos incrementales.

Como se muestra en la figura 5.38, el formato del archivo Siemens difiere mucho del formato absoluto / incremental. El archivo de tipo Siemens se puede almacenar en un archivo y cargar directamente en la máquina corregida (con unidades 828 u 840).

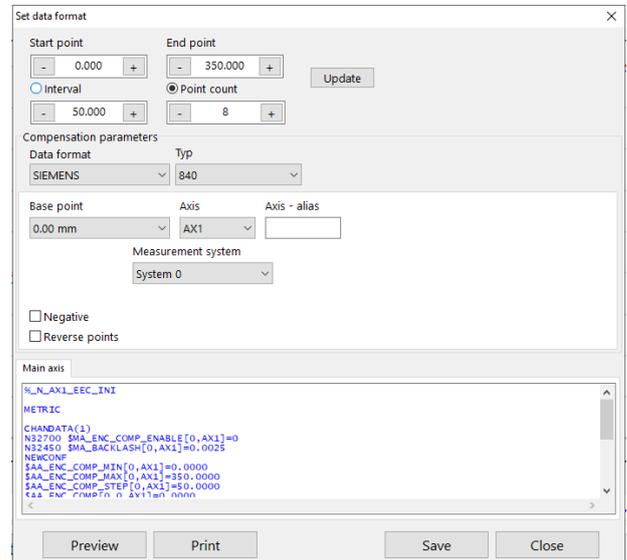


FIG.5.38. COMPENSACIÓN DE ERRORES DE MÁQUINA - FORMATO DE DATOS SIEMENS

Es posible configurar el sistema de medición *Measurement system* adecuado, cambiar el punto base de la máquina *Base point* (no es necesario cuando se utiliza el sistema de coordenadas de la máquina) y cambiar el nombre del eje compensado.

c. Formato de datos Fanuc

El archivo de formato de datos de Fanuc se puede utilizar en las unidades de control de máquinas más comúnmente utilizadas por Fanuc. La elección es entre diferentes tipos de unidades de control Fanuc.

Como se muestra en la figura 5.39, el formato del archivo Fanuc difiere mucho del formato absoluto / incremental. El archivo de tipo Fanuc se puede almacenar en un archivo y cargar directamente en la máquina corregida.

Es posible establecer la compensación de datos adecuada *Data offset* (debe estar en el rango 0-1023), cambiar el punto base de la máquina (no es necesario cuando se usa el sistema de coordenadas de la máquina) y cambiar el nombre del eje compensado.

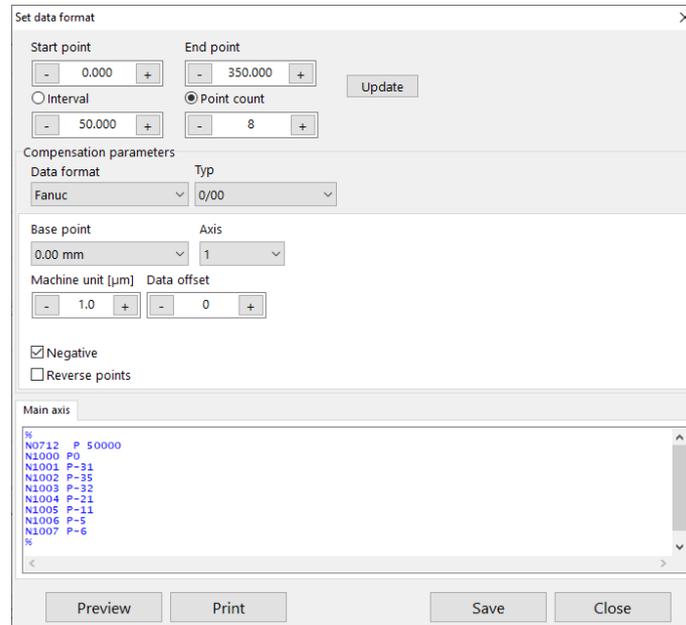


FIG.5.39. COMPENSACIÓN DE ERRORES DE MÁQUINA - FORMATO DE DATOS DE FANUC

5

6. MEDICIONES – POSICIONAMIENTO DINÁMICO

6.1 Descripción general

La medición de posicionamiento lineal en versión dinámica es la opción para la medición simultánea del posicionamiento y la dinámica de la máquina. El sistema láser mide la precisión de posicionamiento lineal, la repetibilidad y la reacción comparando la posición real de la máquina con la posición real medida por el interferómetro.

Con las mediciones realizadas con la opción de posicionamiento dinámico, el usuario puede obtener resultados precisos y completos con facilidad y en poco tiempo.

El posicionamiento dinámico es en muchos aspectos similar al posicionamiento "clásico".

a. Resumen de posicionamiento

En la Figura 6.2 se muestra el diagrama de bloques del algoritmo de corrección de errores de posicionamiento lineal. Siguiendo el algoritmo presentado, es fácil corregir cualquier máquina controlada numéricamente.

En el primer paso se pueden elegir algunas opciones de medidas. En la mayoría de los casos, este paso se puede omitir. A continuación, en el software se debe generar el programa para el movimiento de la máquina (Códigos G). El programa generado impulsa la máquina de acuerdo con la norma ISO230-2 y con la ruta que se muestra en la Figura 6.1.

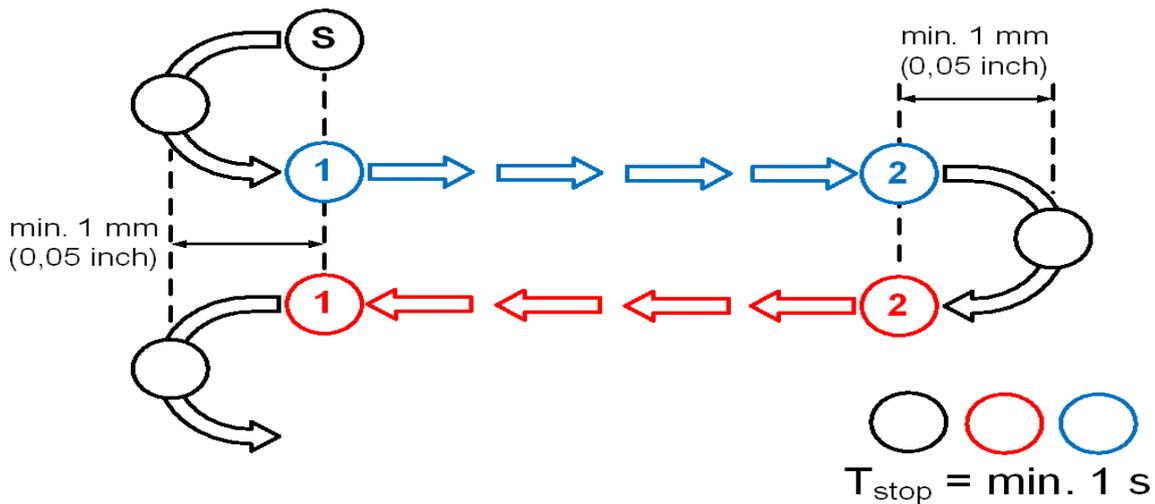


FIG.6.1. MOVIMIENTO DE LA MÁQUINA EN MODO DINÁMICO (S - PUNTO DE INICIO)

Después de presionar el botón *START* en el software HPI, la máquina debe compensar el backlash, es decir, moverse al menos 1 mm en la dirección inversa a la medición, regresar al punto de partida. Luego debe moverse al punto final, marcado como 2 en el esquema. Después de llegar al punto de destino, la máquina debe moverse más al menos 1 mm, regresar al punto de destino y luego regresar al punto inicial. En todos los puntos marcados en la Figura 6.1 con un círculo, la máquina debe detenerse durante al menos 2 segundos. **Durante todo el ciclo de medición, NO SE DEBE modificar la velocidad de alimentación de la máquina.**

Después de iniciar el programa cargado en la máquina probada, las mediciones también se pueden iniciar en el *software HPI*. No es necesaria la asistencia del usuario durante el proceso de medición.

Una vez finalizada la medición, se puede generar un archivo especial para la compensación del control de la máquina. Después de cargar el archivo, se debe volver a medir el posicionamiento de la máquina para obtener los resultados finales. Los resultados finales se pueden almacenar o imprimir.

Todos los pasos de medición se describen con mucho más detalle en el capítulo.

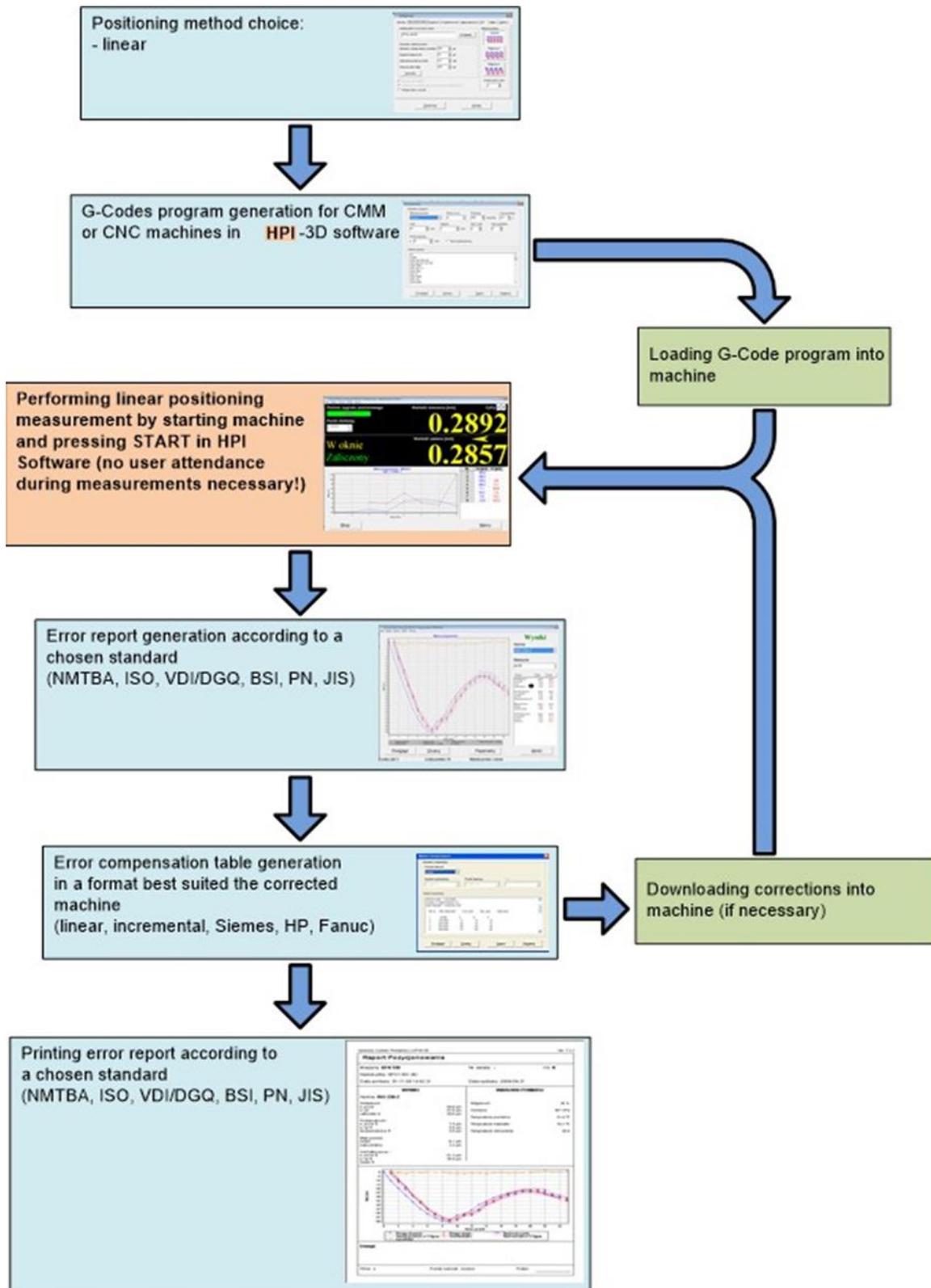


FIG.6.2 PROCEDIMIENTO DE CORRECCIÓN DE ERRORES DE POSICIONAMIENTO LINEAL

6

6.2 Configuración de medición

a. Principios

La medición del Posicionamiento Dinámico es la medición más básica que se realiza con los componentes ópticos lineales: retroreflector lineal **RL1** y el interferómetro lineal **IL1**. Cualquier cambio en la distancia entre IL1 y RL1 es detectado por el cabezal láser y se muestra en el software HPI.

Como se ilustra en la Figura 6.3, ambos elementos están normalmente alineados a lo largo del rayo láser. Aunque IL1 generalmente se trata como un elemento de referencia con el movimiento del RL1 medido, la configuración también puede ser inversa, es decir, RL1 puede estar estacionario con IL1 traducido.

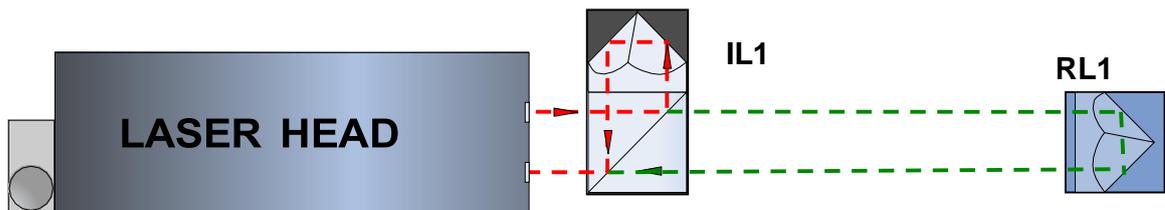


FIG.6.3 CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE POSICIONAMIENTO - ESQUEMÁTICO

La distancia L medida en la configuración lineal depende significativamente de la longitud de onda real λ_{air} del rayo láser con la fórmula:

$$L = N * \lambda_{air} = N * \frac{\lambda_{vac}}{n(T,P,H)} \tag{6.1}$$

, donde N denota el número de franjas de interferencia, λ_{vac} es la longitud de onda del láser medida en el vacío y $n(T, P, H)$ es el coeficiente de refracción del aire.

La longitud de onda cambia con las fluctuaciones de los parámetros del aire: humedad, presión y temperatura. De las fórmulas experimentales (ver

Capítulo 18) se pueden obtener las dependencias del coeficiente de refracción de T, P y H en condiciones habituales (T = 293K, P = 1000hPa, H = 50%):

$$\frac{\partial n}{\partial T} = -0,93 * 10^{-6} \left[\frac{1}{K} \right]$$

$$\frac{\partial n}{\partial P} = 0,27 * 10^{-6} \left[\frac{1}{hPa} \right]$$

$$\frac{\partial n}{\partial H} = -0,96 * 10^{-8} \left[\frac{1}{\%} \right]$$

Los cambios de longitud de onda se compensan automáticamente mediante el cabezal láser HPI-3D sólo si el sensor TH se utiliza correctamente, es decir, si se coloca cerca de la trayectoria del rayo láser. La presión del aire se mide dentro del cabezal láser.

a. Principios –Compensación de temperatura base

Uno de los factores importantes que limitan la precisión de cada máquina es la temperatura. En la Figura 6.4 se muestra esquemáticamente una fresadora. En la máquina hay una mesa de trabajo con una pieza de trabajo. También se muestra esquemáticamente el subsistema de medición de la máquina, es decir, la escala. El codificador de posición (marcado como Scale) es la parte que está conectada al control CNC. Puede ser de diferente construcción - magnética, vidrio, láser, etc. Su expansión se corrige con signo positivo para obligar al control del CNC a dejar la mesa en la misma posición a pesar de la expansión térmica de la escala.

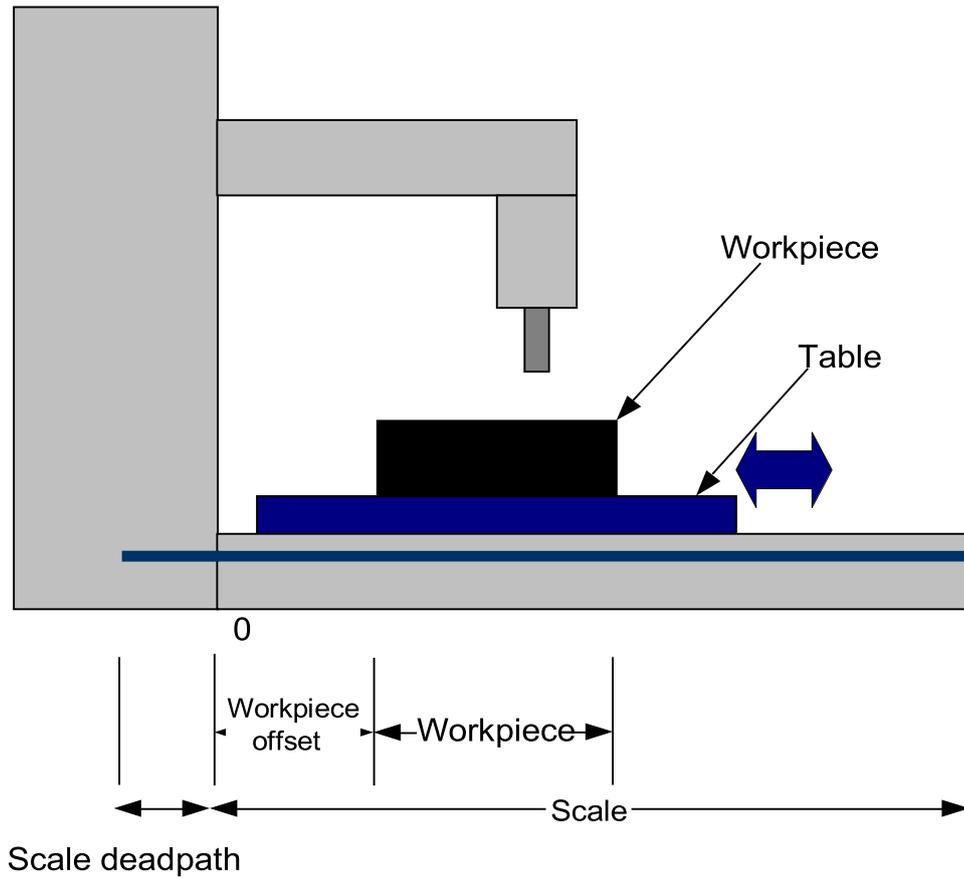


FIG.6.4 COMPENSACIÓN BÁSICA DE EXPANDIBILIDAD - NOTACIÓN

Los parámetros importantes en la compensación de longitud de escala son:

- factor de escala de capacidad de expansión térmica en unidades [ppm] o [$\mu\text{m} / (\text{m} * \text{K})$]; para escalas de vidrio puede tener un valor muy bajo,
- Escala de Deathpath: la longitud de la parte de la escala no utilizada o la distancia entre el comienzo de la escala y la marca cero.

El HPI-3D es capaz de compensar automáticamente la capacidad de expansión térmica de la escala. El usuario sólo tiene que usar correctamente los sensores de temperatura base (es decir, colocarlos lo más cerca posible del sistema de medición de la máquina) y establecer el valor de capacidad de expansión térmica de la escala.

b. Preparaciones para configurar la medición

Para las mediciones de posicionamiento se debe utilizar óptica lineal.

Los componentes necesarios son (véanse también las figuras 6.3 a 6.6):

- Cabezal Láser
- Fuente de alimentación
- Interferómetro lineal **IL1**
- Retro-reflector lineal **RL1**
- Sensor de temperatura del aire TH (Importante!!!)
- Al menos un sensor de temperatura base (T1, T2 or T3)
(Importante!!!)

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode

Las mediciones de posicionamiento requieren que los elementos ópticos IL1 y RL1 estén alineados a lo largo del rayo láser como se muestra en la figura 6.3. Cada uno de los elementos se puede mover.

Durante las mediciones de posicionamiento, deben tenerse en cuenta los errores de Abbe, Dead Path y Coseno (para obtener más detalles, consulte el Capítulo 18). ¡El uso del sensor de temperatura del aire y al menos un sensor de temperatura base (T1 o T2 o T3) es **absolutamente necesario!** Se debe usar más de un sensor de temperatura base en ejes de medición largos, especialmente donde es posible un gradiente de temperatura.

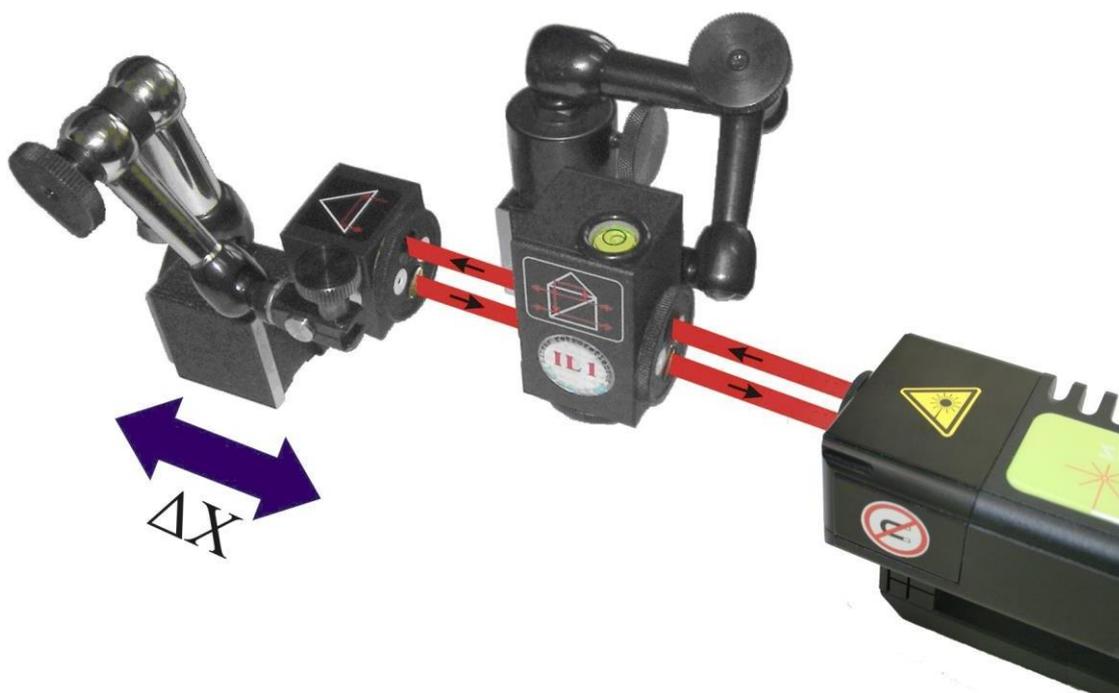


FIG.6.4 CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA EL POSICIONAMIENTO DE LAS MEDIDAS EN EL EJE X

Si sólo se usa un sensor de temperatura base, entonces los sensores no usados deben desactivarse en el software HPI. De lo contrario, el valor de la temperatura base sería erróneo y la medición arrojaría resultados incorrectos. El cambio de sensores singulares se puede realizar en el menú **Display** haciendo clic en los campos de valor de los sensores T1, T2 o T3 en el panel de WiMeteo.

Las mediciones de posicionamiento se pueden realizar no sólo a lo largo del rayo láser (como se muestra en las figuras 6.3 y 6.4) sino también en direcciones perpendiculares. Estas configuraciones se muestran en las figuras 6.5 y 6.6. En esas dos configuraciones, el rayo láser tiene que entrar en el IL1 desde la parte inferior del elemento. Sólo se puede mover el retroreflector RL1.

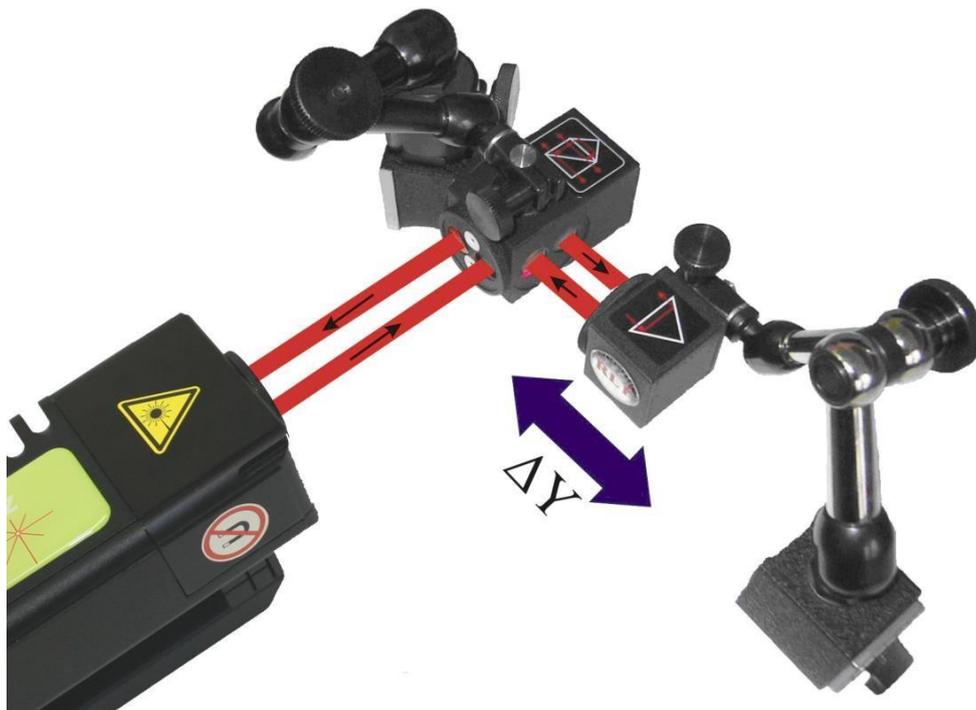


FIG.6.5. CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA EL POSICIONAMIENTO DE LAS MEDIDAS EN EL EJE Y

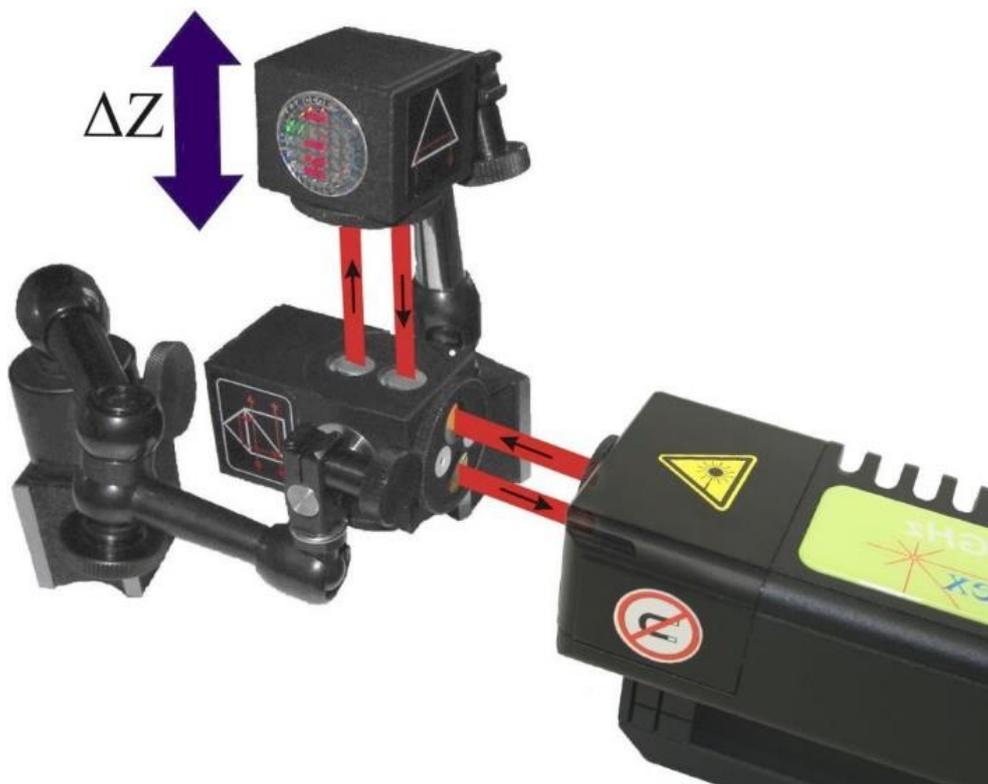


FIG.6.6. CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA EL POSICIONAMIENTO DE LAS MEDIDAS EN EL EJE Z

6

6.3 Descripción del Software

a. Introducción

Para iniciar las mediciones de *Posicionamiento Dinámico* en el **Menú principal**, se debe presionar el botón de **posicionamiento dinámico** (Figura 6.7). En la pantalla debería aparecer una ventana de **Posicionamiento dinámico** como se muestra en la Fig. 6.8. La ventana consta de un menú desplegable y cuatro paneles:

- 1) Panel de visualización: presenta información sobre la distancia actual, la distancia del objetivo y el nivel de la señal de medición,
- 2) Panel de trazado de posicionamiento,
- 3) Panel de resultados de posicionamiento,
- 4) Panel con botones de control e información de estado.

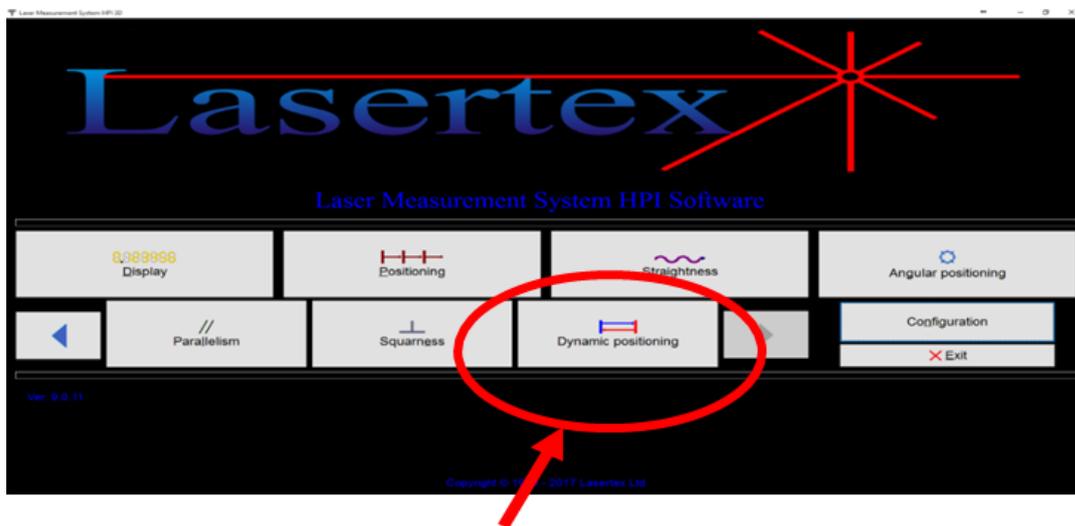


FIG.6.7 MENÚ PRINCIPAL

b. Panel de visualización

La parte superior del panel de visualización (bloque 1 de la figura 6.8) se utiliza para el control básico del funcionamiento del láser. A través de

este panel es posible monitorear la calidad de la señal de entrada, es decir, la intensidad del haz, el valor actual medido por el láser y la velocidad de alimentación de la máquina. El número de dígitos mostrados también se puede modificar.



FIG.6.8 VENTANA DE POSICIONAMIENTO DINÁMICO

En la esquina superior izquierda del Panel hay dos campos denominados *Start position* y *End position* que permiten vincular el sistema de coordenadas del láser con el sistema de coordenadas de la máquina medida. Esta opción se describe con más detalles a continuación en el Capítulo.

c. Panel de representación gráfica

En el gráfico dibujado en el Panel de trazado de posicionamiento (bloque 2 en la Figura 6.8) se muestra información sobre la desviación medida entre la traslación real y la deseada de la máquina. En el gráfico, los puntos se colocan en dos colores: las desviaciones medidas durante el movimiento de ida de la máquina se muestran en color azul, mientras que las desviaciones medidas durante el movimiento de vuelta en rojo. (ver Figura 6.9).

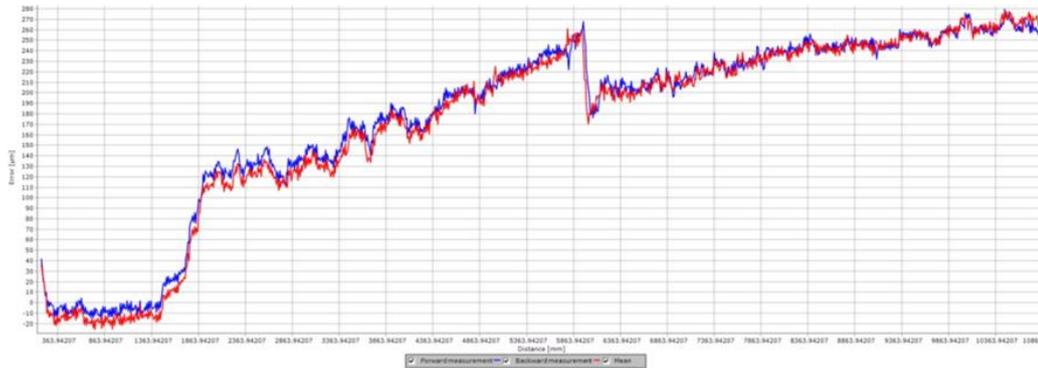


FIG.6.9. GRÁFICO CON RESULTADOS DE MEDICIÓN DE POSICIONAMIENTO

d. Panel de control de posicionamiento

El Panel de Control de Posicionamiento se compone de dos partes principales (Figura 6.10):

- Línea con botones de control,
- Línea con información de estado del láser.

La funcionalidad de la línea con los botones cambia con el estado de medición actual. En la Figura 6.10 se muestran varias apariencias de la parte de control del Panel de control.



FIG.6.9 PANEL DE CONTROL - DIFERENTES MODOS

El caso A aparece cuando no hay ninguna medición en curso y no se leyeron datos de un archivo. En este modo es posible iniciar la medición ("Start"), reiniciar el contador principal ("Reset position ") o volver al menú principal del programa ("Menu").

El caso B es visible durante el análisis de los resultados obtenidos. Al presionar el botón "New", todos los resultados registrados se borran y se inicia una nueva medición. Al presionar " Report " se abre la ventana de Informe de posicionamiento dinámico como se muestra más adelante en el capítulo.



FIG.6.11. BARRAS DE ESTADO EN VENTANA DE POSICIONAMIENTO

En la parte inferior del Panel de Control de Posicionamiento se encuentra la línea de estado del sistema láser. Aquí se muestra información común a todas las opciones del software HPI, es decir, el estado de conexión, láser, señal, sensores y codificador rotatorio (Wally). La funcionalidad de la línea se describe en otro capítulo.

e. Menú desplegable - File

La barra de menú consta de las siguientes opciones: File, Edit, Measurement, View, Help. En el menú *FILE* (figura 6.12) se pueden encontrar comandos para leer los datos medidos de un archivo, guardar los datos, imprimir los resultados de las mediciones o exportarlos a un archivo.

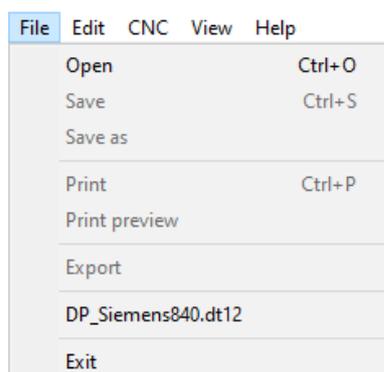


FIG.6.12. MENÚ DESPLEGABLE FILE

Otros comandos importantes disponibles en el menú *FILE* son las opciones para generar la ruta del CNC y preparar la tabla de compensación.

f. Generación de ruta CNC

Las opciones para la **generación de ruta CNC** permiten la preparación automática del programa de código G compatible con la mayoría de los sistemas de control CNC en el software HPI-3D. Las

opciones de generación de ruta se establecen en la ventana separada como se muestra en la figura 6.13.

En la parte superior de la ventana se configuran los parámetros de

movimiento de la máquina. En la parte inferior se puede visualizar y editar el programa generado. Los resultados se pueden guardar en un archivo de texto o previsualizar e imprimir. Los siguientes parámetros en el panel de parámetros de software *Software parameters* deben configurarse para generar el código adecuado:

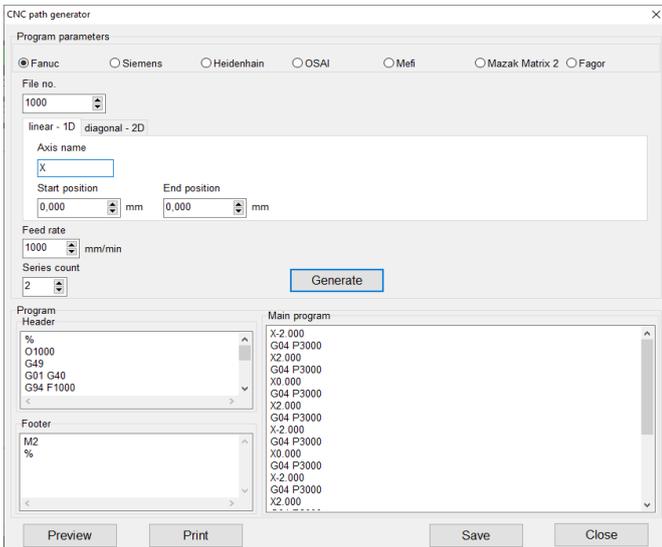


FIG.6.13. VENTANA DE GENERACIÓN DE RUTA CNC

- **Axis** – se debe elegir el eje de movimiento de la máquina medida (X, Y, Z, U, V, W, A, B, C).
- **Feed Rate** – se puede modificar la velocidad máxima de avance de la máquina en el eje elegido durante las mediciones. El valor elegido no puede ser mayor que las limitaciones de la máquina (ver manual de la máquina) y la limitación del láser ($7 \text{ m/s} = 420000 \text{ mm/min}$).
- **Stop Time** –el tiempo que la máquina se detiene en cada punto de medición. Este tiempo es necesario para que el software HPI capture el punto medido. El valor adecuado de este parámetro depende de la máquina probada y de los parámetros de captura de puntos del láser *Point Capture* (descritos más adelante en este capítulo).

- **Step** – la distancia entre los puntos de medición.
- **Clearance** – movimiento adicional de la máquina utilizado para compensar el juego (backlash). El valor elegido debe ser lo suficientemente grande para la compensación adecuada de la holgura de la máquina.
- **Cycles number** – establece el número de ciclos de movimiento generados. Para un cálculo adecuado de los parámetros estadísticos en el Informe, el número de ciclos de medición no debe ser inferior a tres. Cuantos más ciclos de medición se elijan, mejor se realiza la caracterización de la máquina, pero más dura el proceso de medición. El número de ciclos debe ser el mismo que el valor en *Configuration->Positioning->Cycles in series*.
- **g code**– es posible generar el programa estándar de código G o una versión compatible con cualquier control de máquina.

g. Preparación de la tabla de compensación

La **preparación de la tabla de compensación** (Compensation table preparation, figura 6.14) es una opción que se utiliza cuando finaliza la medición (no está habilitada antes de su inicio). El software utiliza los resultados de la medición para calcular errores y generar los valores de compensación para el sistema de control de la máquina. El formato adecuado de la tabla de compensación para el sistema de control de la máquina debe seleccionarse en la lista desplegable

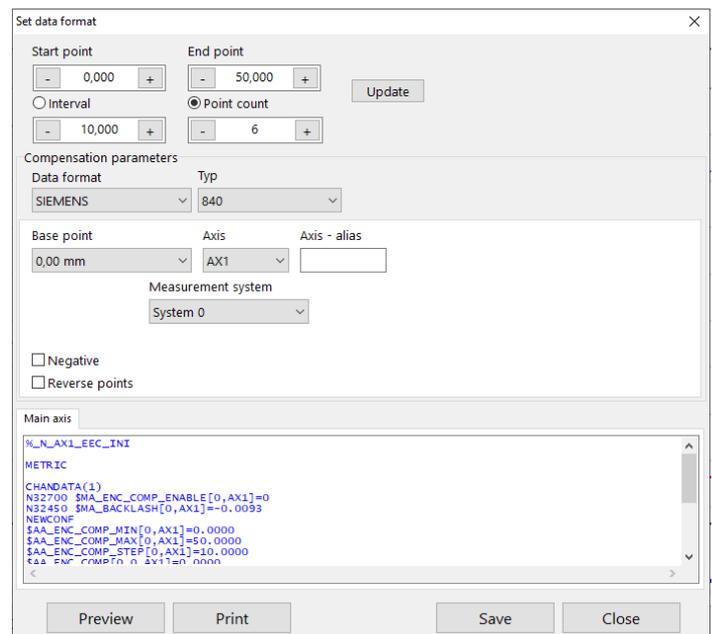


FIG.6.14. VENTANA DE LA TABLA DE COMPENSACIÓN

de formato de datos *Data format*. Junto con el formato de datos se pueden configurar parámetros adicionales. La opción se describe con más detalle al final del capítulo.

h. Menú desplegable - Edit

Measurement parameters			
Measurement date	2017/10/06 14:31:34		
Humidity	50 - 50 %	Air temperature	20.00 - 20.00 °C
Pressure	1013.2 - 1013.2 hPa	Material temperature	20.00 - 20.00 °C

FIG.6.15. VENTANA DE DATOS DE LA MÁQUINA

En la opción del menú desplegable **Edit** hay opciones para configurar los datos medidos de la máquina (Fig. 6.15) y para cambiar la configuración de posicionamiento general.

6.4 Preparaciones para la medición

a. Ventana de medición

Si el sistema está listo para funcionar, entonces la ventana principal del posicionamiento dinámico se ve como se muestra en la Figura 6.16. En la parte superior de la ventana hay dos pantallas digitales y el indicador de nivel de señal de medición. En la pantalla superior se muestra el valor medido. En la pantalla inferior se presenta el valor de la velocidad de alimentación actual de la máquina.

Los campos de *Start position* y *End position* deben usarse para vincular el sistema de coordenadas de la máquina con el sistema de coordenadas del láser.



FIG.6.17. VENTANA PRINCIPAL DE POSICIONAMIENTO DINÁMICO

b. Mediciones en el Sistema de coordenadas de la máquina

Es posible obtener medidas de posicionamiento directamente en el sistema de coordenadas de la máquina. Para hacer esto, los campos *Start position* y *End position* deben estar completos (ver figura 6.17). En estos campos debe introducirse la posición del primer y del último punto de medición en el sistema de coordenadas de la máquina. Después de la modificación de estos campos, los resultados de la medición se muestran en el sistema de coordenadas de la máquina. Además, los archivos de compensación de errores se modifican de forma adecuada.

6.5 Reglas para la medición de posicionamiento automático

Para el funcionamiento correcto de la opción de medición de posicionamiento automático, se deben seguir los siguientes pasos:

- 1) La velocidad de alimentación de la máquina no debe cambiarse

durante el ciclo de medición. Sin embargo, varios ciclos de medición pueden tener diferentes velocidades de avance,

- 2) El tiempo de inactividad de la máquina en el punto de posicionamiento no debe ser inferior a 1 segundo.
- 3) El movimiento de compensación de la holgura de la máquina debe exceder 1.0 mm.

6.6 Observaciones en mediciones y análisis de datos

El examen del posicionamiento dinámico de la máquina debe constar de al menos 2 ciclos de medición.

En cada ciclo, la máquina medida mueve el retroreflector la distancia programada hacia adelante y hacia atrás.

Desde el punto de vista práctico, debido a la vibración de la máquina, el tiempo de parada debe exceder los 3 segundos.

Una vez finalizada la medición, los resultados se pueden ver después de presionar el botón **Stop**. A continuación, se puede generar el informe. Para obtener el informe final, se debe presionar el botón **Report**. La pantalla del PC después de presionar el botón **Report** se presenta en la Fig. 6.18.

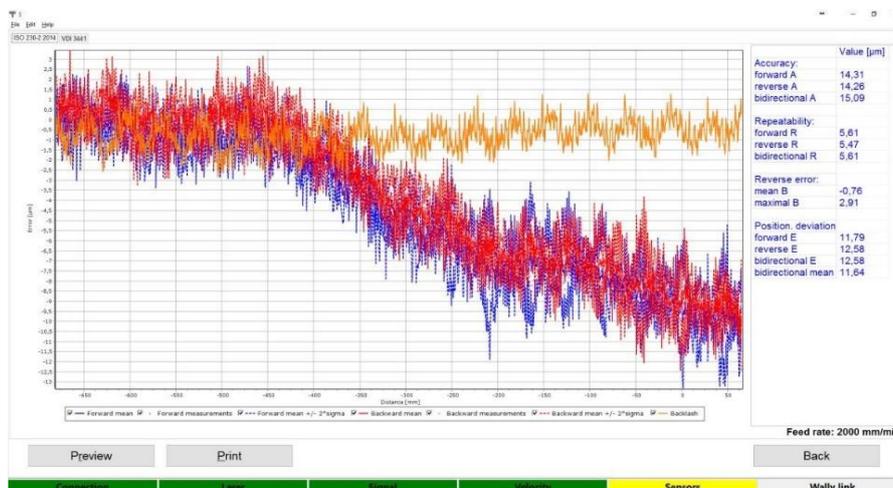


FIG.6.18. VENTANA DE INFORME DE POSICIONAMIENTO DINÁMICO



Los resultados de posicionamiento se presentan en el gráfico y en el panel **Results**. Este panel también se utiliza para configurar los parámetros de procesamiento de datos de medición. La norma define un método estadístico utilizado en los cálculos y se puede elegir de una lista desplegable. La selección de normas hace que se vuelvan a calcular los resultados. Los valores límite para los parámetros medidos de la máquina se presentan en este panel. Se asignan a la máquina elegida de la lista desplegable de la máquina **Machine**.

Si el valor del error excede los límites de la máquina, este error se muestra en rojo.

Debajo del gráfico hay: botones para la vista previa del informe **Preview**, imprimir el informe **Print**, cambiar los parámetros del gráfico **Parameters** y volver a la ventana anterior.

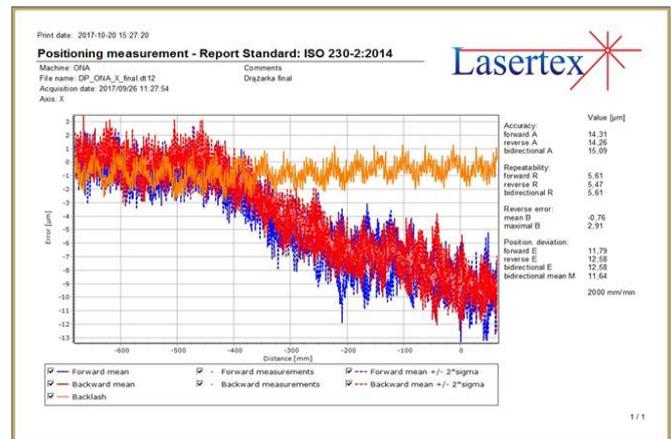


FIG.6.19. EJEMPLO DE INFORME DE POSICIONAMIENTO LINEAL

La escala del eje se puede cambiar usando la opción **Axis Scale** (escala o asignación automática, valores mínimos y máximos) disponible al hacer clic con el botón derecho del ratón en el gráfico.

6.7 Compensación de error de la máquina

Una vez finalizada la medición, los datos se pueden guardar en un archivo o exportar como un archivo de texto (menú desplegable *File->Export*). La exportación de archivos de texto brinda la posibilidad de un análisis adicional de los datos obtenidos en herramientas matemáticas como Matlab, Mathematica o Excel.

El software HPI a partir de los resultados del posicionamiento genera también el archivo de compensación de texto para el control de la máquina (figura 6.20). En este momento hay disponibles quince formatos diferentes de archivos de salida. El formato debe seleccionarse de acuerdo con el tipo de control de la máquina.

Dependiendo del formato de datos de salida elegido, aparecen diferentes conjuntos de parámetros en la ventana de compensación de errores (figuras 6.21- 6.23).

A continuación se describen los formatos de datos más utilizados.

Antes de que se generen los puntos, el usuario debe elegir el paso entre los puntos de compensación o el recuento de puntos. Solo entonces al presionar el botón Update se generará el archivo de compensación.

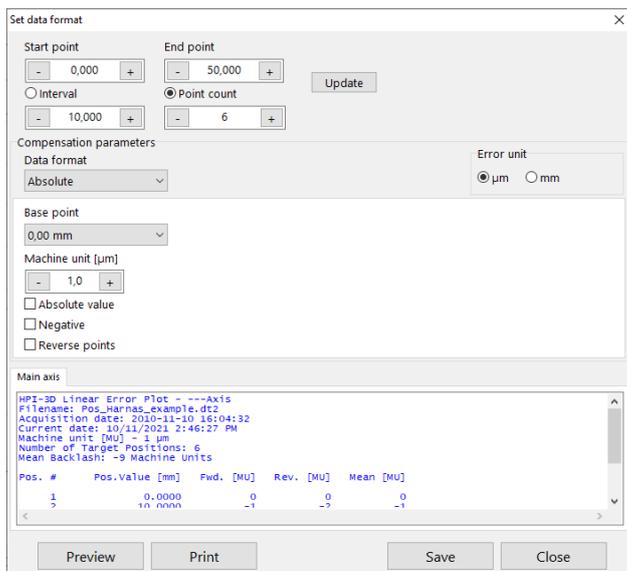


FIG.6.20. COMPENSACIÓN DE ERRORES DE MÁQUINA

a. Formato de datos absoluto e incremental

Los formatos de archivo de corrección de errores básicos y más universales son Absoluto e Incremental. En este caso, los datos se formatean como una tabla simple con cinco columnas (figura 6.21):

- número de punto de posicionamiento,
- valor de distancia en el punto de posicionamiento,
- error en la dirección de avance,
- error en dirección contraria,

- error medio.

En el caso del formato absoluto, los valores de los errores son absolutos, no relativos. En el caso del formato incremental los errores en el punto determinado se calculan en relación a los errores en el punto anterior, tomando como cero el error en el primer punto de medición.

La ventana de compensación para esos formatos se muestra en la figura 6.21. El usuario puede cambiar la unidad de error *Error unit* entre μm y mm y el punto base *Base point*. El valor del punto base se agrega a todos los valores de posición en la segunda columna.

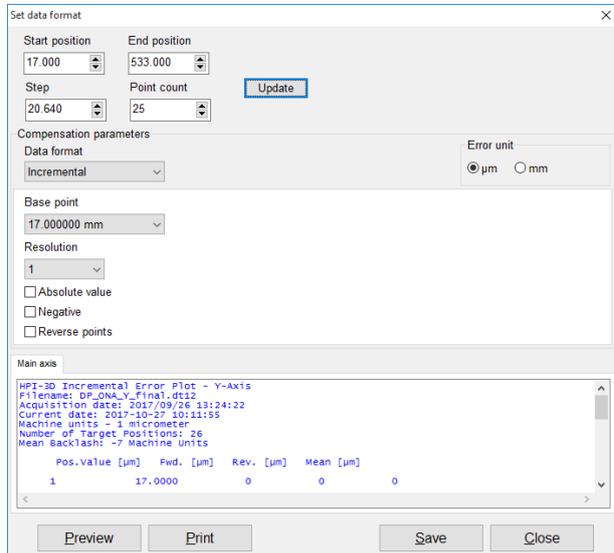


FIG.6.21. COMPENSACIÓN DE ERRORES DE MÁQUINA: FORMATO DE DATOS LINEAL E INCREMENTAL

b. Formato de datos Siemens

El archivo de formato de datos de Siemens se puede utilizar en las unidades de control de máquinas más comúnmente utilizadas por Siemens. La elección es entre los tipos 828 y 840. Para unidades de control más antiguas, se debe utilizar el formato de datos incrementales.

Como se muestra en la figura 6.22, el

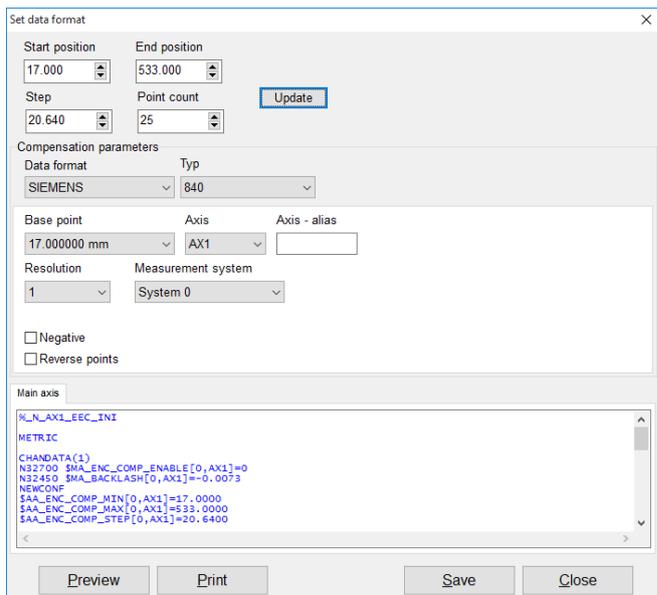


FIG.6.22. COMPENSACIÓN DE ERRORES DE MÁQUINA - FORMATO DE DATOS SIEMENS

formato del archivo Siemens difiere mucho del formato absoluto / incremental. El archivo de tipo Siemens se puede almacenar en un archivo y cargar directamente en la máquina corregida (con unidades 828 u 840).

Es posible configurar el sistema de medición adecuado *Measurement system*, cambiar el punto base de la máquina *Base point* (no es necesario cuando se utiliza el sistema de coordenadas de la máquina) y cambiar el nombre del eje compensado *Axis*.

c. Formato de datos Fanuc

El archivo de formato de datos de Fanuc se puede utilizar en las unidades de control de máquinas más comúnmente utilizadas por Fanuc. La elección es entre diferentes tipos de unidades de control Fanuc.

Como se muestra en la figura 6.23, el formato del archivo Fanuc difiere mucho del formato absoluto / incremental. El archivo de tipo Fanuc se puede almacenar en un archivo y cargar directamente en la máquina corregida.

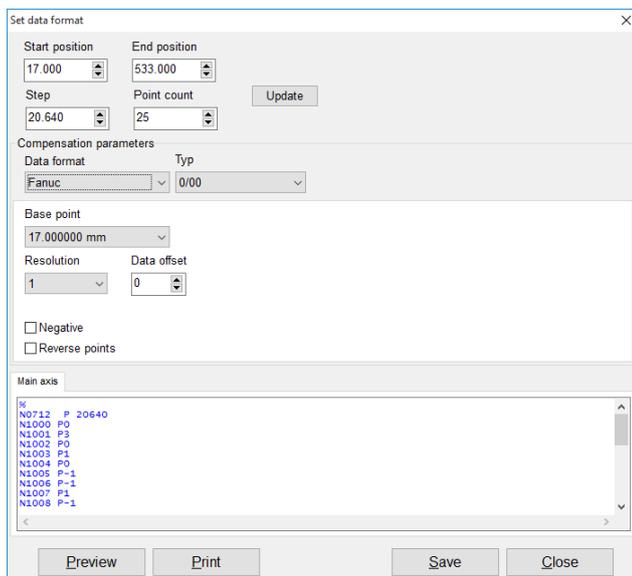


FIG.6.23. COMPENSACIÓN DE ERRORES DE MÁQUINA - FORMATO DE DATOS DE FANUC

Es posible establecer la compensación de datos adecuada *Data offset* (debe estar en el rango 0-1023), cambiar el punto base de la máquina *Base point* (no es necesario cuando se usa el sistema de coordenadas de la máquina) y cambiar el nombre del eje compensado *Axis*.

7. MEDICIONES - RECTITUD

7.1 Descripción general

Las medidas de rectitud son medidas que se suelen utilizar para obtener información básica sobre la geometría del eje de la máquina. Con esta opción, el usuario puede medir la rectitud de la base de la máquina en todas las superficies importantes de la base o comprobar el movimiento de, p. Ej. el elemento de la máquina medida en el espacio.

En el dispositivo HPI-3D, las medidas de rectitud se pueden realizar con tres métodos diferentes: *Angular*, *Wollaston* y *3D*. El método **angular** está diseñado para usarse en mediciones de rectitud de base (como autocolimador óptico); El método de **Wollaston** está diseñado para mediciones de "movimiento en el espacio", p. Ej. se puede caracterizar el movimiento de una mesa de máquina o herramienta de trabajo; El método **3D** se utiliza para una estimación rápida del "movimiento en el espacio", como el método de Wollaston, pero la medición se realiza en los tres ejes a la vez. Los principales parámetros de estos métodos se describen en el capítulo "Datos técnicos".

7.2 Configuración de medición – Óptica angular

a. Principios

El funcionamiento del HPI-3D con la óptica angular utilizada se muestra



en la Figura 7.1. El láser emite el rayo láser que consta de dos polarizaciones: horizontal (H) y vertical (V). El IK1 divide el haz en dos partes. Ambos haces se dirigen hacia la ruta de medición, pero se desplazan en paralelo a una distancia de 1 " o 2" (según la versión).

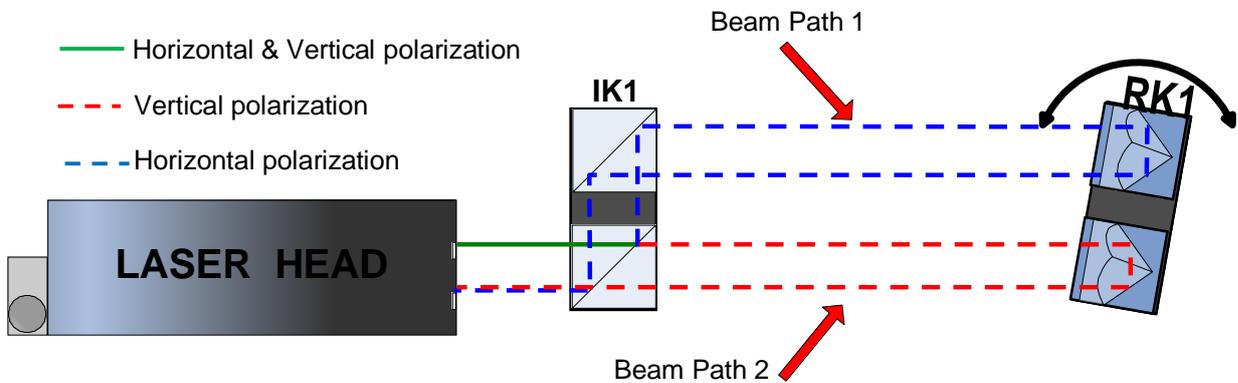


FIG.7.1. ILUSTRACIÓN DEL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO - ÓPTICA ANGULAR

Cuando se modifica la distancia entre los elementos ópticos, la frecuencia de ambos haces cambia de acuerdo con el efecto Doppler. El cabezal láser nota un movimiento sólo si hay una rotación de IK1 frente a RK1, es decir, cuando hay una diferencia en las longitudes de las trayectorias del haz. La distancia medida se puede utilizar para obtener el ángulo de rotación (Pitch/Yaw de la máquina) o el movimiento vertical del componente óptico (IK1 o RK1).

El cabezal láser con óptica **angular** es insensible a los movimientos lineales.

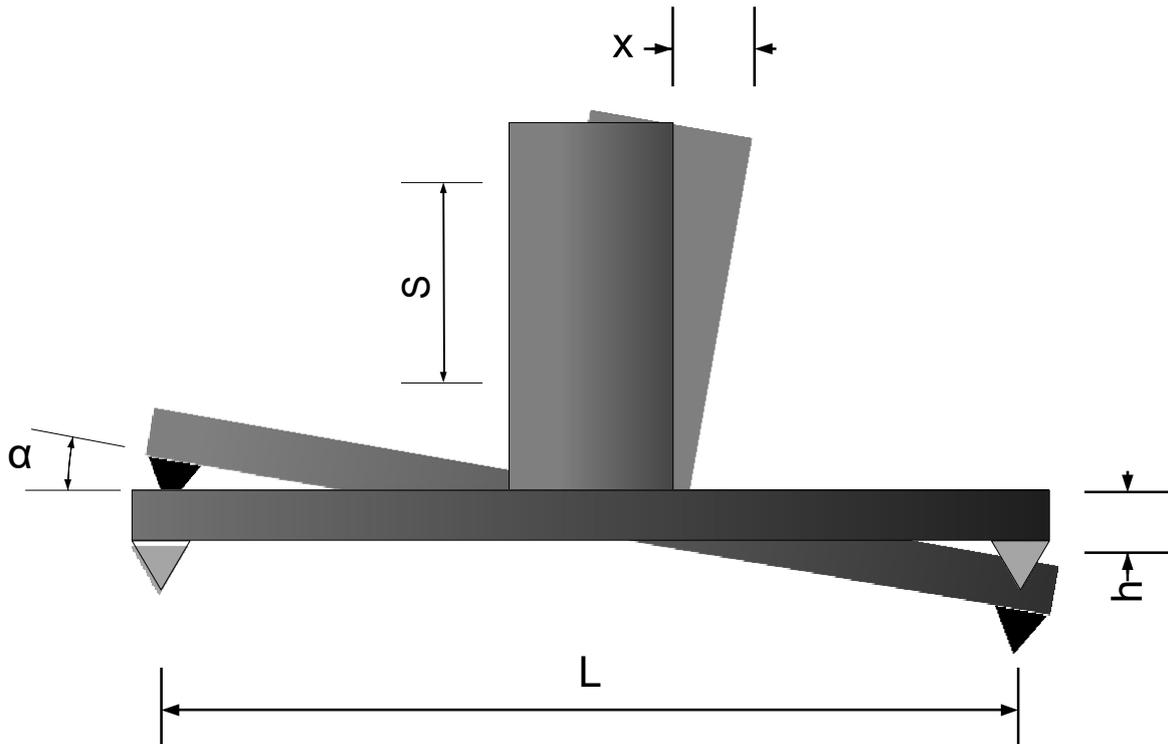


FIG.7.2. CÁLCULO DE LA RECTITUD DURANTE MEDIDAS ANGULARES

En la Figura 7.2 se muestra esquemáticamente un RK1 sobre un carro, con todos los parámetros principales para el cálculo. Para mayor claridad, la posición de IK1 se trata como referencia. El significado de los parámetros es:

- L - longitud de la base;
- s - distancia entre rayos en elementos IK1 y RK1;
- x - distancia medida por el cabezal láser;
- α - rotación angular del elemento RK1;
- h - diferencia de altura entre dos puntos de medición.

El cabezal láser mide el parámetro x , mientras que la distancia entre los haces s y la longitud base L debe establecerse en los parámetros del software HPI. Entonces, el ángulo de rotación α y el movimiento en la dirección vertical h se pueden calcular a partir de:

$$\alpha = \arctan \frac{X}{S}$$

$$h = x * \frac{L}{S} \quad (7.1)$$

b. Notas de aplicación

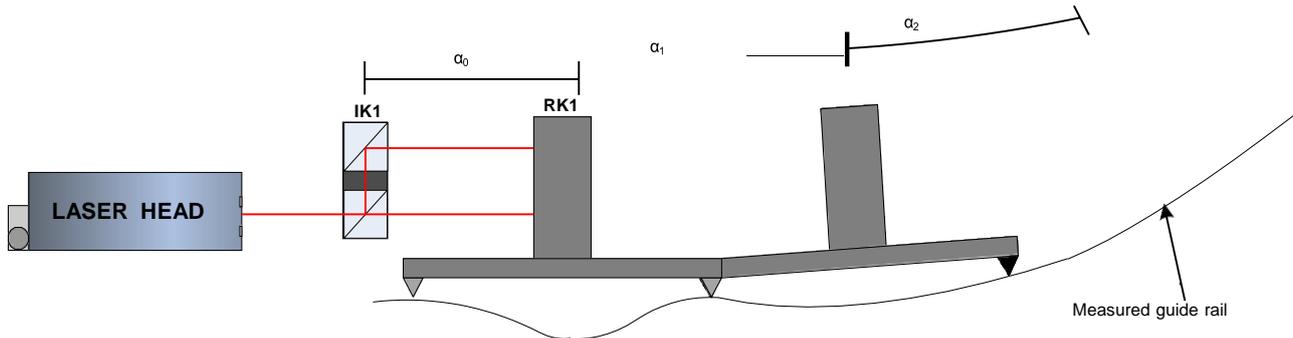


FIG.7.3. MEASUREMENT OF STRAIGHTNESS - PRINCIPLES

La óptica angular se puede utilizar para:

- Medición del Pitch/Yaw de una máquina,
- Medición de la rectitud de la bancada de una máquina,
- Medida de pequeños ángulos.

La explicación de las dos primeras aplicaciones se muestra en la Figura 7.3. El RK1 montado en un carro se traslada sobre el carril guía medido. En cada longitud del carro (normalmente 100 mm) se realiza una medición. Las fórmulas 7.1 se utilizan para calcular los ángulos (para medidas de Pitch/Yaw) o las traslaciones verticales (para medidas de rectitud).

Cabe señalar que dicho método de medición de rectitud requiere una elección adecuada de los puntos de medición. La elección de puntos más densos que el tamaño del carro da como resultado valores excesivos de los errores de rectitud (la forma del error es adecuada).

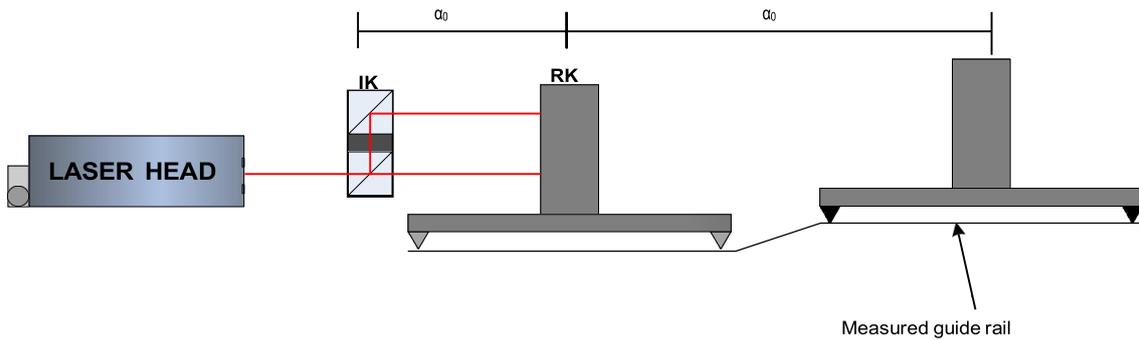


FIG.7.5. MEDICIÓN DE LA RECTITUD CON PUNTOS DE MEDIDA DEMASIADO DENSOS

La elección de puntos demasiado dispersos puede afectar tanto a la forma como al valor del error, como se muestra en la Figura 7.5. En este caso especial, debido a que los puntos de medición son demasiado escasos, el láser no notará el cambio en la forma del riel de guía; ¡la distancia medida entre los rayos no cambiará!

La medición de ángulos pequeños permite mediciones muy precisas de pequeñas rotaciones si se cumplen dos condiciones:

1. el ángulo medido está dentro de ± 5 grados,
2. La distancia entre RK1 y el cabezal láser no cambia más de unos pocos centímetros.

La segunda limitación proviene del efecto heterodino presente en el láser HPI-3D. Este efecto influye en el ángulo según (Δl es el cambio de distancia entre el láser y RK1 durante las mediciones):

$$x = \arctan \frac{x + \Delta l * 2.260 \mu m}{s} \quad (7.2)$$

El efecto anterior también está presente en las mediciones normales de rectitud, pero el software HPI se encarga de ello.

c. Preparaciones para la configuración de la medición

Para las mediciones de rectitud **angular** se debe utilizar la óptica angular. Los componentes necesarios son:

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Interferómetro angular **IK1**
- Retrorreflector angular **RK1**

Los elementos opcionales son:

- cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode
- Sensor de temperatura del aire
- Sensor de temperatura base

Las mediciones de rectitud angular requieren que los elementos ópticos IK1 y RK1 estén alineados a lo largo del rayo láser como se muestra en la figura 7.6. Cada uno de los elementos se puede mover.

Durante las mediciones de rectitud angular, se recomienda el uso del sensor de temperatura del aire. No es necesario utilizar sensores de temperatura base.

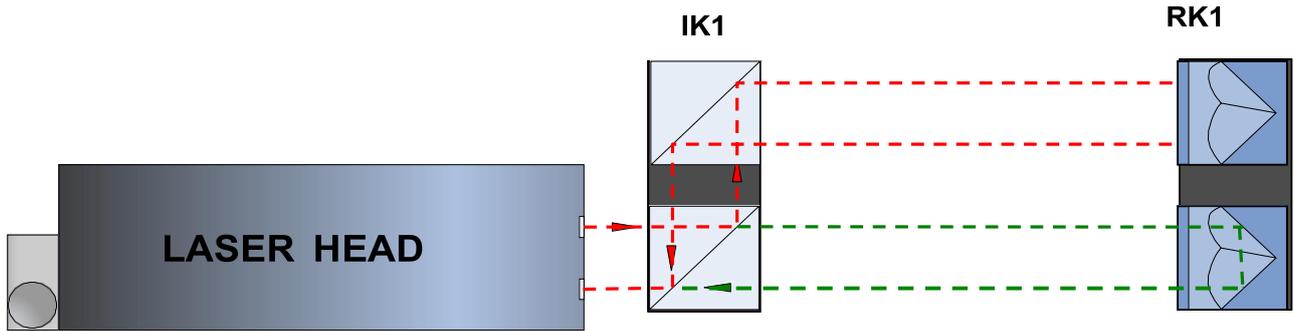


FIG.7.6 TRAYECTORIA ÓPTICA CONFIGURADA PARA MEDICIONES DE RECTITUD ANGULAR

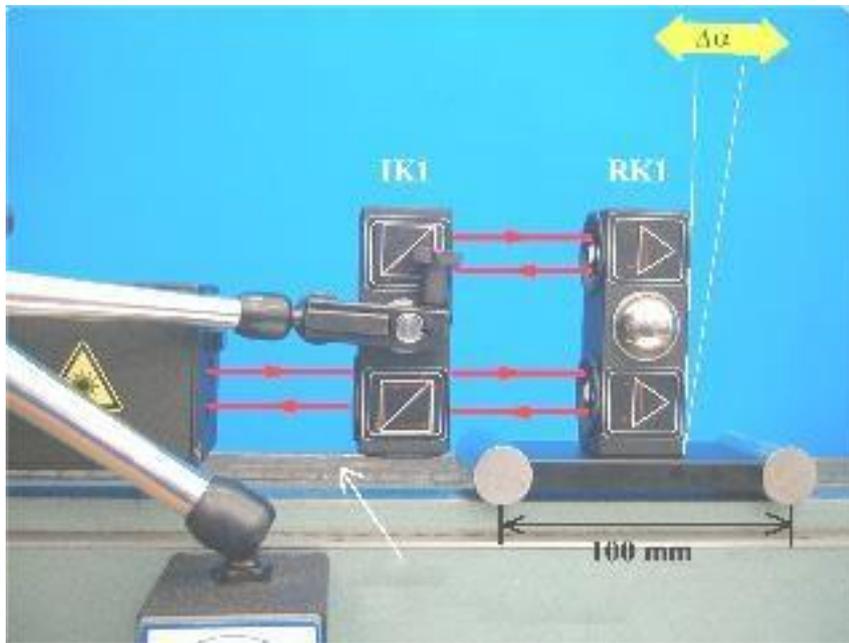


FIG.7.7 TRAYECTORIA ÓPTICA PREPARADA PARA MEDICIONES DE RECTITUD ANGULAR EN EJE X.

Las mediciones de rectitud angular se pueden realizar no sólo a lo largo del rayo láser (como se muestra en las figuras 7.6 y 7.7) sino también en direcciones perpendiculares al rayo láser. Esta configuración se muestra en la figura 7.9. En esta configuración sólo se puede mover el retroreflector RK1.



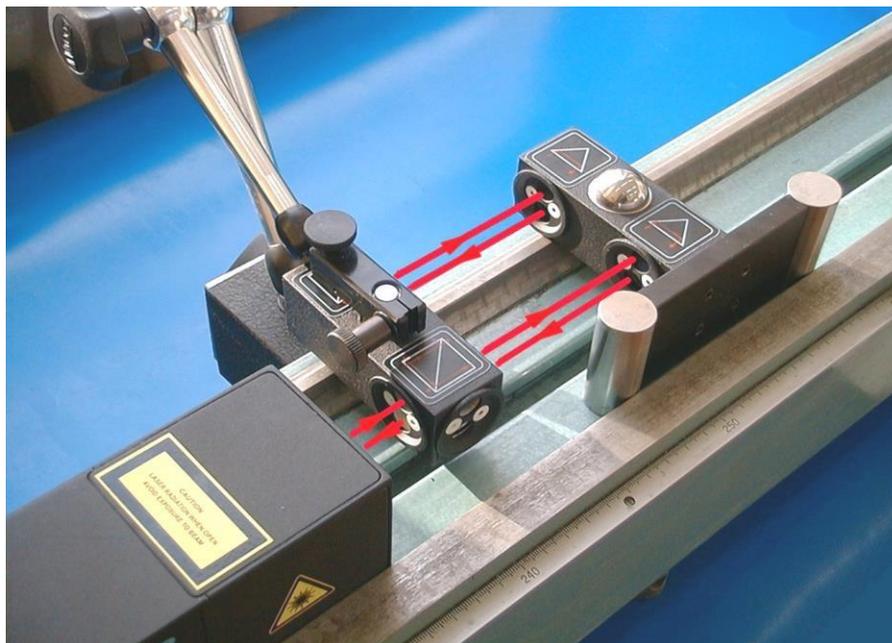


FIG.7.8 TRAYECTORIA ÓPTICA PREPARADA PARA MEDICIONES DE RECTITUD ANGULAR EN EJE Y.

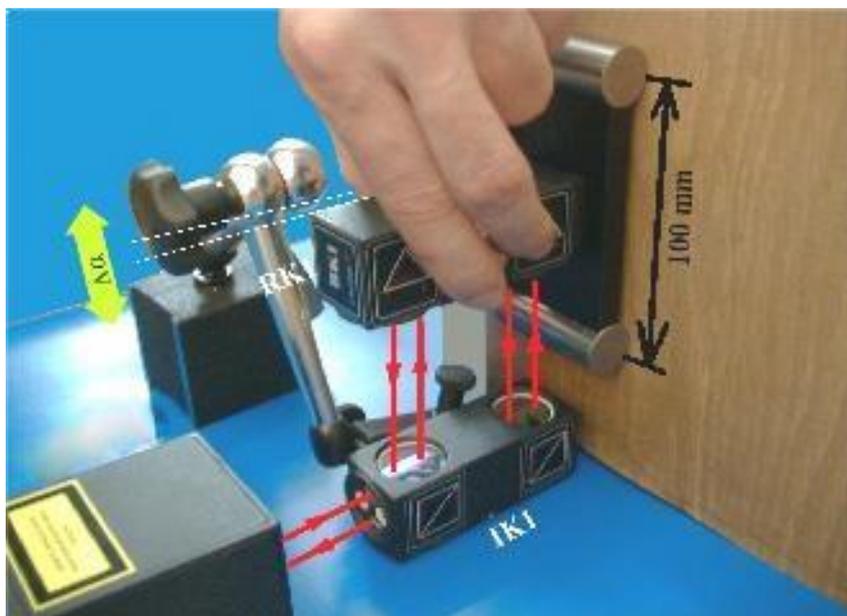


FIG.7.9 TRAYECTORIA ÓPTICA PREPARADA PARA MEDICIONES DE RECTITUD ANGULAR EN EJE Z.

Durante la alineación del haz, es importante configurar primero la posición de IK1 alineada con la posición del cabezal láser. Luego, los diafragmas de ambos componentes ópticos deben cambiarse a la posición

de alineación. El IK1 y RK1 deben configurarse de tal manera que el haz pase los centros de los diafragmas.

Después de realizar la configuración, los diafragmas deben colocarse en la posición de trabajo y la alineación final debe realizarse con el uso de la herramienta electrónica de alineación de haz. Para mantener la máxima precisión de la medición, la posición de ambos haces en las herramientas de alineación debe permanecer dentro de la ventana de 200 μ m para todo el rango de movimiento lineal.

7.3 Configuración de medición– Óptica de Wollaston

a. Principios

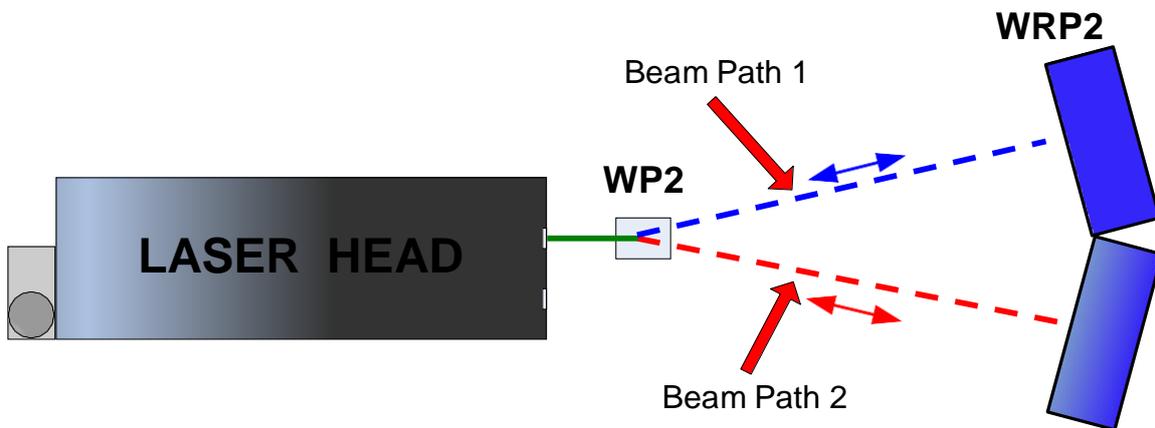


FIG.7.10 ÓPTICA WOLLASTON - PRINCIPIOS

Otra forma de medir la rectitud, el paralelismo y la perpendicularidad con el interferómetro láser requiere el uso de ópticas de tipo Wollaston. La óptica consta de dos elementos: el prisma polarizador Wollaston *WP2* y un reflector emparejado *WRP2*; Figura 7.10. El rayo láser, que consta de dos polarizaciones perpendiculares, es dividido por el elemento *WP2* en dos rayos. Los rayos salen del *WP2* en un cierto ángulo y luego, después de ser



reflejados por el reflector WRP2, regresan al cabezal láser. El láser mide la diferencia entre las longitudes de las trayectorias de los haces.

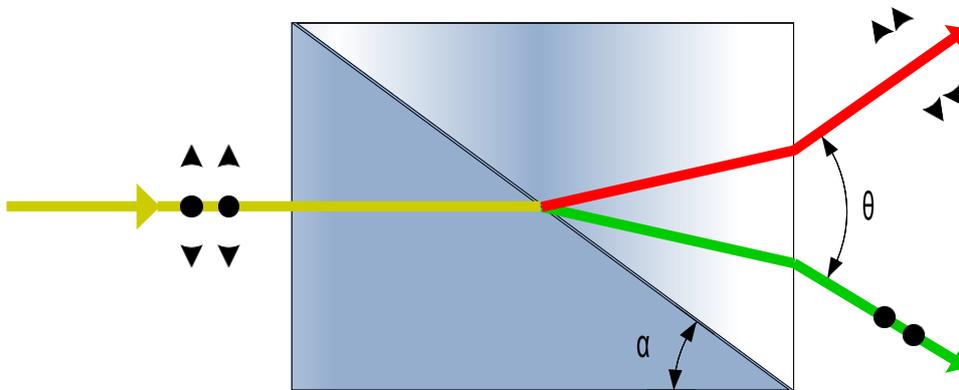


FIG.7.11 PRISMA POLARIZADOR WOLLASTON WP2

En la Figura 7.11 se muestra la explicación del funcionamiento del elemento WP2. Este prisma está construido con dos prismas triangulares birrefringentes cementados. Ambos prismas están contruidos con el mismo material, pero sus ejes ordinario y extraordinario son perpendiculares entre sí, es decir, el coeficiente de refracción del eje ordinario del prisma izquierdo n_{ol} es igual al valor del coeficiente del eje extraordinario del prisma derecho n_{er} .

Debido a esto, los rayos láser polarizados ortogonalmente que entran en el elemento Wollaston se desvían en diferentes ángulos en la capa límite media y en la capa límite derecha. Este comportamiento se puede probar fácilmente con el uso de la ley de Snell. El ángulo entre los haces que salen a menudo se denota como Θ .

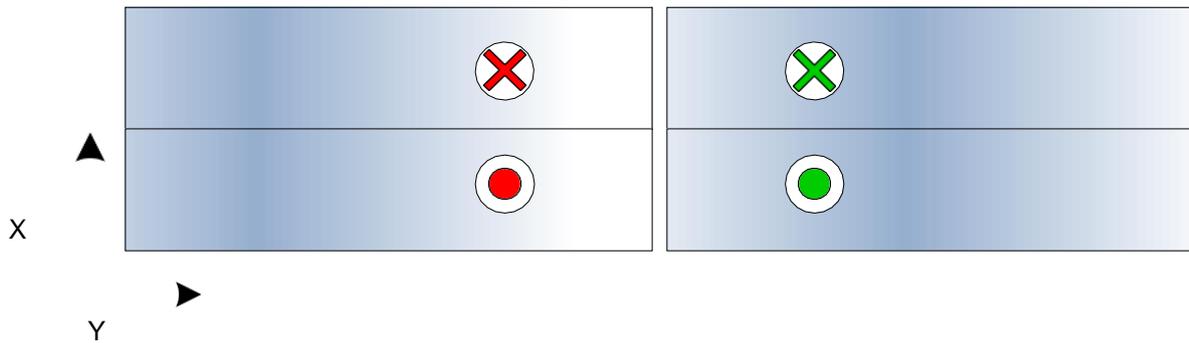


FIG. 7.12A REFLECTOR WOLLASTON WRP2 - VISTA FRONTAL

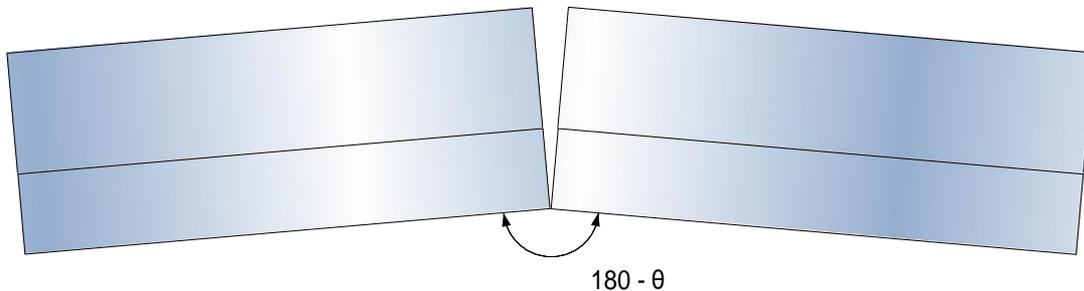


FIG. 7.12B REFLECTOR WOLLASTON WRP2 - VISTA SUPERIOR

A diferencia de la óptica angular (ver la parte anterior de este capítulo), la distancia entre los haces cambia con la distancia, lo que dificulta la construcción del elemento reflectante. En la figura {7} se muestra la construcción del elemento de reflexión para la óptica Wollaston WRP2. Consiste en dos prismas de vidrio especiales pegados con mucha precisión en un ángulo de $180-\theta$. Los prismas utilizados en el WRP2 en el eje Y reflejan el haz con traslación de $\frac{1}{2}$ "(como el retrorreflector RL1). En el eje X, el rayo se refleja sin traslación (como en un espejo).

El uso de la óptica de Wollaston hace posible la medición del movimiento relativo del elemento WP2 en el eje perpendicular al rayo láser. Como se muestra en la Figura 7.13 las mediciones son posibles SÓLO

con el movimiento de WP2.

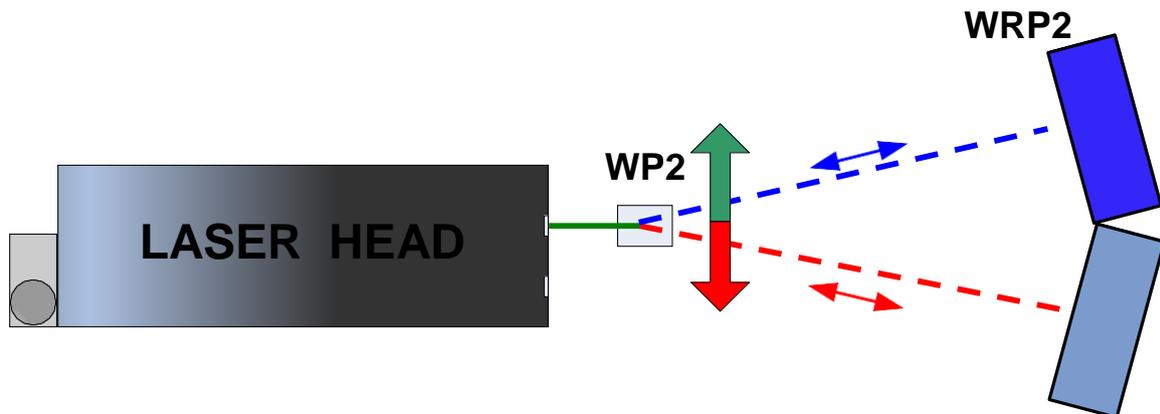


FIG.7.13 MEDICIONES CON ÓPTICAS DE WOLLASTON

Debido a la sensibilidad de la lectura del láser en el movimiento angular del WRP2, es importante que durante las mediciones el elemento WRP2 no se toque ni se mueva. Más detalles se describe en la siguiente sección.

b. Notas de aplicación

Aunque es posible medir la rectitud con el movimiento del elemento WP2 o WRP2, existen ciertas diferencias. El WRP2 debe estar estacionario durante la medición (es decir, no debe moverse a lo largo del rayo láser). Como el WRP2 se comporta en uno de los ejes como un espejo, cualquier movimiento angular del WRP2 en este eje puede provocar que el rayo láser no regrese al cabezal láser e influirá significativamente en los resultados de la medición.

¡El cabezal láser con óptica **Wollaston** es sensible a los movimientos angulares del retroreflector!

No hay tales problemas cuando se mueve el WP2. La única desventaja es el rango de medición más pequeño. WP2 se puede mover ± 2 mm mientras que el rango de medición máximo del WRP2 es ± 30 mm (pero

sólo cuando la distancia entre WP2 y WRP2 es de 4,5 m).

c. Preparaciones para la configuración de la medición

Para las mediciones de rectitud de **Wollaston**, se debe utilizar la óptica de Wollaston. Los componentes necesarios son:

- Cabezal laser
- Fuente de alimentación
- Prisma de Wollaston **WP2**
- Retrorreflector Wollaston **WRP2**

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode
- Sensor de temperatura del aire
- Sensor de temperatura base

Las mediciones de rectitud de Wollaston requieren que los elementos ópticos WP2 y WRP2 estén alineados a lo largo del rayo láser como se muestra en la figura 7.14. El procedimiento de alineación del haz se describe en el capítulo 4.

Durante la medición, el elemento WRP2 debe estar fijo, es decir, su distancia desde el cabezal láser no debe cambiar.

Durante las mediciones de rectitud de Wollaston, se recomienda el uso del sensor de temperatura del aire. No es necesario utilizar sensores de temperatura base.

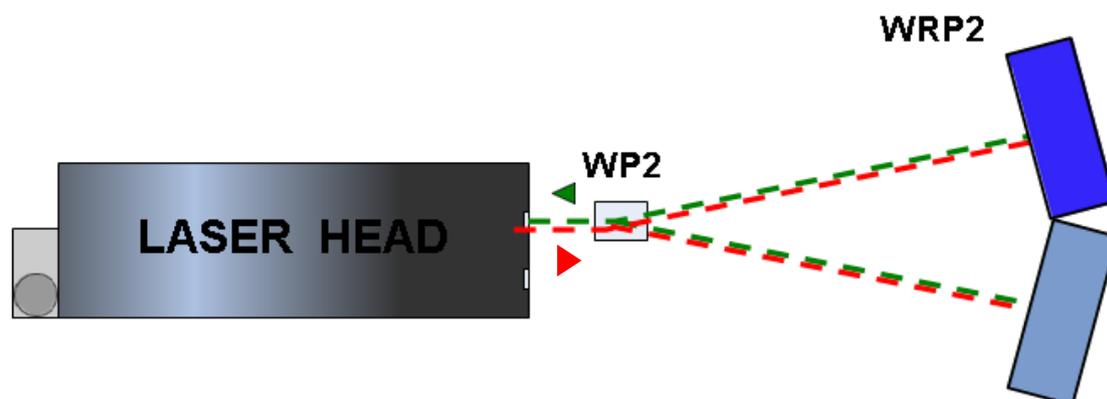


FIG.7.14 CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE RECTITUD DE WOLLASTON.

Las mediciones de rectitud de Wollaston se pueden realizar en dos configuraciones: X horizontal (figura 7.15) y Z vertical (figura 7.16). En la configuración X sólo se mide la rectitud de la trayectoria en el eje X. La misma situación ocurre con la configuración Z. En ambas configuraciones las mediciones deben realizarse con el movimiento del elemento WP2.



FIG.7.15 CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE RECTITUD DE WOLLASTON EN EJE X.



FIG.7.16 CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE RECTITUD DE WOLLASTON EN EL EJE Z.

7.4 Configuración de medición – Método 3D

a. Principios

El cabezal láser HPI-3D es capaz de detectar la posición del rayo de retorno. La posición del rayo de retorno cambia con el movimiento del retrorreflector RL1 perpendicular al eje del rayo láser. Este fenómeno para un eje se muestra en la Figura 7.17. El haz que regresa del interferómetro lineal IL1 se trata como referencia, mientras que el haz reflejado por RL1 como haz de medición. El láser registra simultáneamente información sobre los cambios de posición de un componente óptico en ambos ejes perpendiculares al rayo láser.



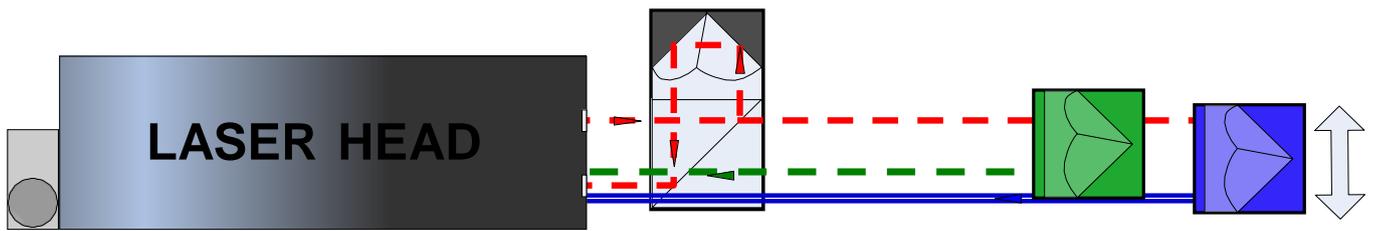


FIG.7.17 MEDIDAS DE RECTITUD CON ÓPTICA LINEAL

La posición medida se utiliza para un control preciso de la alineación de la trayectoria del rayo láser o para las mediciones de rectitud, perpendicularidad o paralelismo.

La medición 3D devuelve valores absolutos de la posición del haz. Esto es diferente del eje principal de medición interferométrica donde los resultados obtenidos son incrementales.

b. Notas de aplicación

La opción 3D se puede utilizar para una estimación rápida de la rectitud simultáneamente en dos ejes, pero con algunas limitaciones derivadas de la naturaleza física de las mediciones.

A diferencia de todas las mediciones interferométricas, el cabezal láser interviene activamente en las mediciones, es decir, su posición y sus vibraciones influyen en los resultados de la medición. Por este motivo, es **importante** evitar el uso del trípode y fijar el cabezal láser directamente en la máquina medida.

La medición 3D se basa en la posición del rayo de retorno en el dispositivo sensible a la posición. Por lo tanto, es **importante** que el haz permanezca dentro del rango de medición del dispositivo, es decir, ± 1 mm. El uso de la opción 3D fuera de este rango produciría resultados poco fiables.

De manera similar, en todas las mediciones de rectitud basadas en láser, las turbulencias de aire influyen en los resultados. El circuito de procesamiento de señales dentro del láser puede adaptarse a una pequeña desviación del rayo láser con el cambio del tiempo promedio (consulte la Descripción del software para obtener más detalles). Si los movimientos del aire son demasiado grandes, es decir, cuando el rayo que regresa al láser se desplaza fuera de la ventana de ± 1 mm, los resultados de las mediciones 3D pueden volverse poco fiables. En tal situación, se debe utilizar alguna protección contra el movimiento del aire o un ventilador que fuerce el movimiento del aire. El problema con las turbulencias de aire es más problemático para distancias grandes entre el cabezal láser y el elemento RL1.

c. Preparaciones para la configuración de la medición

Para las mediciones de rectitud 3D se debe utilizar óptica lineal.

Los componentes necesarios son (véanse también las figuras 7.18 a 7.21):

- Cabezal laser
- Fuente de alimentación
- Interferómetro lineal **IL1**
- Retrorreflector **RL1**

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode
- Sensor de temperatura del aire
- Sensor de temperatura base

Las mediciones de rectitud 3D requieren que los elementos ópticos IL1 y RL1 estén alineados a lo largo del rayo láser como se muestra en la figura 7.18. Sólo se debe mover el Retroreflector RL1.

Durante las mediciones de rectitud 3D, se recomienda el uso del sensor de temperatura del aire. No es necesario utilizar sensores de temperatura base.

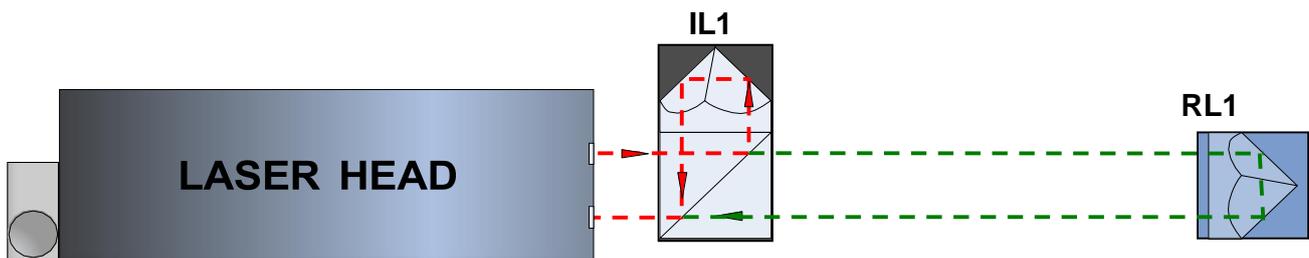


FIG.7.18 CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE RECTITUD 3D.

Las mediciones de rectitud 3D se pueden realizar no sólo a lo largo del rayo láser (como se muestra en las figuras 7.18 y 7.19) sino también en direcciones perpendiculares al rayo. Estas configuraciones se muestran en las figuras 7.20 y 7.21. También en esas dos configuraciones sólo se puede mover el Retroreflector RL1.

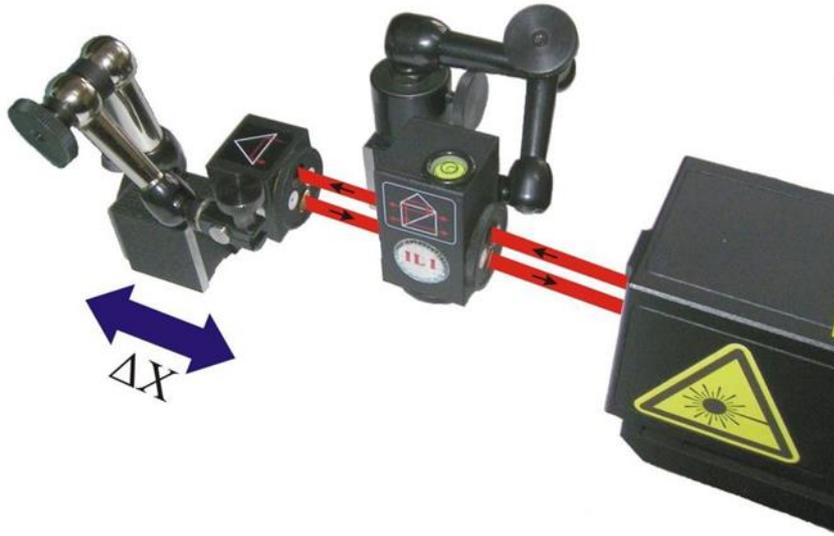


FIG.7.19 CAMINO ÓPTICO CONFIGURADO PARA MEDICIONES DE RECTITUD 3D EN EJE X.

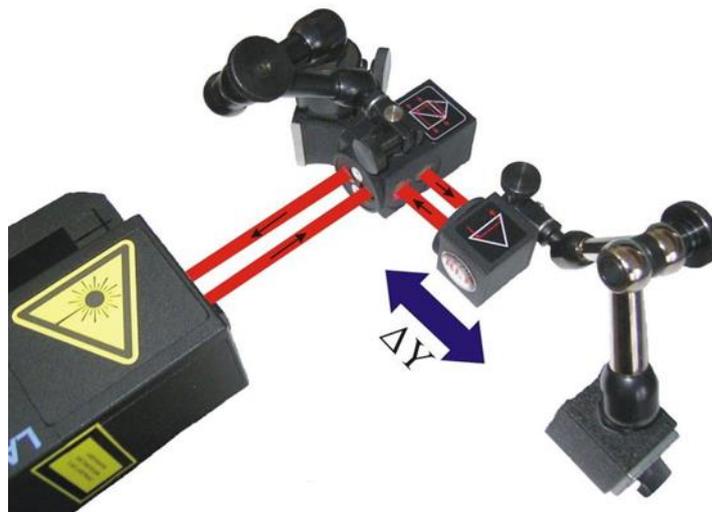


FIG.7.20. CAMINO ÓPTICO CONFIGURADO PARA MEDICIONES DE RECTITUD 3D EN EJE Y

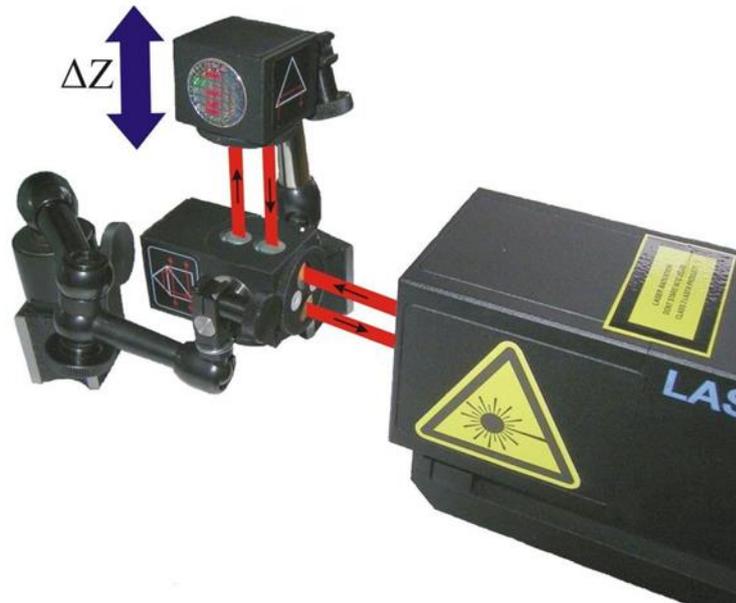


FIG.7.21. CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE RECTITUD 3D EN EJE Z.

7.5 Descripción del Software

a. Introducción

La medición de la rectitud se realiza en la opción de rectitud **Straightness**, elegida en el Menú principal (fig. 7.22).

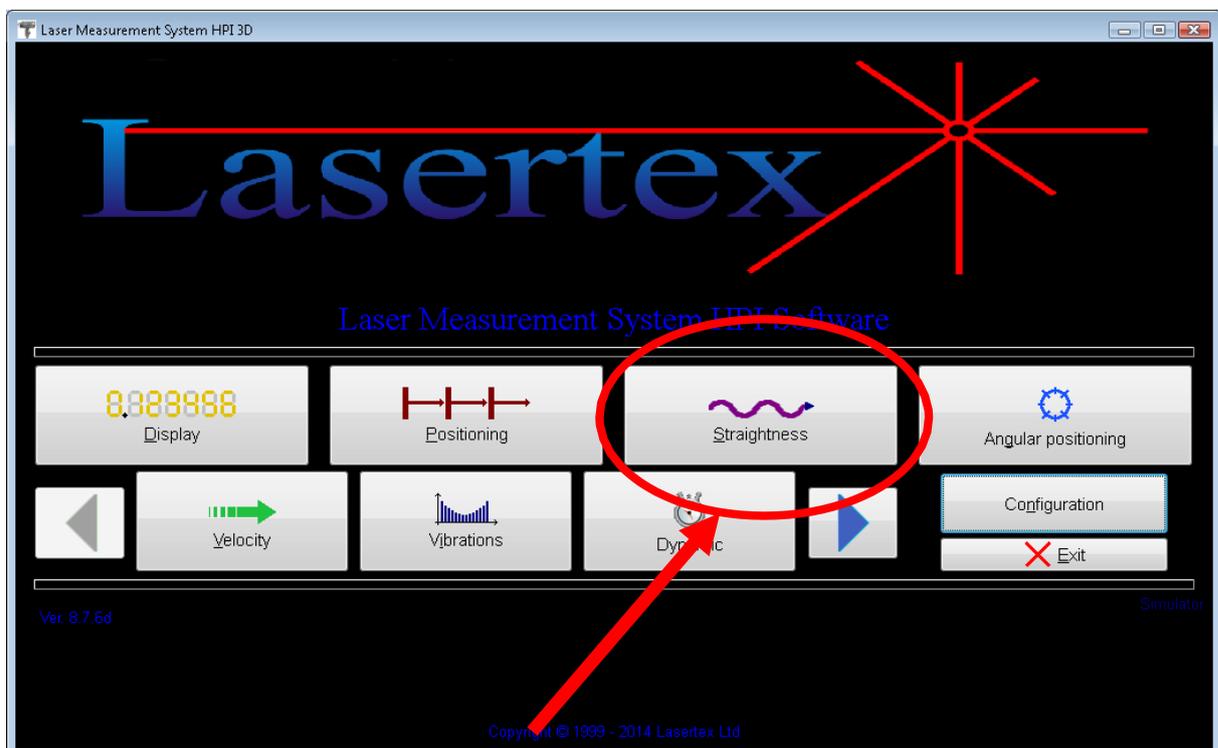


FIG.7.22 MENÚ PRINCIPAL

La ventana de medición de rectitud en HPI Software se muestra en la Fig. 7.23. La ventana consta de un menú desplegable y cinco paneles:

- 1) Pantalla: presenta la distancia actual y el nivel de señal de medición;
- 2) Gráfico de rectitud: en el modo 3D hay gráficos visibles para el eje vertical y horizontal, en el modo Angular y Wollaston sólo se ve un gráfico;
- 3) Panel para cambiar el modo de operación;
- 4) Tabla de valores de rectitud: una tabla que contiene muestras numeradas consecutivamente y el valor de rectitud medido (o dos valores en modo 3D);
- 5) Panel con botones de control e información de estado.

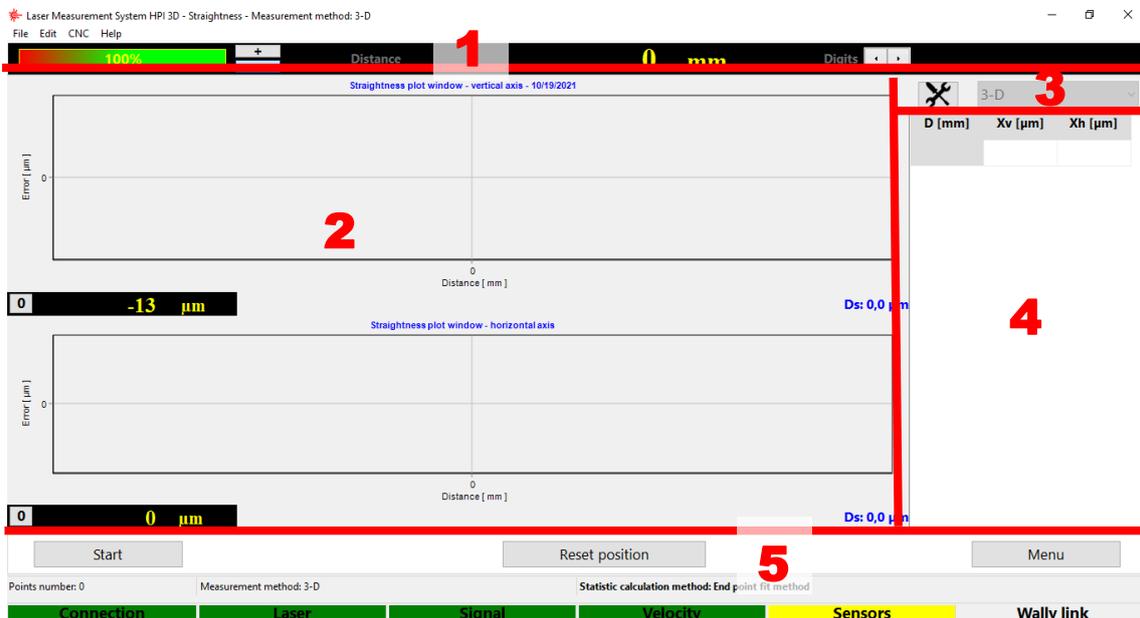


FIG.7.23. VENTANA DE MEDICIÓN DE RECTITUD CON PANELES.

b. Panel de visualización

El panel de visualización (figura 7.24) se utiliza para el control básico del funcionamiento de la parte interferométrica del láser. A través de este panel es posible monitorear la calidad de la señal de entrada, es decir, la intensidad del haz y el valor actual medido por el láser. Dependiendo del tipo de medición elegido, los valores se muestran en diferentes unidades (figuras 7.24A, B y C): para los tipos de medición angular y de Pitch/Yaw son arcosegundos, para Wollaston son micrómetros y para 3D son milímetros. Para la opción 3D, el valor que se muestra en el panel es sólo auxiliar; las lecturas de rectitud se muestran en el panel de trazado de rectitud que se describe a continuación.

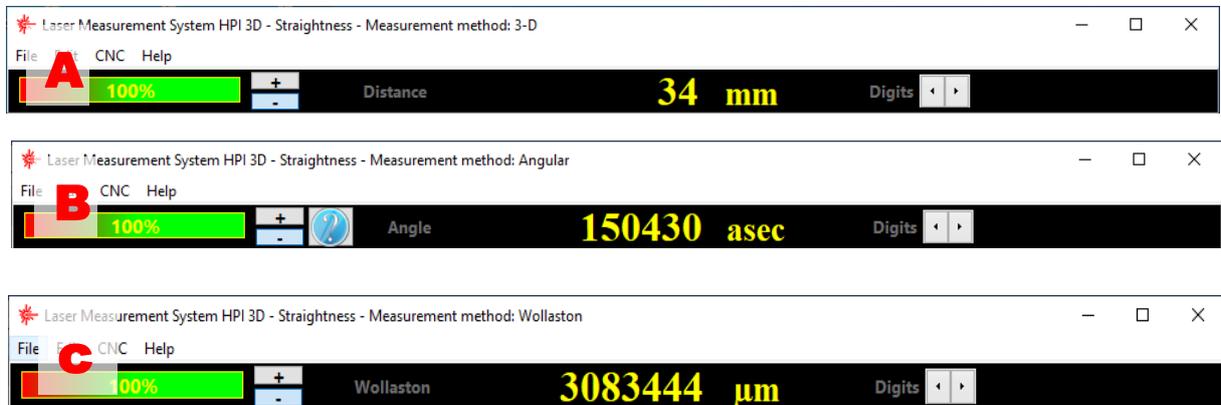


FIG. 7.24 PANEL DE VISUALIZACIÓN DURANTE (A) MEDIDAS TIPO 3D
, (B) ANGULAR, (C) WOLLASTON

Con los botones disponibles en el panel de visualización, es posible cambiar el signo o la resolución mostrada del resultado de la medición actual. La configuración del signo influye en los valores registrados en el gráfico de rectitud y la tabla de valores. El cambio de número de dígitos no

influye en la medición.



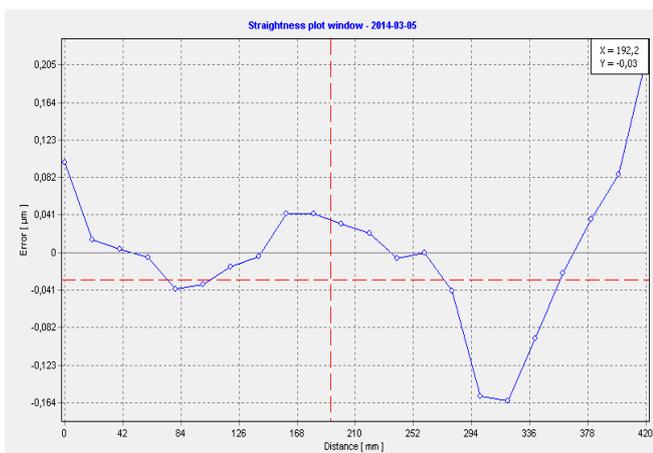
FIG.7.25 PANEL DE VISUALIZACIÓN DESPUÉS DE MEDICIONES DE TIPO 3D

Una vez finalizadas las mediciones 3D, en el panel de visualización aparece un botón adicional. Esto se muestra en la Figura 7.25. Al presionar este botón, es posible volver a tomar cualquier punto de medición. El procedimiento de nueva medición se describe con más detalle en el capítulo.

c. Panel de representación gráfica

El panel de Trazado de rectitud es el lugar donde se muestran los resultados de la medición. Los resultados de la medición se colocan en el gráfico tan pronto como son registrados por el cabezal láser.

Puede haber uno o dos gráficos mostrados dependiendo del tipo de



medición. Para las mediciones angulares y de tipo Wollaston, sólo hay un gráfico (fig. 7.26) porque con esta configuración es posible medir la rectitud de sólo un eje a la vez.

FIG.7.26 PANEL DE GRÁFICO DE RECTITUD EN LAS OPCIONES ANGULAR Y WOLLASTON



El gráfico de rectitud durante la medición 3D se ve de manera diferente (figura 7.27) porque simultáneamente se miden: la distancia entre RL1 e IL1 (que se muestra en el panel de visualización) y la posición del RL1 en los ejes

perpendiculares al rayo láser (denotado como horizontal eje y eje vertical).

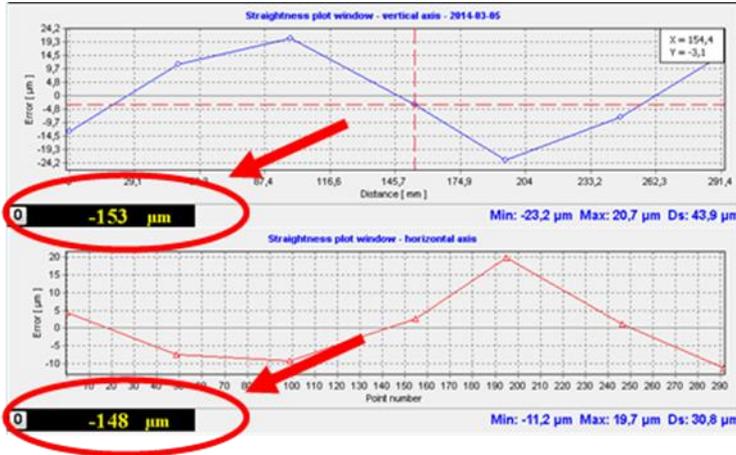


FIG.7.27 PANEL DE GRÁFICO DE RECTITUD EN LA OPCIÓN 3D

Ambos valores de rectitud se pueden

restablecer presionando el botón 0 en las pantallas pequeñas. Debe recordarse que este restablecimiento es válido sólo para la medición actual: los valores de rectitud 3D son absolutos y no incrementales como en el canal interferométrico.

En la esquina inferior derecha del panel se muestran los valores de borde de la rectitud, es decir, el valor mínimo *Min*, el valor máximo *Max*, la amplitud de la rectitud $Ds = Max - Min$. En el caso de las mediciones 3D, esos valores se muestran para cada eje.

Las unidades en el eje vertical del gráfico de rectitud dependen de la configuración real establecida en la opción *Configuration -> General*. Para las mediciones de rectitud, estos suelen ser micrómetros, mientras que para las mediciones de Pitch/Yaw son arcosegundos. El rango mostrado se configura automáticamente, pero también se puede configurar manualmente. En el eje horizontal se puede mostrar la distancia o los números de puntos de

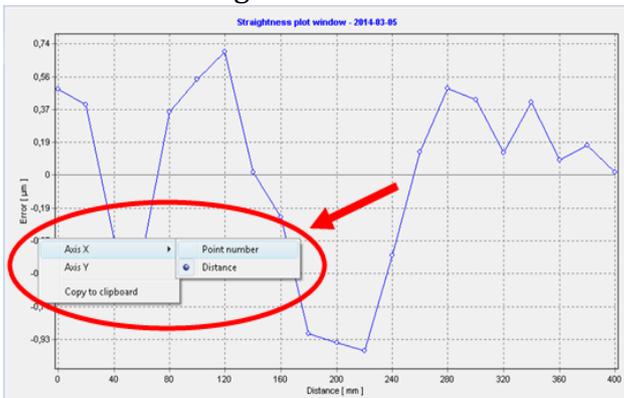


FIG.7.28 MENÚ EMERGENTE EN EL PANEL DE GRÁFICO DE RECTITUD



medición.

Después de hacer clic con el botón derecho del ratón en el eje del gráfico, aparecerá el menú emergente como se muestra en la Figura 7.28. Las opciones de este menú se utilizan para modificar la visualización de los ejes horizontal y vertical del gráfico.

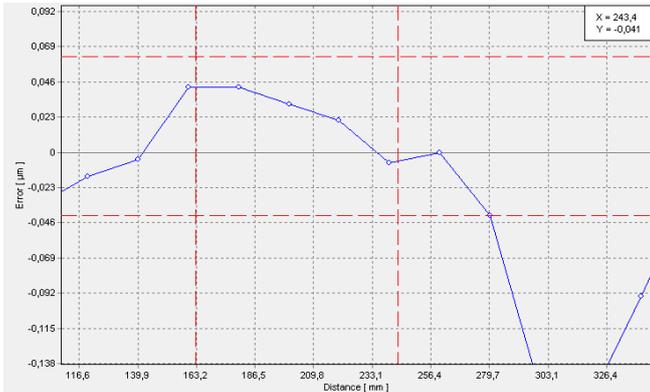


FIG.7.29 GRÁFICO AUMENTADO

El gráfico también se puede copiar al portapapeles (opción “Copy to clipboard”) para pegarlo en un software de edición de documentos (como Microsoft Word u OpenOffice Write).

El gráfico mostrado se puede acercar y alejar con el uso del ratón. Para acercar, es necesario marcar la esquina superior izquierda del área deseada presionando el botón izquierdo del ratón. El botón debe mantenerse presionado y el puntero del ratón debe moverse a la esquina inferior derecha del área deseada. Deben aparecer las líneas discontinuas rojas auxiliares como se muestra en la Figura 7.29. El alejamiento se realiza moviendo el botón izquierdo del ratón presionado desde la esquina inferior derecha a la esquina superior izquierda.

La vista ampliada del gráfico se puede cambiar presionando el botón derecho del ratón en el gráfico (¡y no en los ejes como aparecería el menú emergente!), y moviendo el puntero del ratón en la dirección deseada.

d. Panel de operación

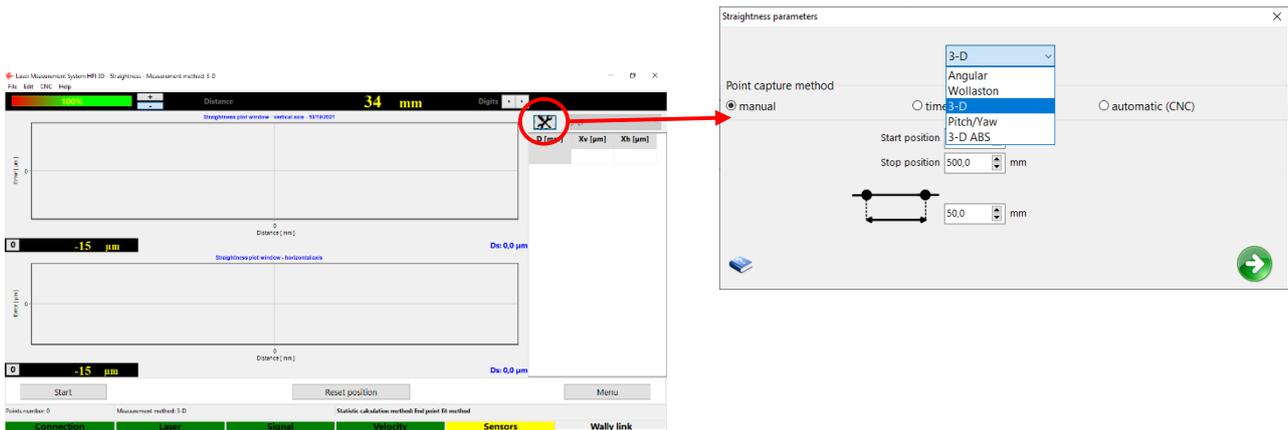


FIG.7.30 PANEL DE MODO DE FUNCIONAMIENTO

En la esquina superior derecha, se coloca un botón para cambiar el modo de medición (Fig. 7.30). Hay cuatro opciones disponibles: Angular, Wollaston, 3D y Pitch / Yaw. El último modo se describe en otro capítulo de este documento.

e. Panel de resultados de rectitud

En el Panel de valores se muestran los valores numéricos de las medidas de rectitud (Figura 7.31). Estos son los mismos valores que se muestran en la/s tabla/s.



FIG.7.31 PANEL DE VALORES

La unidad de la distancia D se puede cambiar, independientemente de la unidad del gráfico, haciendo clic con el botón izquierdo del ratón en la columna de distancia del gráfico. Hay tres posibilidades (ver Figura 7.32): valores redondeados de la distancia (A), valor real de la distancia (B) y número de puntos (C).

D [mm]	Xv [µm]	Xh [µm]	D [mm]	Xv [µm]	Xh [µm]	No.	Xv [µm]	Xh [µm]	
-190	-25,2	62,0	-189,6714	-25,2	62,0	0	-25,2	62,0	
A	-20,0	48,4	B	-17,3647	-20,0	48,4	C	-20,0	48,4
-170	-11,6	32,1	-170,1226	-11,6	32,1	2	-11,6	32,1	
-159	-9,9	19,5	-159,4504	-9,9	19,5	3	-9,9	19,5	
-151	-6,1	11,3	-151,4330	-6,1	11,3	4	-6,1	11,3	
-140	-5,4	1,6	-139,9930	-5,4	1,6	5	-5,4	1,6	
-130	1,6	-15,4	-129,9343	1,6	-15,4	6	1,6	-15,4	
-120	7,5	-22,5	-120,2265	7,5	-22,5	7	7,5	-22,5	
-110	14,1	-33,0	-109,9312	14,1	-33,0	8	14,1	-33,0	
-100	17,5	-45,1	-99,8334	17,5	-45,1	9	17,5	-45,1	
-90	25,8	-53,1	-89,9977	25,8	-53,1	10	25,8	-53,1	
-80	28,7	-58,1	-79,9685	28,7	-58,1	11	28,7	-58,1	
-70	32,3	-66,4	-69,9203	32,3	-66,4	12	32,3	-66,4	
-60	36,3	-70,9	-59,9563	36,3	-70,9	13	36,3	-70,9	
-50	39,3	-77,5	-50,0096	39,3	-77,5	14	39,3	-77,5	
-40	6,4	-11,5	-39,9974	6,4	-11,5	15	6,4	-11,5	
-30	-18,1	41,3	-29,9376	-18,1	41,3	16	-18,1	41,3	

FIG.7.32 PANEL DE VALORES - DIFERENTES MODOS. ACLARACIONES EN TEXTO



f. Panel de control de rectitud

El panel de control de rectitud consta de tres partes principales (Figura 7.23):

- Línea con botones de control,
- Línea con información de estado de medición,
- Línea con información de estado del láser.

La última línea muestra información común a todas las opciones del software HPI, es decir, el estado de conexión, láser, señal, sensores y codificador rotatorio.

La línea de estado de la medición muestra la información de la medición actual, como el número de puntos de medición registrados, el tipo de medición y el método estadístico utilizado para el ajuste de datos.

La funcionalidad de la línea con los botones cambia con el estado de medición actual. En la Figura 7.33 se muestran varias apariencias de la parte de control del Panel de control.

El caso A aparece cuando no hay ninguna medición en curso y no se leyeron datos de un archivo. En este modo es posible iniciar la medición ("Start"), reiniciar el contador principal ("Reset position ") o volver al menú principal del programa ("Menu"). También es posible establecer un tiempo entre las mediciones capturadas automáticamente ("Time ").

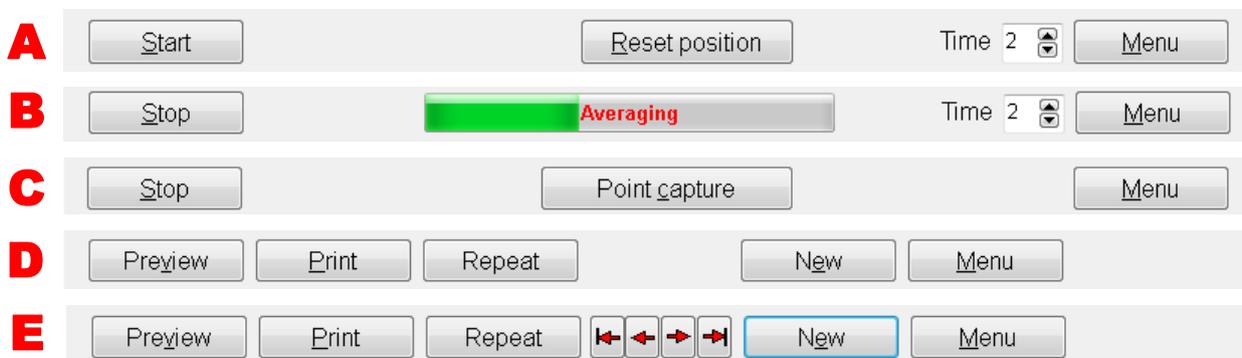


FIG.7.33 PANEL DE CONTROL - DIFERENTES MODOS. ACLARACIONES EN TEXTO

Los casos B y C aparecen durante las mediciones. El primero es durante el modo de captura automática de puntos, mientras que el segundo durante el modo de captura manual de puntos. La medición se puede detener directamente ("Stop") o indirectamente ("Menu"). Después de presionar el botón "Menu", el software siempre pregunta si la medición debe detenerse primero.

Los casos D y E son visibles durante el análisis de los resultados obtenidos. Si solo hay una serie de mediciones realizada, entonces aparece el panel D, de lo contrario, el panel E. Desde esos paneles es posible ver el informe de medición ("Preview" o "Print") o rehacer las mediciones ("Repeat" o "New"). En el caso D (serie única), la funcionalidad de "Repeat" y "New" es la misma. Cuando hay más de una serie medida, es posible repetir solo una serie ("Repeat") o comenzar mediciones completamente nuevas ("New").

g. Menús desplegados

El gráfico visto se puede imprimir o guardar en un archivo. Estos comandos están disponibles en el menú **File** (es decir, Guardar, Guardar como, Imprimir; figura 7.34).

Antes de guardar el archivo, el programa pregunta sobre el cambio de

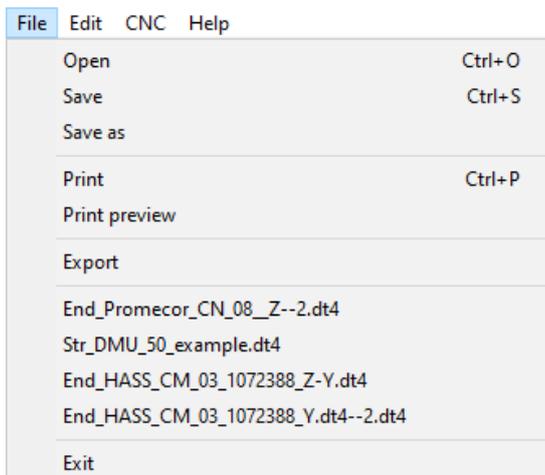


FIG.7.34. MENÚ DESPLEGABLE DE RECTITUD *FILE*.

datos de la máquina (opción disponible en el menú desplegable *Edit->Machine data*), como el tipo de máquina, el número de serie de la máquina, el eje medido o el operador de la máquina. Estos valores permiten describir la medición realizada para su posterior análisis y también están presentes en el informe impreso.

Otras opciones disponibles en el menú *Edit* son:

- **Measurement table** – Los datos brutos se muestran para su análisis, exportación e impresión.;
- **Base length** – se puede ajustar la longitud de la base del retroreflector angular RK1 (el valor predeterminado es 100 mm); la opción disponible también en *Configuration->Parameters*;
- **Configuration** – abre la ventana Configuración como se muestra en la figura 7.36.

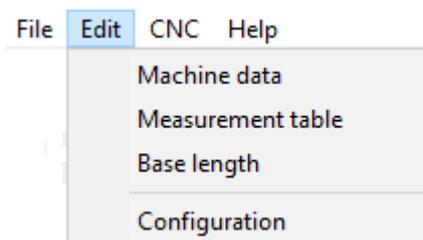


FIG.7.35. MENÚ DESPLEGABLE DE RECTITUD *EDIT*

En la Configuración es posible configurar:

1. Carpeta de archivos de datos de rectitud: lugar al que apuntará el sistema operativo durante el guardado de los datos de medición;
2. Método de medición: la misma funcionalidad con el panel de modo operativo;

3. Método de cálculo estadístico: los datos medidos se pueden ver como datos sin procesar o ajustados a la línea. Para los datos brutos, se debe elegir la opción *None*. El ajuste de línea se puede realizar de acuerdo con el método de ajuste de punto final *End point fit* o de ajuste por mínimos cuadrados *Least squareness fit*. El método que se utilice depende de las preferencias del usuario.

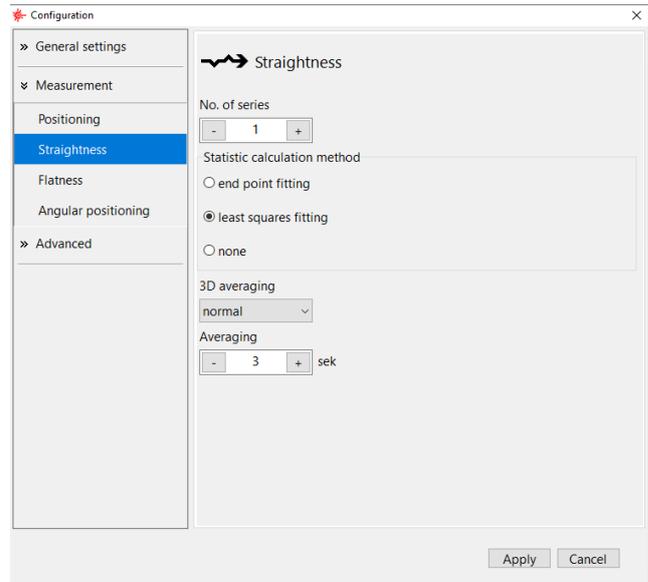


FIG. 7.36. OPCIONES DE CONFIGURACIÓN DE RECTITUD.

4. Ciclos en serie: define cuántas series de medidas debe esperar el software. Es posible realizar menos ciclos de los establecidos en este parámetro;
5. Tiempo promedio 3D: dado que la medición de rectitud 3D es una medida de tipo amplitud, por lo tanto, dependiendo de la condición de medición, el dispositivo requiere cierto tiempo para promediar los resultados. Cuanto mayor sea la distancia entre el cabezal del láser y el elemento reflectante RL1 y cuanto mayor sea el flujo de aire tangible, mayor será el valor del tiempo promedio que deba establecerse en *Averaging time*;
6. Parámetros de detección de puntos: parámetros que no se utilizan en la versión actual del software. **Aplicable sólo en la versión personalizada del software HPI.**

h. Informes

El informe de medición también se puede generar a partir de los datos

obtenidos, ya sea presionando *Print* o *Preview* en la ventana de análisis de medición (fig. 7.37). El informe se puede generar en la forma básica donde sólo se muestra el gráfico de los valores medidos (fig. 7.38) o en la versión extendida, que contiene tablas con datos medidos.

Es posible copiar el gráfico de rectitud en el portapapeles y luego pegarlo, por ejemplo, en un documento del editor de Word. El comando **Copy to clipboard** está disponible en el menú emergente que aparece después de hacer clic con el botón derecho en el área del gráfico.

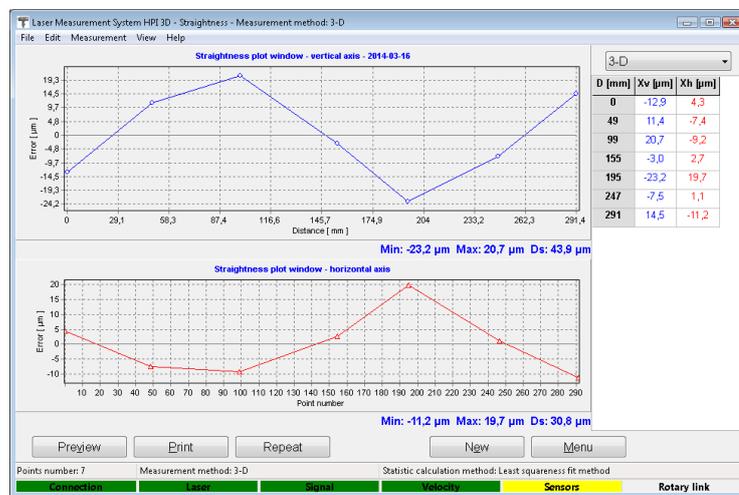


FIG.7.37. VENTANA DE ANÁLISIS DE DATOS MEDIDOS DE LA RECTITUD

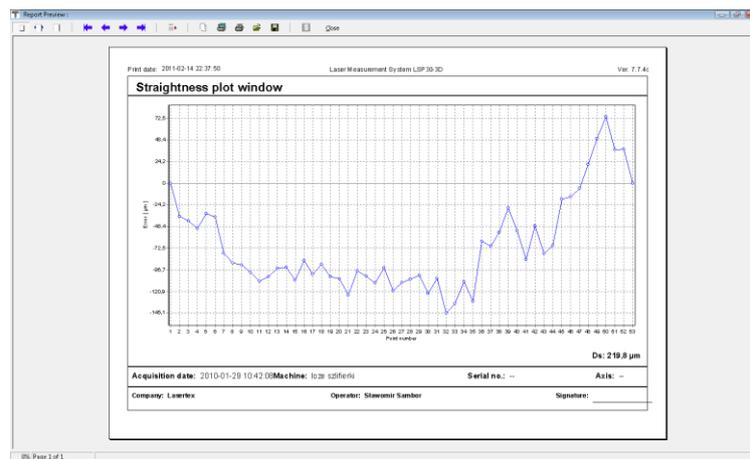


FIG.7.38. VENTANA DE VISTA PREVIA DEL INFORME DE RECTITUD

7.6 Procedimiento de medición de rectitud

Las mediciones de rectitud se inician presionando el botón **Start**. Durante la medición, el software recopila los puntos y el gráfico de rectitud se actualiza constantemente. La medición finaliza presionando el botón **Stop**.

Las medidas de rectitud se llevan a cabo a lo largo de una línea recta apuntada por la luz láser. El procedimiento de medición real depende ligeramente del modo de medición: angular, Wollaston o 3D.

a. Procedimiento de medición – Óptica angular - preparaciones

La medición de rectitud en modo angular se basa en mover el retroreflector angular RK1 en un intervalo establecido en el parámetro *Base Length* (generalmente 100 mm) y medir la desviación angular del RK1.

Es **muy importante** establecer antes de las mediciones con la óptica angular la distancia entre los puntos de medición y las configuraciones ópticas reales, es decir, si se mueve RK1 o IK1 y en qué dirección. Esto se puede hacer en la ventana emergente especial (Figura 7.39). Esta ventana aparece siempre antes de presionar el botón **Start**.

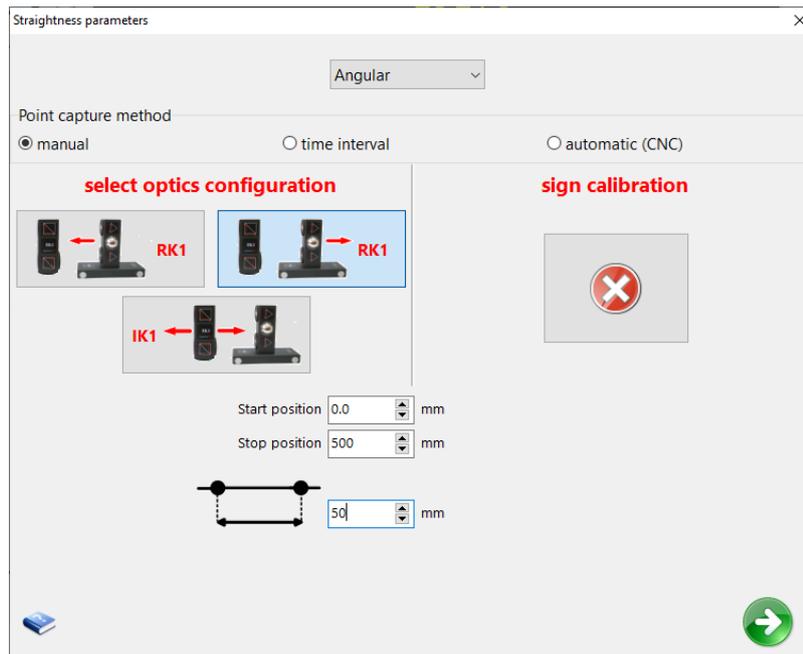


FIG.7.39. SELECCIÓN DE CONFIGURACIÓN DE LA ÓPTICA ANGULAR

Si el RK1 se mueve manualmente, la distancia entre los puntos debe marcarse en la regla principal o en la superficie examinada antes de que comience la medición. Se recomienda utilizar la regla con la escala; consulte la Figura 7.40.

Durante la medición, los puntos pueden ser capturados manualmente por el usuario o automáticamente por el software en intervalos de tiempo constantes. El período de tiempo entre las capturas de puntos se utiliza para mover el retroreflector a una distancia de 100 mm (longitud base **RK1**). El intervalo de tiempo debe adaptarse a la experiencia del usuario. Se sugiere establecer el tiempo en 10 s y disminuirlo si es necesario. El intervalo de tiempo aumenta y disminuye presionando las teclas \uparrow , \downarrow en la pantalla del PC.

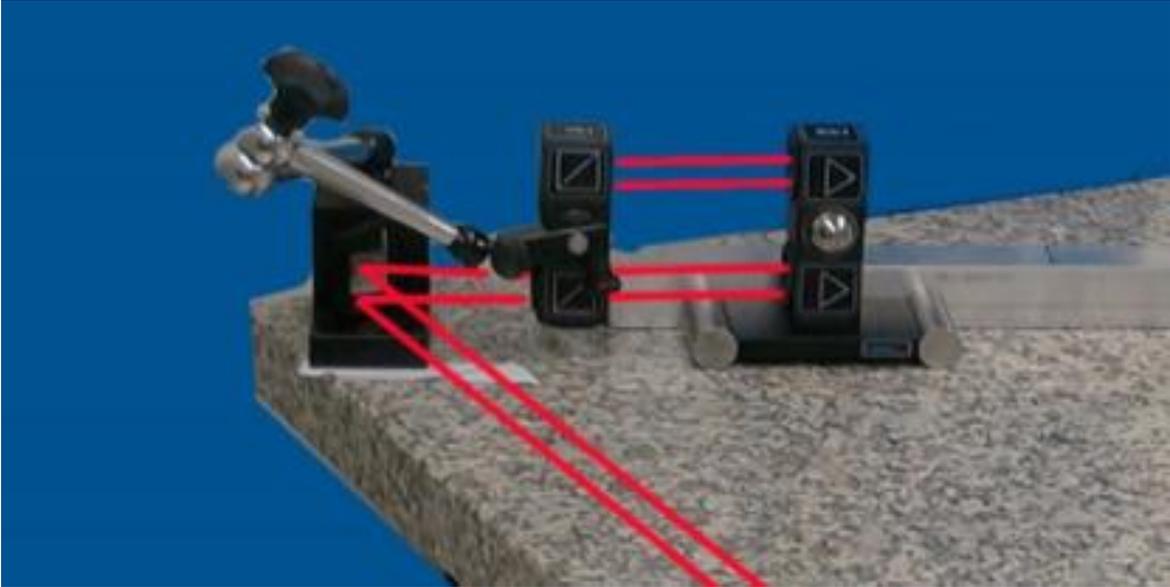


FIG.7.40. EJEMPLO DE CONFIGURACIÓN DE COMPONENTES ÓPTICOS EN MEDIDA DE RECTITUD ANGULAR.

b. Procedimiento de medición – Óptica angular

1. Configure el láser en la máquina medida y alinee la trayectoria óptica,
2. Inicie el software HPI y seleccione la opción Straightness,
3. Elija el método de medición: Angular,
4. Elija si los puntos se capturarán de forma manual o automática,
5. Presione el botón Start,
6. Elija la configuración óptica correcta,
7. Espere a que el programa capture el primer punto (en el modo de captura de tiempo) o capture el punto manualmente,
8. Mueva el **IK1** o el **RK1** a la distancia establecida en la opción *Edit- >Base length* (por defecto 100 mm) y espere a que se capture el siguiente punto,
9. Continúe la medición hasta alcanzar el último punto,
10. Detenga la medición.



c. Procedimiento de medición – Óptica de Wollaston – preparaciones

La medición de rectitud en el modo Wollaston se basa en mover el prisma Wollaston WP2 en un intervalo establecido en el parámetro *Base Length* (generalmente 100 mm) y medir el movimiento del WP2 en la dirección perpendicular al rayo láser..

d. Procedimiento de medición – Óptica de Wollaston

1. Configure el láser en la máquina medida y alinee la trayectoria óptica,
2. Inicie el software HPI y seleccione la opción *Straightness*,
3. Elija el método de medición: Wollaston,
4. Elija si los puntos se capturarán de forma manual o automática,
5. Presione el botón *Start*,
6. Espere a que el programa capture el primer punto (en el modo de captura de tiempo) o capture el punto manualmente,
7. Mueva el **WP2** la distancia establecida en la opción *Edit->Base length*, (predeterminado 100 mm) y espere a la siguiente captura de punto,
8. Continúe la medición hasta alcanzar el último punto,
9. Detenga la medición.

e. Procedimiento de medición – método 3D - preparaciones

La medición de la rectitud en el modo 3D se basa en mover elementos ópticos lineales (IL1 o RL1) a cualquier distancia y medir el movimiento relativo de IL1 y RL1 en ambas direcciones perpendiculares al rayo láser.

f. Procedimiento de medición – método 3D

1. Configure el láser en la máquina medida y alinee la trayectoria óptica,
2. Inicie el software HPI y seleccione la opción *Straightness*,
3. Elija el método de medición: 3D,
4. Elija si los puntos se capturarán de forma manual o automática,
5. Presione el botón *Start*,
6. Espere a que el programa capture el primer punto (en el modo de captura de tiempo) o capture el punto manualmente,
7. Mueva el **IL1** o el **RL1** a la distancia establecida en la opción *Edit->Base length* (por defecto 100 mm) y espere a que se capture el siguiente punto,
8. Continúe la medición hasta alcanzar el último punto,
9. Detenga la medición.

8. MEDICIONES - PLANITUD

8.1 Descripción general

La medición de planitud se realiza utilizando el principio de medición de la rectitud **angular**. Para obtener una planitud superficial, es necesaria la medición de la rectitud angular en ocho ejes. A partir de los datos de rectitud de los ejes obtenidos, se calcula y dibuja un mapa de planitud (figura 8.1).

8.2 Configuración de medición

Para las mediciones de planitud, se deben utilizar ópticas angulares y espejos adicionales. Los componentes necesarios son:

- Cabezal laser,
- Fuente de alimentación,
- Interferómetro angular **IK1**,
- Retrorreflector angular **RK1**,
- Dos espejos dobladores de haz **ZK1** (ver figura 8.2).

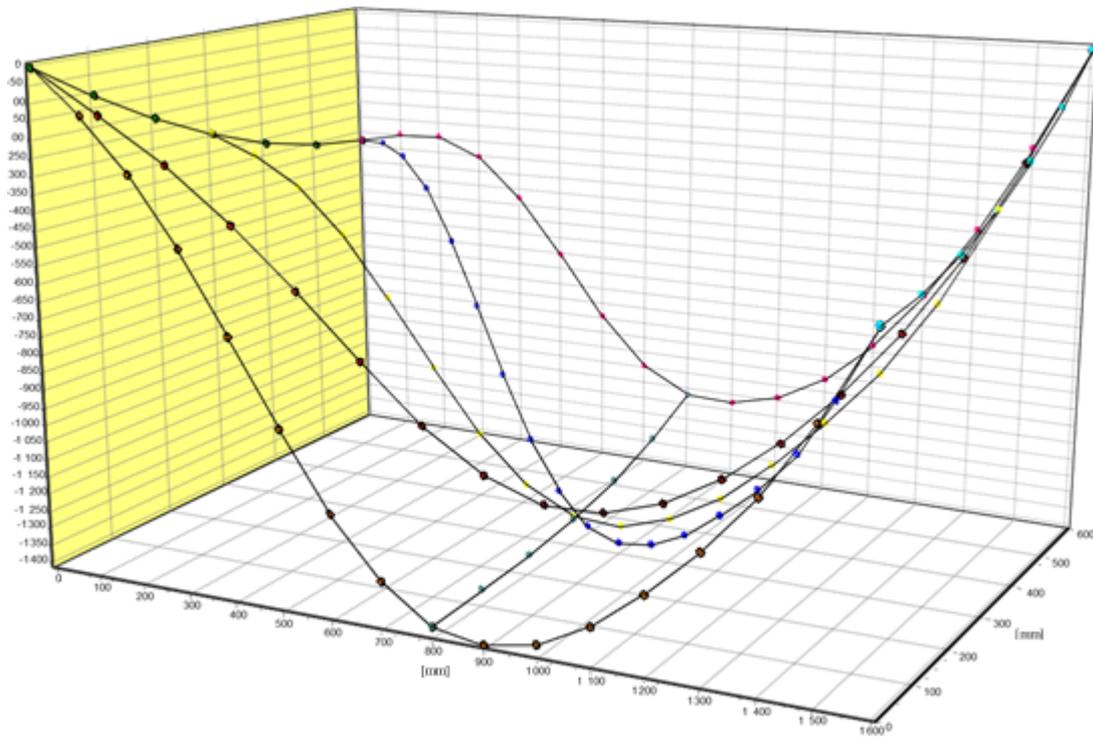


FIG.8.1. EJEMPLO DE MAPA DE PLANITUD DE UNA SUPERFICIE

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode
- Sensor de temperatura del aire
- Sensor de temperatura base cable



FIG.8.2. CONJUNTO DE ELEMENTOS PARA LAS MEDIDAS DE PLANITUD (IK1, RK1 Y ZK1).

Las mediciones de planitud requieren que los elementos ópticos IK1 y RK1 estén alineados a lo largo del rayo láser como se muestra en la figura 8.3 para el primer eje. El elemento IK1 está estacionario y el elemento RK1 se desplaza.

Se pueden medir otros ejes con el uso de uno o dos dobladores de haz con posición constante del cabezal láser, o moviendo la posición del cabezal láser. En ambos casos se requiere la realineación de los componentes IK1 y RK1. Se recomienda utilizar la opción con posición constante del cabezal láser porque simplifica el proceso de realineación.

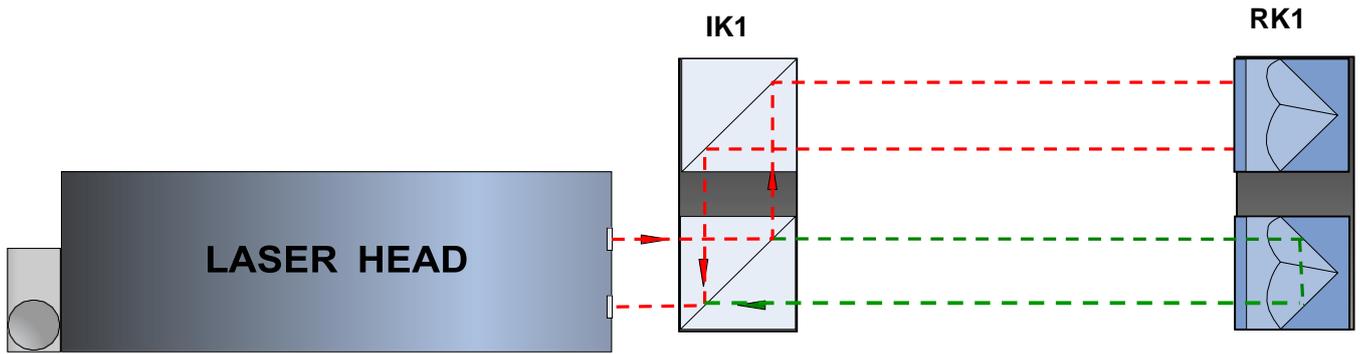


FIG.8.3 CAMINO ÓPTICO CONFIGURADO PARA MEDICIONES DE PLANITUD

Durante las mediciones de planitud, se recomienda el uso del sensor de temperatura del aire. No es necesario utilizar sensores de temperatura base.

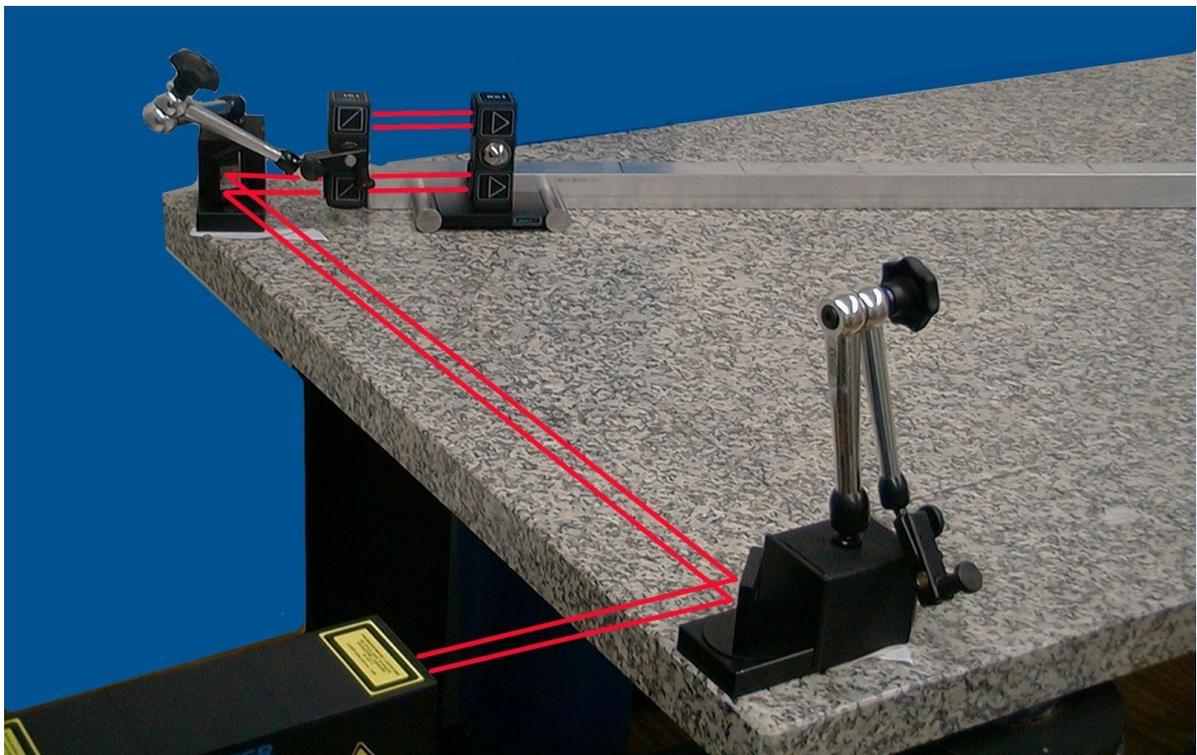


FIG.8.4. CAMINO ÓPTICO CONFIGURADO PARA MEDICIONES DE PLANITUD EN UNO DE LOS EJES.

8.3 Descripción del Software

La planitud se mide en la opción de planitud **Flatness**, elegida en el menú principal. La ventana del programa de software HPI se ve como se muestra en la Fig. 8.5. La ventana de resumen de medición de planitud consta de tres partes principales:



- Pantalla: presenta la planitud de la superficie calculada de acuerdo con las medidas de rectitud de los ejes;
- Gráfico esquemático: permite seleccionar el eje;
- Panel con botones.

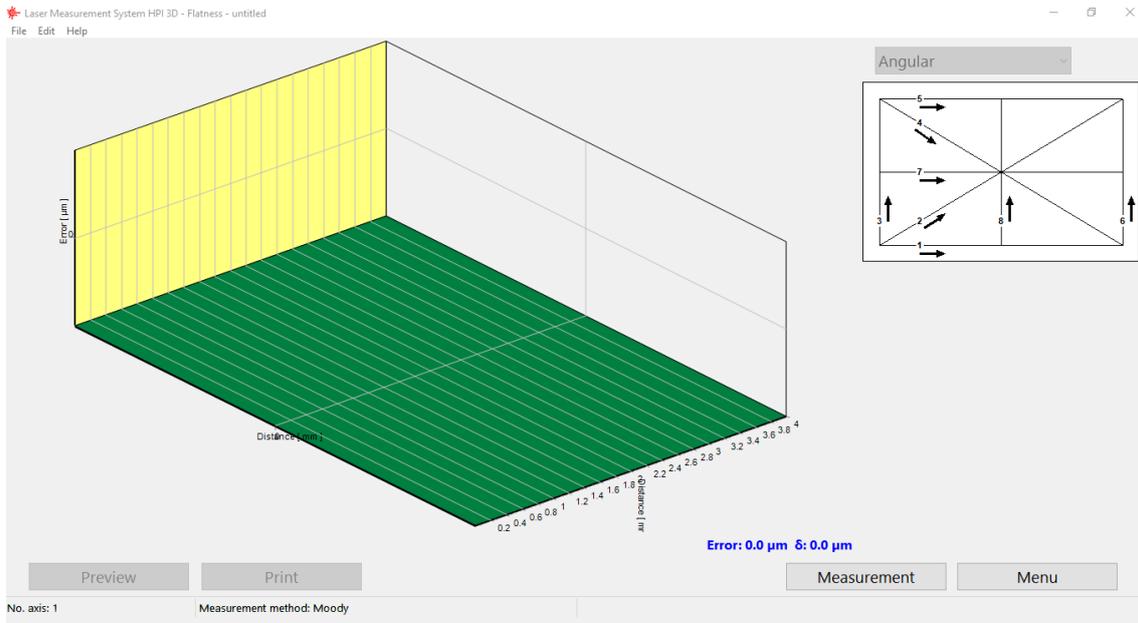


FIG.8.5. VENTANA DE RESUMEN DE MEDICIÓN DE PLANITUD.

Las mediciones de los ejes se realizan en la ventana *Medición de planitud* que se inicia con el botón **Measurement** de la ventana principal de planitud.

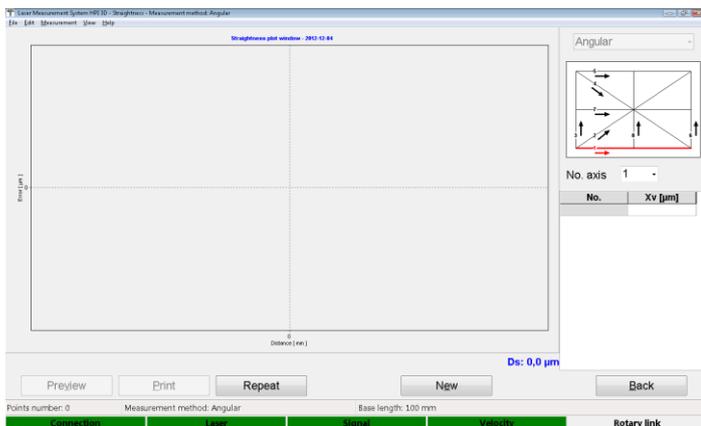


FIG.8.6. VENTANA DE MEDICIÓN DE PLANITUD

No. axis.

Aparece la ventana como se muestra en la figura 8.6. En esta ventana también es posible cambiar el eje medido y analizar los resultados de rectitud de cada eje individual. El eje se puede seleccionar haciendo clic en el eje adecuado en el gráfico de ejes o eligiéndolo de la lista desplegable

Las opciones disponibles en la ventana de medición de planitud también permiten repetir la medición de rectitud única (botón **Repeat**) o imprimir los resultados (de una sola medición) en forma de Informe (botón **Preview** o **Print**).

El gráfico se puede imprimir o guardar en un archivo. Se puede elegir en el menú **File** (es decir, Guardar, Guardar como, Imprimir; consulte la figura 8.7).

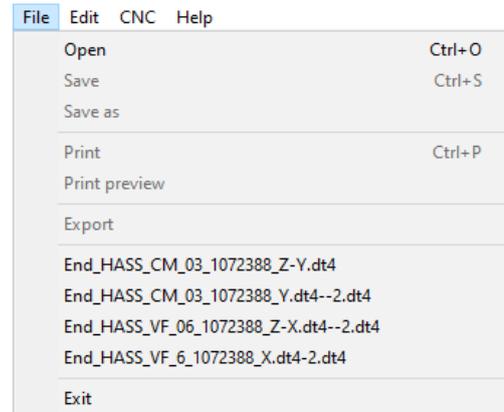


FIG. 8.7 MENÚ DESPLEGABLE DE PLANITUD *FILE*

Antes de guardar el archivo, el programa pregunta sobre el cambio de datos de la máquina (opción disponible en el menú desplegable *Edit->Machine data*), como el tipo de máquina, el número de serie de la máquina, el eje medido o el operador de la máquina (ver figura 8.8). Estos valores permiten describir la medición realizada para su posterior análisis y también están presentes en el informe impreso.

El informe de medición también se puede generar a partir de los datos obtenidos, ya sea presionando *Print* o *Preview* en la ventana de análisis de

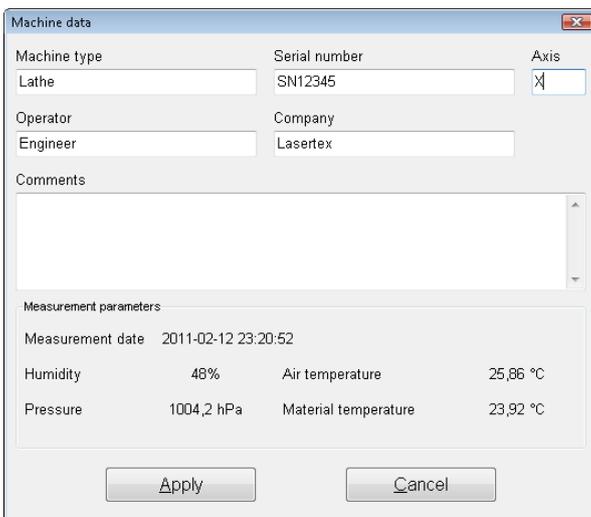


FIG.8.8. VENTANA DE DATOS

medición. El informe se puede generar en la forma básica donde sólo se muestra el gráfico de los valores medidos o en la versión extendida, que contiene tablas con datos medidos.

También es posible copiar el gráfico de rectitud en el portapapeles y luego pegarlo, por ejemplo, en un documento del editor de Word. El comando **Copy to clipboard** está disponible en el menú

emergente que aparece después de hacer clic con el botón derecho en el área del gráfico.

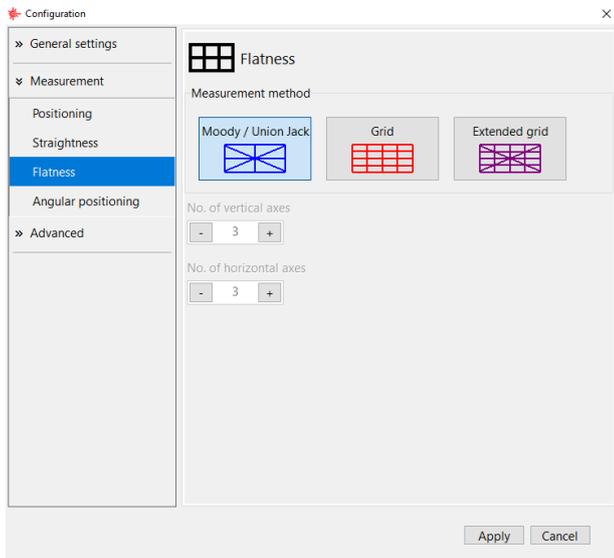


FIG.8.9. OPCIONES DE CONFIGURACIÓN DE PLANTILLA

La opción de planitud se puede configurar en la pestaña **Flatness** (Fig. 8.9.) Ubicada en la ventana **Configuration** accesible desde el Menú principal o desde el menú desplegable *Edit->Configuration*.

En la pestaña de configuración de planitud es posible cambiar la carpeta de datos de destino o elegir el método de medición. El estándar

es el Envelope que usa el método Moody para el cálculo de planitud. Para el método de cuadrícula *Grid*, el número de ejes verticales y horizontales se puede configurar de 3 a 8.

8.4 Alineación de elementos ópticos para las mediciones de planitud

La medición de la planitud consiste en las mediciones de rectitud realizadas a lo largo de 8 ejes. El eje se puede seleccionar haciendo clic en el eje adecuado en el gráfico de ejes o eligiéndolo de la lista (Fig. 8.10.). También se muestran: direcciones de medidas en los ejes y márgenes que deben mantenerse durante las medidas.

Las mediciones de rectitud se realizan con óptica angular como se describe en el Capítulo de *Rectitud*. Dependiendo del eje de medición, se utiliza un conjunto diferente de componentes ópticos y la alineación de la trayectoria óptica se realiza de una manera ligeramente diferente. Como se mencionó

anteriormente, las mediciones se pueden realizar con o sin cambiar la posición del cabezal láser. En ambos casos, las mediciones deben realizarse de acuerdo a las direcciones señaladas por las flechas en el gráfico esquemático en la pantalla principal de medición de planitud (Fig. 8.10).

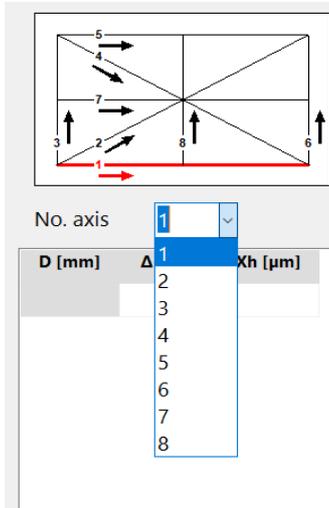


FIG.8.10. TABLA DE ELECCIÓN DE EJES

A continuación, se describe el procedimiento de medidas de planitud en la configuración manteniendo el cabezal láser fijo.

a. Alineación de la trayectoria del eje "1".

La medición de la rectitud del eje "1" se realiza de la misma forma que se describe en el Capítulo 7, Mediciones de *Rectitud*.

b. Alineación de la trayectoria de los ejes: "3", "6", "8".

Durante las mediciones de planitud de los ejes "3", "6" y "8" se utiliza un espejo de dirección de haz adicional **ZK1**. La forma de utilizarlo se muestra en la Figura 8.11. El procedimiento de alineación es el mismo que se describe en el Capítulo 4 para ópticas angulares con un elemento de dirección de haz adicional (**ZK1**) en la trayectoria.

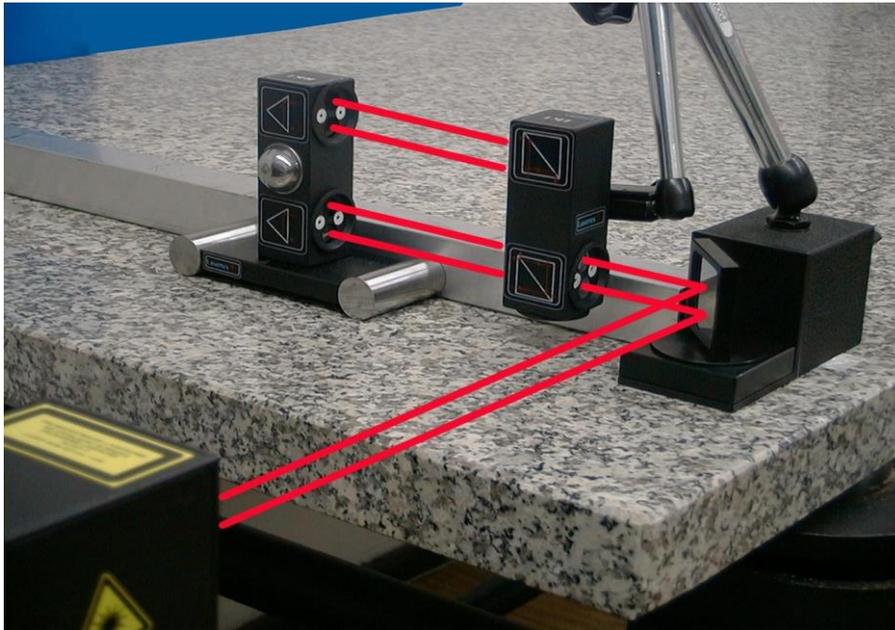


FIG.8.11. CONJUNTO DE COMPONENTES ÓPTICOS UTILIZADOS EN LAS MEDIDAS DE RECTITUD EN LOS EJES: “3”, “6” Y “8”.

c. Alineación de la trayectoria de los ejes: “5” y “7”

Durante las mediciones de planitud de los ejes “5” y “7” se utilizan dos espejos de dirección de haz **ZK1**. La forma de utilizarlos se muestra en la Figura 8.12. El procedimiento de alineación es el mismo que se describe en el Capítulo 4 para ópticas angulares con un elemento de dirección de haz adicional (**ZK1**) en la trayectoria.

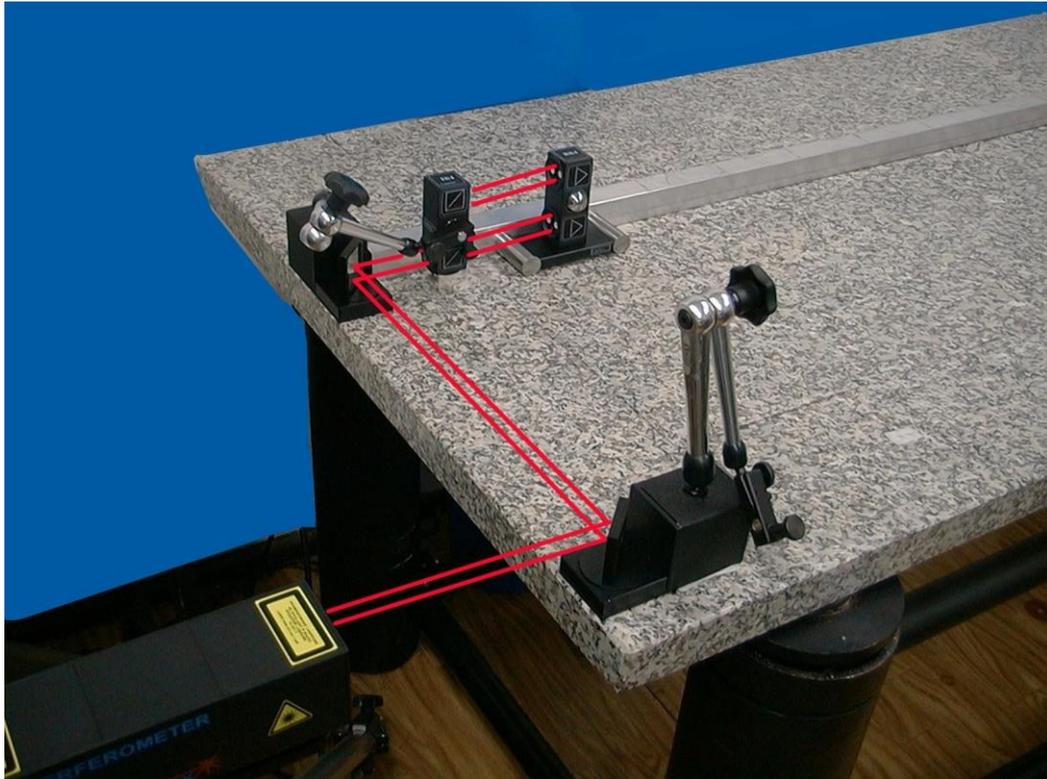


FIG.8.12. CONJUNTO DE COMPONENTES ÓPTICOS UTILIZADOS EN LAS MEDIDAS DE RECTITUD EN LOS EJES: “5” Y “7”.

d. Alineación de la trayectoria de los ejes: “2” y “4”

De manera similar, para los ejes “5” y “7” descritos anteriormente, durante las mediciones de planitud del eje “4” se utilizan dos espejos de dirección de haz **ZK1**. La diferencia es que el ángulo del segundo espejo generalmente difiere 45° . La alineación del eje “4” se muestra en la Figura 8.13. En el caso del eje “2”, se utiliza sólo un espejo de dirección de haz **ZK1**, pero el procedimiento de alineación es bastante similar al del eje “4”. El procedimiento de alineación es el mismo que se describe en el Capítulo 4 para ópticas angulares con un elemento de dirección de haz adicional (**ZK1**) en la trayectoria.

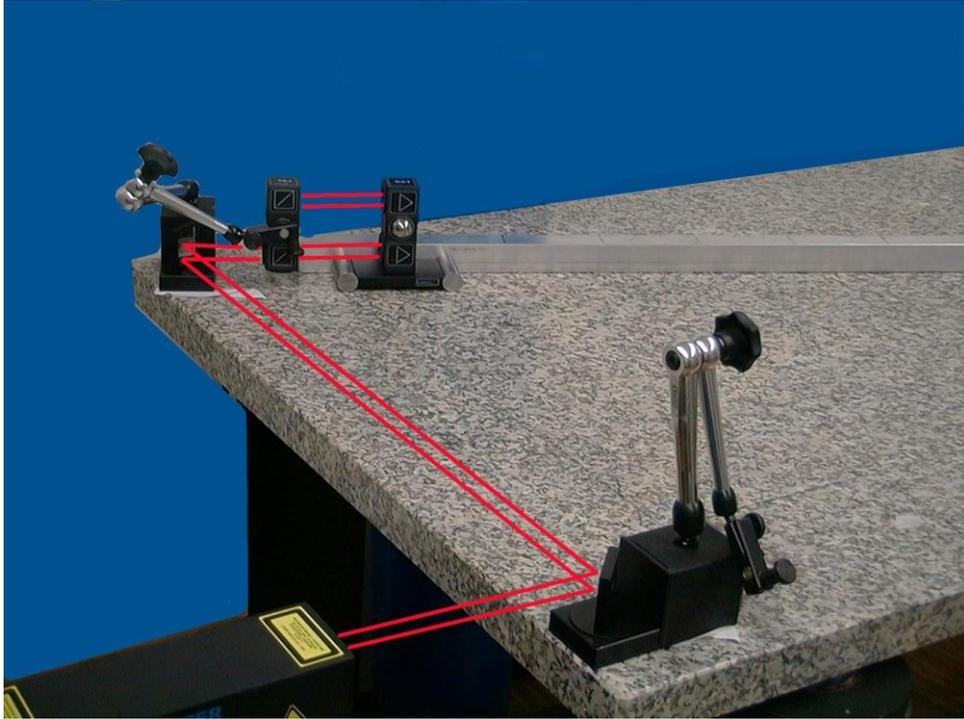


FIG.8.13. CONJUNTO DE COMPONENTES ÓPTICOS UTILIZADOS EN LAS MEDIDAS DE RECTITUD EN LOS EJES: "2" Y "4".

8.5 Procedimiento de medición

1. Configure el láser en la máquina medida y alinee la primera trayectoria óptica,
2. Inicie el software HPI y seleccione la opción *Flatness*,
3. Presione el botón *Measurement* en la pantalla de resumen de Planitud,
4. Elija el eje adecuado en el gráfico de elección de ejes y presione el botón *Start, New o Repeat*,
5. Mueva RK1 la distancia establecida en la opción *Edit->Base length* (por defecto 100 mm) y espere a que se capture el siguiente punto (o captúrelo manualmente),
6. Continúe con las mediciones hasta que se midan todos los puntos de la trayectoria,

7. Detenga la medición,
8. Si no se miden todos los ejes, repita los puntos 4-7,
9. Cuando se completen las mediciones de rectitud de todos los ejes, se debe presionar el botón *Back*. El software vuelve a la pantalla Resumen de planitud; figura 8.14,

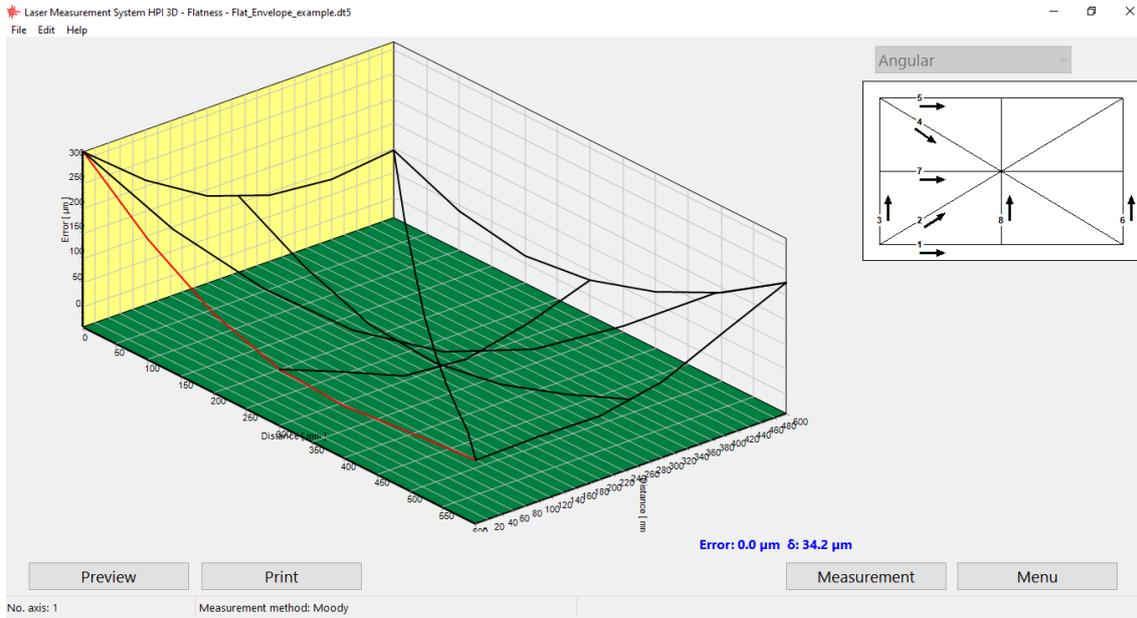


FIG.8.14. RESULTADO DE LA MEDICIÓN DE PLANITUD.

Para realizar la medición en el modo de captura manual, debe seleccionarse *Measurement->Manual point capture*. La medición comienza presionando **Start / New / Repeat**. El punto se puede capturar presionando la tecla *Espacio*, haciendo clic en el botón de captura de punto **Point capture** o presionando el botón del disparador remoto. Cuando se captura el último punto, se debe presionar el botón **Stop**.

El informe de medición también se puede generar a partir de los datos obtenidos, ya sea presionando **Print** o **Preview** en la ventana de análisis de medición. El informe se puede generar en la forma básica donde sólo se muestra el gráfico de los valores medidos o en la versión extendida, que contiene tablas con datos medidos.

9. MEDICIONES – RECTITUD DINÁMICA

9.1 Descripción general

Las mediciones de rectitud dinámica son mediciones que se suelen utilizar para obtener información básica sobre la geometría del eje de la máquina. Con esta opción, el usuario puede comprobar el movimiento de p. Ej. el elemento de la máquina medida en el espacio.

Es una opción hermana de la Rectitud que da en ciertas condiciones los mismos resultados, pero en un tiempo significativamente más corto. La principal diferencia con la opción Rectitud es que la máquina durante la medición no se detiene, sino que se traslada con una velocidad de avance constante desde el inicio hasta el punto final.

En el dispositivo HPI-3D, las mediciones de rectitud dinámica se pueden realizar con tres métodos diferentes: *Angular*, *Wollaston* y *3D*. El método *angular* está diseñado para usarse en mediciones de rectitud de base (como autocolimador óptico); El método de *Wollaston* está diseñado para mediciones de "movimiento en el espacio", p. Ej. se puede caracterizar el movimiento de una mesa de máquina o herramienta de trabajo; El método *3D* se utiliza para una estimación rápida del "movimiento en el espacio", como el método de *Wollaston*, pero la medición se realiza en los tres ejes a la vez. Los principales parámetros de esos métodos se describen en el capítulo "Datos técnicos".

9.2 Configuración de medición – Óptica angular

a. Principios

El funcionamiento del HPI-3D con la óptica angular utilizada se muestra en la Figura 9.1. El láser emite el rayo que consta de dos polarizaciones: horizontal (H) y vertical (V). El IK1 divide el haz en dos partes. Ambos haces se dirigen hacia la ruta de medición, pero se desplazan en paralelo a una distancia de 1 "o 2" (según la versión).

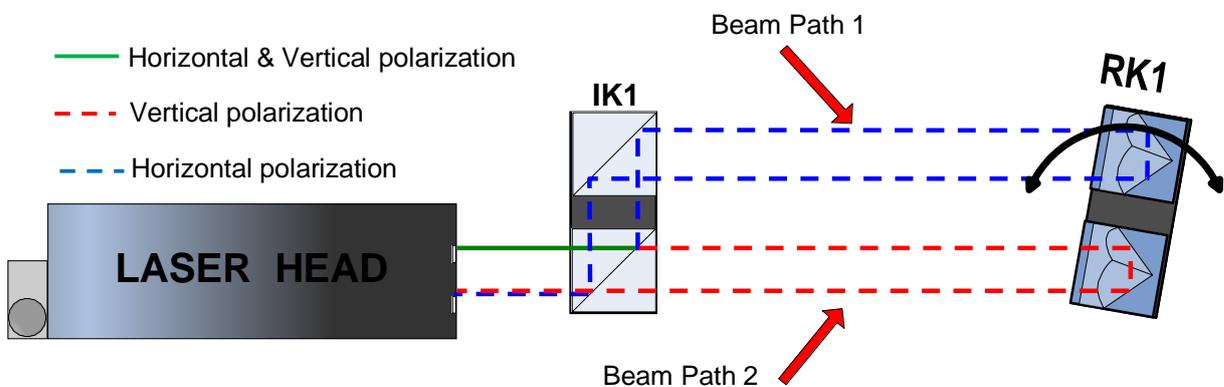


FIG.9.1. ILUSTRACIÓN DEL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO - ÓPTICA ANGULAR

Cuando se altera la distancia entre los elementos ópticos, la frecuencia de ambos haces cambia de acuerdo con el efecto Doppler. El cabezal láser nota un movimiento sólo si hay una rotación de IK1 frente a RK1, es decir, cuando hay una diferencia en las longitudes de las trayectorias del haz. La distancia medida se puede utilizar para obtener el ángulo de rotación (Pitch/Yaw de la máquina) o el movimiento vertical del componente óptico (IK1 o RK1).

El cabezal láser con óptica **angular** es insensible a los movimientos lineales

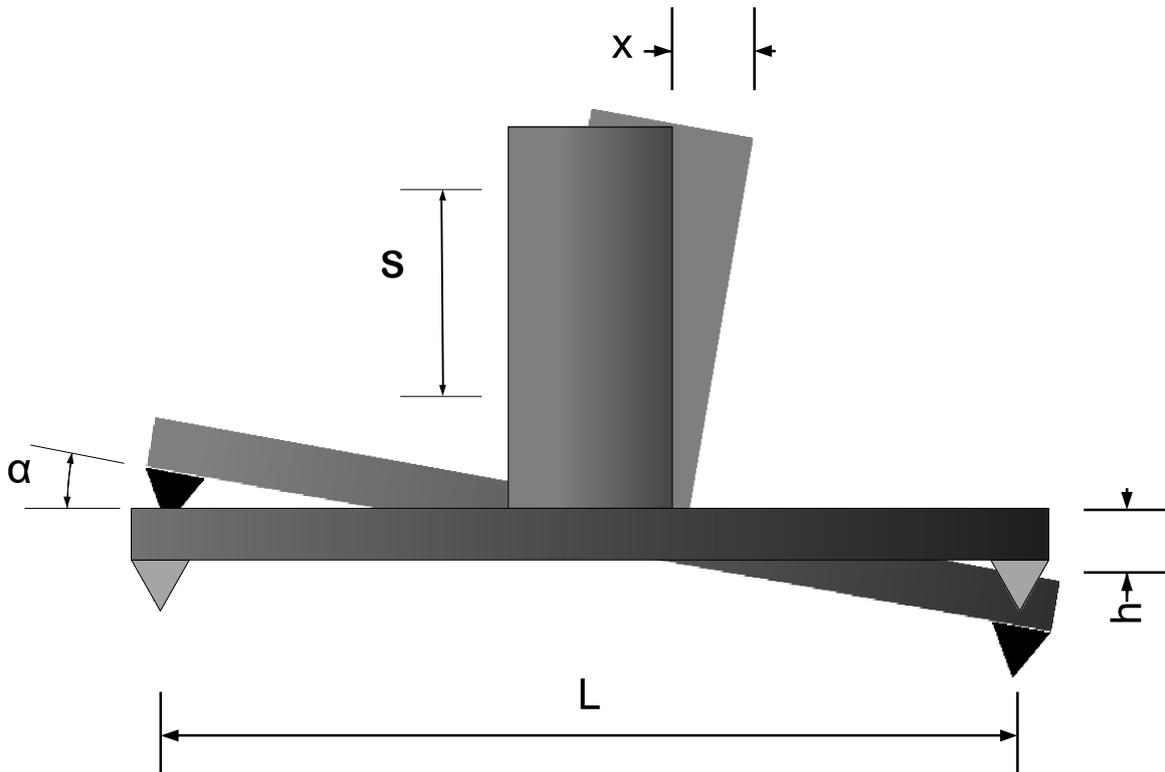


FIG.9.2. CÁLCULO DE LA RECTITUD DURANTE MEDICIONES ANGULARES

En la Figura 9.2 se muestra esquemáticamente un RK1 en un carro con todos los parámetros importantes para el cálculo. Para mayor claridad, la posición de IK1 se trata como referencia. El significado de los parámetros es:

- L - longitud de la base;
- s - distancia entre vigas en elementos IK1 y RK1;
- x - distancia medida por el cabezal láser;
- α - Rotación angular del elemento RK1;
- h - diferencia de altura entre dos puntos de medición.

El cabezal láser mide el parámetro x , mientras que la distancia entre los haces s y la longitud base L debe establecerse en los parámetros del software HPI. Entonces, el ángulo de rotación α y el movimiento en la dirección vertical

h se pueden calcular a partir de:

$$\alpha = \arctan \frac{X}{S} \quad (9.1)$$

$$h = x * \frac{L}{S}$$

b. Notas de aplicación

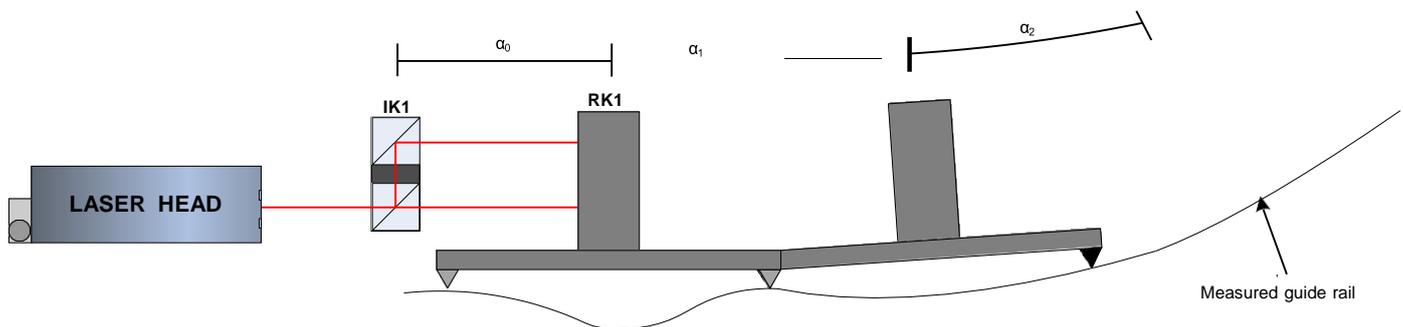


FIG.9.3. MEDICIÓN DE RECTITUD - PRINCIPIOS

La óptica angular se puede utilizar para:

- Medición del Pitch/Yaw de una máquina,
- Medición de la rectitud de la bancada de una máquina,
- Medida de pequeños ángulos.

La explicación de las dos primeras aplicaciones se muestra en la Figura 9.3. El RK1 montado en un carro se traslada sobre el carril guía medido. En cada longitud del carro (normalmente 100 mm) se realiza una medición. Las fórmulas 9.1 se utilizan para calcular los ángulos (para medidas de Pitch/Yaw) o las traslaciones verticales (para medidas de rectitud).

Cabe señalar que dicho método de medición de la rectitud requiere una elección adecuada de los puntos de medición. La elección de puntos más densos que el tamaño del carro da como resultado valores excesivos de los errores de rectitud (la forma del error es adecuada).

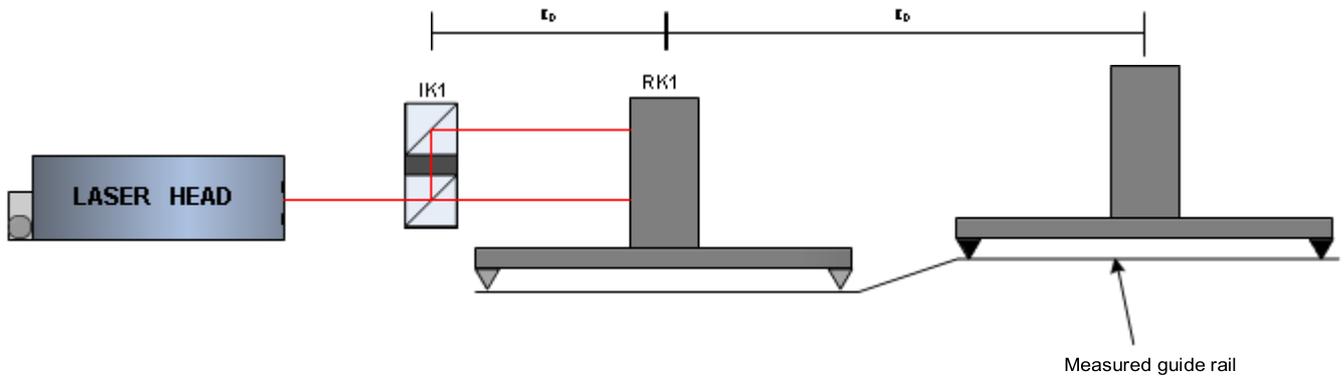


FIG.9.4. MEDICIÓN DE LA RECTITUD CON PUNTOS DE MEDIDA DEMASIADO DENSOS

La elección de puntos demasiado dispersos puede afectar tanto a la forma como al valor del error, como se muestra en la Figura 9.4. En este caso especial, debido a que los puntos de medición son demasiado escasos, el láser no notará el cambio en la forma del riel de guía; ¡la distancia medida entre los rayos no cambiará!

La medición de ángulos pequeños permite mediciones muy precisas de pequeñas rotaciones si se cumplen dos condiciones:

1. el ángulo medido está dentro de ± 5 grados;
2. la distancia entre RK1 y el cabezal láser no cambia más de unos pocos centímetros.

La segunda limitación proviene del efecto heterodino presente en el láser HPI-3D. Este efecto influye en el ángulo según (Δl es el cambio de distancia entre el láser y RK1 durante las mediciones):

$$\alpha = \arctan \frac{x + \Delta l * 2.260\mu m}{s} \quad (9.2)$$

El efecto anterior también está presente en las mediciones normales de rectitud, pero el software HPI se encarga de ello.

c. Preparaciones para la configuración de la medición

Para las mediciones de rectitud **angular** se debe utilizar la óptica angular. Los componentes necesarios son:

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Interferómetro angular **IK1**
- Retrorreflector angular **RK1**

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode
- Sensor de temperatura del aire
- Sensor de temperatura base

Las mediciones de rectitud angular requieren que los elementos ópticos IK1 y RK1 estén alineados a lo largo del rayo láser como se muestra en la figura 9.6. Cada uno de los elementos se puede mover.

Durante las mediciones de rectitud angular, se recomienda el uso del sensor de temperatura del aire. No es necesario utilizar sensores de temperatura base.

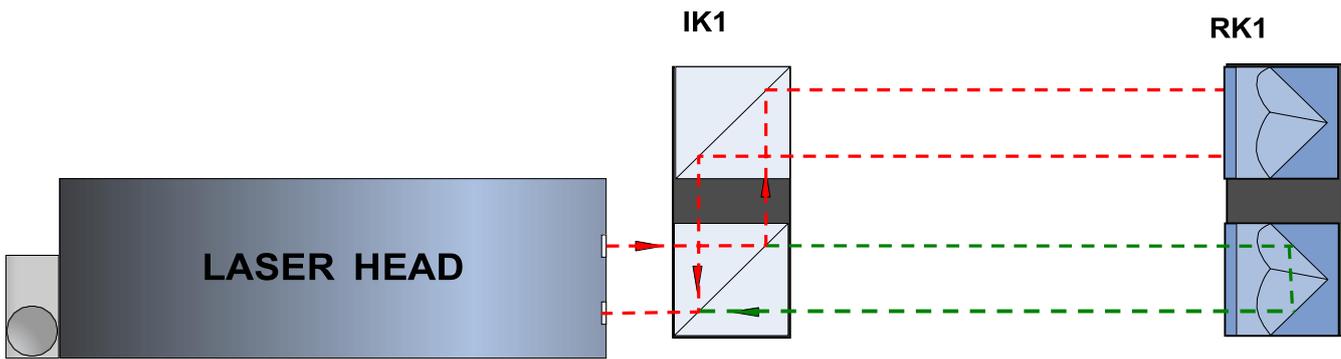


FIG.9.5 CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE RECTITUD DINÁMICA ANGULAR

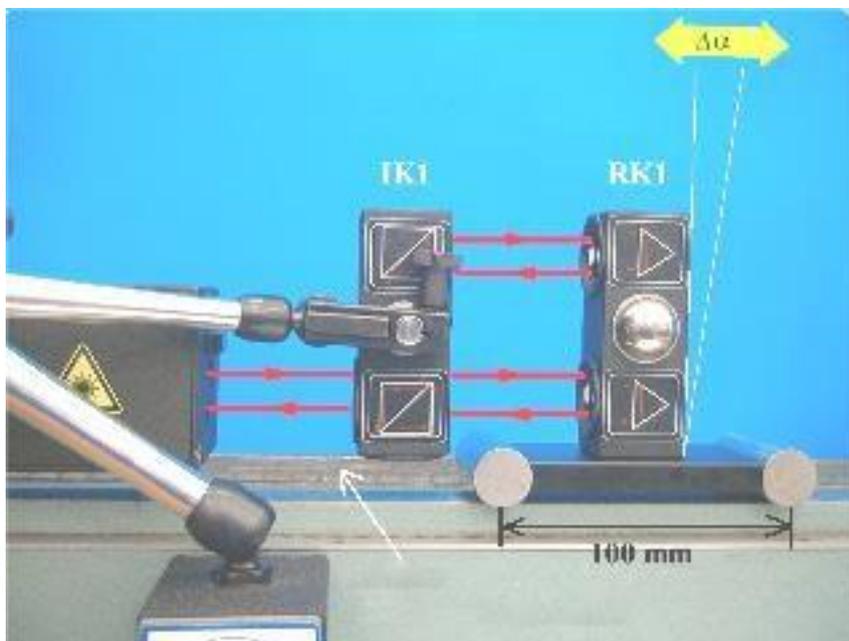


FIG.9.6 CAMINO ÓPTICO CONFIGURADO PARA MEDICIONES DE RECTITUD DINÁMICA ANGULAR EN EJE X

Las mediciones de rectitud angular se pueden realizar no sólo a lo largo del rayo láser (como se muestra en la figura 9.5 y 9.6) sino también en direcciones perpendiculares al rayo láser. Esta configuración se muestra en la figura 9.8. En esta configuración sólo se puede mover el retroreflector RK1.

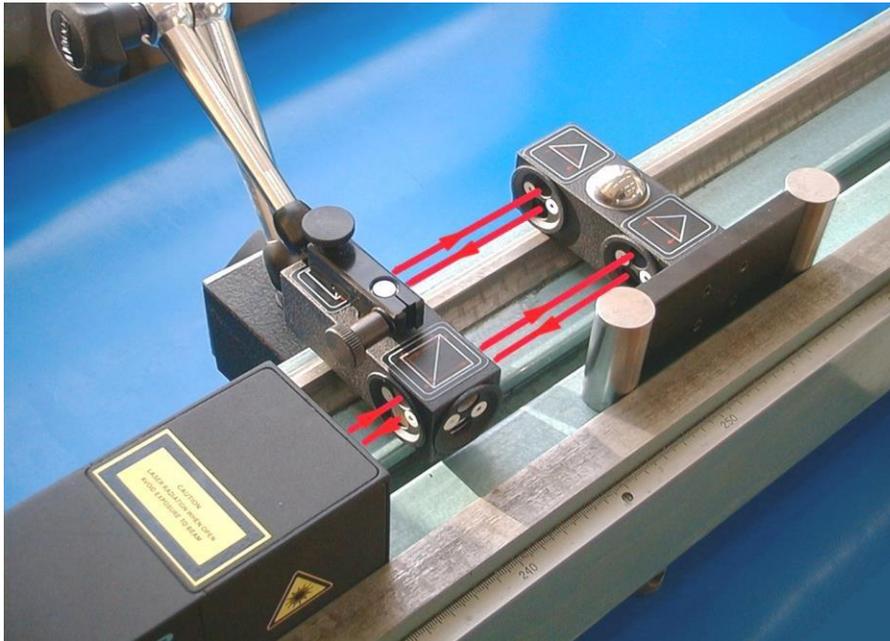


FIG.9.7 CAMINO ÓPTICO CONFIGURADO PARA MEDICIONES DE RECTITUD ANGULAR EN EJE Y.

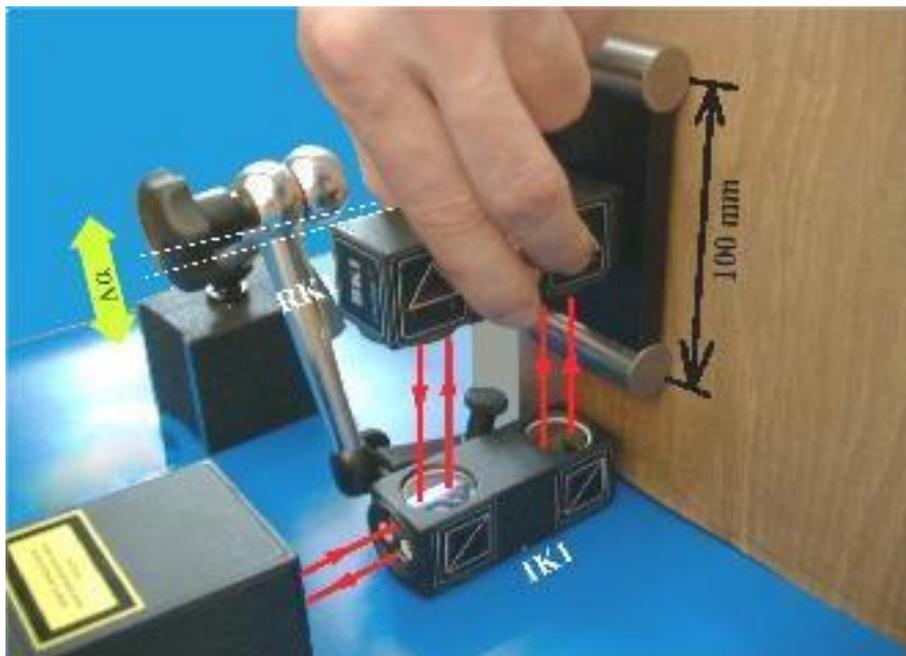


FIG.9.8 CAMINO ÓPTICO CONFIGURADO PARA MEDICIONES DE RECTITUD ANGULAR EN EJE Z.

Durante la alineación del haz, es importante configurar primero la posición de IK1 alineada con la posición del cabezal láser. Luego, los diafragmas de ambos componentes ópticos deben cambiarse a la posición

de alineación. El IK1 y RK1 deben configurarse de tal manera que el haz pase por los centros de los diafragmas.

Tras realizar la configuración, los diafragmas deben colocarse en la posición de trabajo y la alineación final debe realizarse con el uso de la herramienta electrónica de alineación de haz. Para mantener la máxima precisión de la medición, la posición de ambos haces en las herramientas de alineación debe permanecer dentro de la ventana de $200\mu\text{m}$ para todo el rango de movimiento lineal.

9.3 Configuración de medición – Óptica de Wollaston

a. Principios

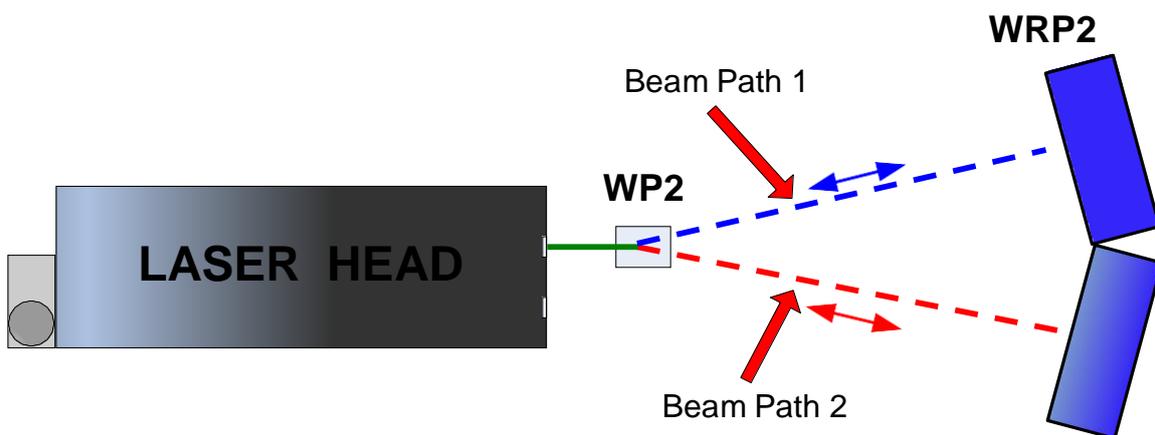


FIG.9.9 ÓPTICA PRISMA DE WOLLASTON - PRINCIPIOS

Otra forma de medir la rectitud, el paralelismo y la perpendicularidad con el interferómetro láser requiere el uso de ópticas de tipo Wollaston. La óptica consta de dos elementos: el prisma polarizador Wollaston **WP2** y un reflector emparejado **WRP2**; Figura 9.10. El rayo láser, que consta de dos polarizaciones perpendiculares, es dividido por el elemento WP2 en dos rayos. Los rayos salen del WP2 en un cierto ángulo y luego, después de ser

reflejados por el reflector WRP2, regresan al cabezal láser. El láser mide la diferencia entre las longitudes de las trayectorias de los haces.

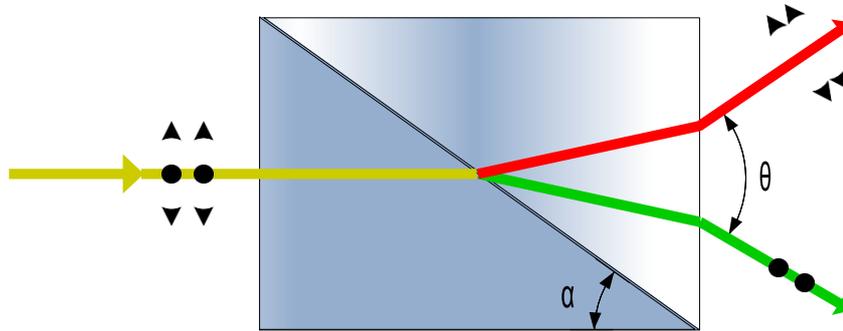


FIG.9.10 POLARIZADOR PRISMA DE WOLLASTON WP2

En la Figura 9.11 se muestra la explicación del funcionamiento del elemento WP2. Este prisma está construido con dos prismas triangulares birrefringentes cementados. Ambos prismas están contruidos con el mismo material, pero sus ejes ordinario y extraordinario son perpendiculares entre sí, es decir, el coeficiente de refracción del eje ordinario del prisma izquierdo n_{ol} es igual al valor del coeficiente del eje extraordinario del prisma derecho n_{er} .

Debido a esto, los rayos láser polarizados ortogonalmente que entran en el elemento Wollaston se desvían en diferentes ángulos en la capa límite media y en la capa límite derecha. Este comportamiento se puede probar fácilmente con el uso de la ley de Snell. El ángulo entre los haces que salen se denota a menudo como Θ .

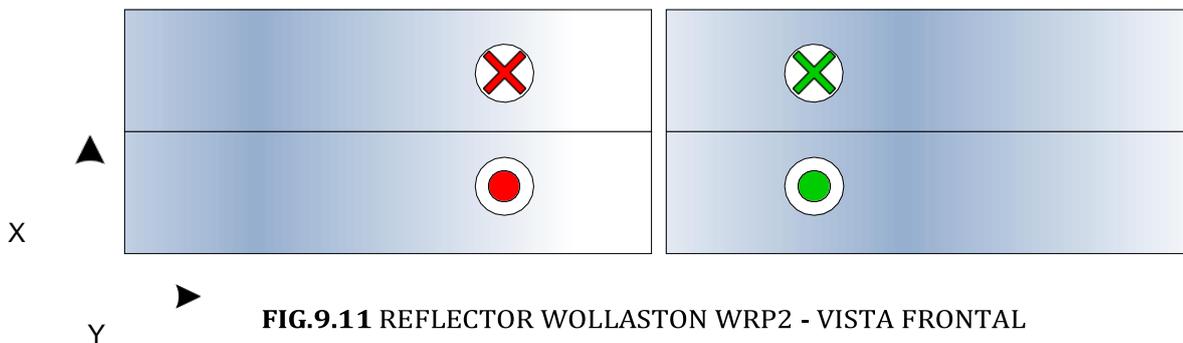


FIG.9.11 REFLECTOR WOLLASTON WRP2 - VISTA FRONTAL

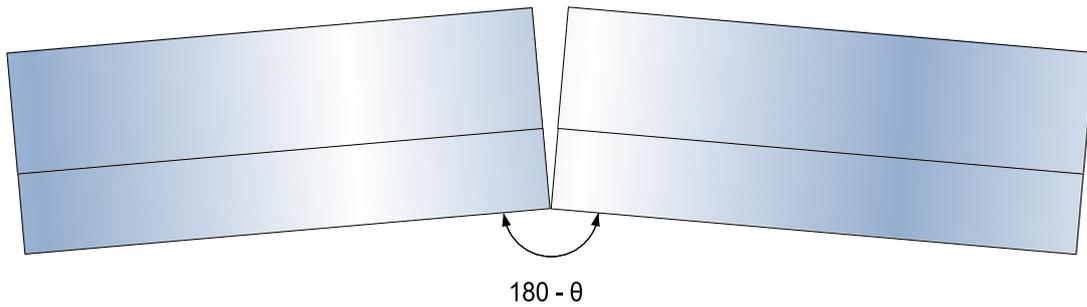


FIG.9.12 REFLECTOR WOLLASTON WRP2 - VISTA SUPERIOR

A diferencia de la óptica angular (ver la parte anterior de este capítulo), la distancia entre los haces cambia conforme se desplaza WP2, lo que dificulta la construcción del elemento reflectante. En la figura 9.12 se muestra la construcción del elemento de reflexión para la óptica Wollaston WRP2. Consiste en dos prismas de vidrio especiales pegados con mucha precisión en un ángulo de $180-\theta$. Los prismas utilizados en el WRP2 en el eje Y reflejan el haz con traslación de $\frac{1}{2}$ "(como el retroreflector RL1). En el eje X, el rayo se refleja sin traslación (como en un espejo).

El uso de la óptica de Wollaston hace posible la medición del movimiento relativo del elemento WP2 en el eje perpendicular al rayo láser. Como se muestra en la Figura 9.13, las mediciones son posibles SÓLO con el movimiento WP2.

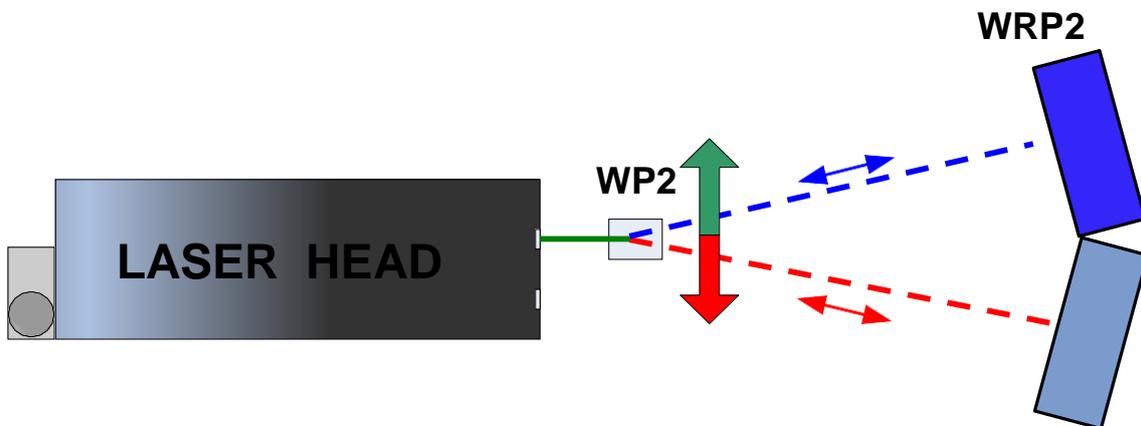


FIG.9.13 MEDICIONES CON ÓPTICAS DE WOLLASTON

Debido a la sensibilidad de la lectura del láser en el movimiento angular del WRP2, es importante que durante las mediciones el elemento WRP2 no se toque ni se mueva. Más detalles se describen en la siguiente sección.

b. Notas de aplicación

Aunque es posible medir la rectitud con el movimiento del elemento WP2 o WRP2, existen ciertas diferencias. El WRP2 debe estar estacionario durante la medición (es decir, no debe moverse a lo largo del rayo láser). Como el WRP2 se comporta en uno de los ejes como un espejo, cualquier movimiento angular del WRP2 en este eje puede provocar que el rayo láser no regrese al cabezal láser e influirá significativamente en los resultados de la medición.

¡El cabezal láser con óptica Wollaston es **sensible** a los movimientos angulares del reflector!

No hay tales problemas cuando se mueve el WP2. La única desventaja es el rango de medición más pequeño. WP2 se puede mover ± 2 mm mientras que el rango de medición máximo del WRP2 es ± 30 mm (pero sólo cuando la distancia entre WP2 y WRP2 es de 4,5 m).

c. Preparaciones para la configuración de la medición

Para las mediciones de rectitud de **Wollaston**, se debe utilizar la óptica de Wollaston. Los componentes necesarios son:

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Prisma de Wollaston **WP2**
- Retrorreflector Wollaston **WRP2**

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode
- Sensor de temperatura del aire
- Sensor de temperatura base

Las mediciones de rectitud de Wollaston requieren que los elementos ópticos WP2 y WRP2 estén alineados a lo largo del rayo láser como se muestra en la figura 9.14. El procedimiento de alineación del haz se describe en el capítulo 4. Durante la medición, el elemento WRP2 debe estar fijo, es decir, su distancia desde el cabezal láser no debe cambiar.

Durante las mediciones de rectitud de Wollaston, se recomienda el uso del sensor de temperatura del aire. No es necesario utilizar sensores de temperatura base.

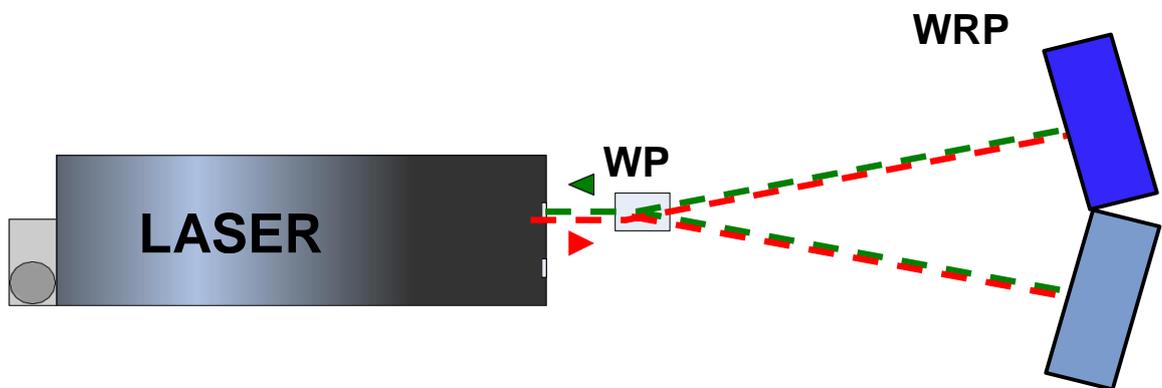


FIG.9.14 CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE RECTITUD DE WOLLASTON

Las mediciones de rectitud de Wollaston se pueden realizar en dos configuraciones: X horizontal (figura 9.15) y Z vertical (figura 9.16). En la configuración X sólo se mide la rectitud de la trayectoria en el eje X. La misma situación ocurre con la configuración Z. En ambas configuraciones las mediciones deben realizarse con el movimiento del elemento WP2.

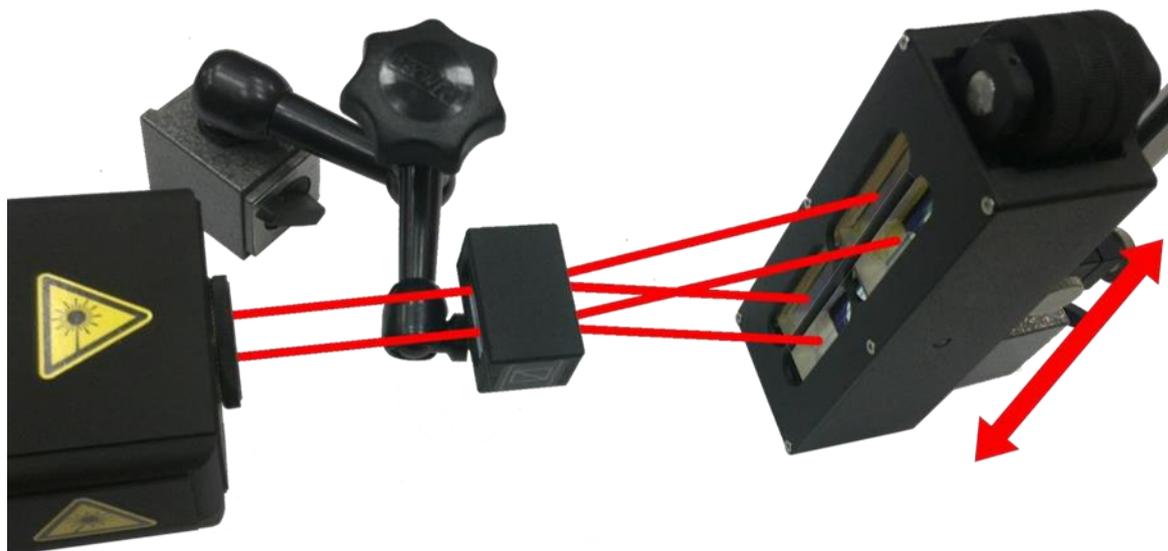


FIG.9.15 CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE RECTITUD DINÁMICA WOLLASTON EN EJE X.



FIG.7.16 CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE RECTITUD DINÁMICA WOLLASTON EN EJE Z.

9.4 Configuración de medición – Método 3D

a. Principios

El cabezal láser HPI-3D es capaz de detectar la posición del rayo de retorno. La posición del rayo de retorno cambia con el movimiento del retrorreflector RL1 perpendicular al eje del rayo láser. Este fenómeno para un eje se muestra en la Figura 9.17. El haz que regresa del interferómetro lineal IL1 se trata como referencia, mientras que el haz reflejado por RL1 como haz de medición. El láser registra simultáneamente información sobre los cambios de posición de un componente óptico en ambos ejes perpendiculares al rayo láser.

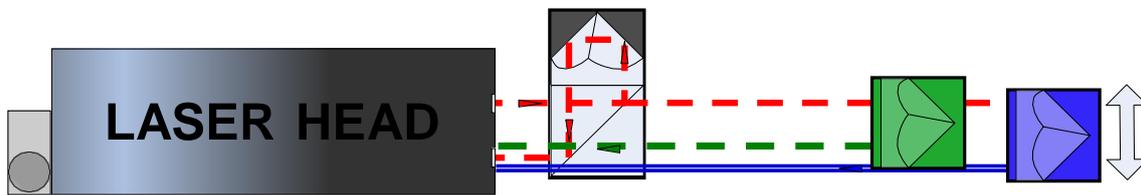


FIG.9.17 MEDIDAS DE RECTITUD DINÁMICA CON ÓPTICA LINEAL

La posición medida se utiliza para un control preciso de la alineación de la trayectoria del rayo láser o para las mediciones de rectitud, perpendicularidad o paralelismo.

La medición 3D devuelve valores absolutos de la posición del haz. Esto es diferente del eje principal de medición interferométrica donde los resultados obtenidos son incrementales.

b. Notas de aplicación

La opción 3D se puede utilizar para una estimación rápida de la rectitud simultáneamente en dos ejes, pero con algunas limitaciones derivadas de la naturaleza física de las mediciones.

A diferencia de todas las mediciones interferométricas, el cabezal láser participa activamente en las mediciones, es decir, su posición y sus vibraciones

influyen en los resultados de la medición. Por este motivo, es **importante** evitar el uso del trípode y fijar el cabezal láser directamente en la máquina medida.

La medición 3D se basa en la posición del rayo de retorno en el dispositivo sensible a la posición. Por lo tanto, es **importante** que el haz permanezca dentro del rango de medición del dispositivo, es decir, ± 1 mm. El uso de la opción 3D fuera de este rango produciría resultados poco fiables.

De manera similar, en todas las mediciones de rectitud basadas en láser, las turbulencias de aire influyen en los resultados. El circuito de procesamiento de señales dentro del láser puede adaptarse a una pequeña desviación del rayo con el cambio del tiempo promedio (consulte la *Descripción del software* para obtener más detalles). Si los movimientos del aire son demasiado grandes, es decir, cuando el rayo que regresa al láser se desplaza fuera de la ventana de ± 1 mm, los resultados de las mediciones 3D pueden volverse poco fiables. En tal situación, se debe utilizar alguna protección contra el movimiento del aire o un ventilador que fuerce su movimiento. El problema con las turbulencias de aire es más problemático para distancias más grandes entre el cabezal láser y el elemento RL1.

c. Preparaciones para la configuración de la medición

Para las mediciones de rectitud 3D se debe utilizar óptica lineal.

Los componentes necesarios son (véanse también las figuras 9.18 a 9.21):

- Cabezal láser: *interferómetro láser*
- Fuente de alimentación: *fuentes de alimentación del interferómetro láser*
- Interferómetro lineal **IL1**
- Retrorreflector lineal **RL1**

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM1**
- Trípode (no recomendado)
- Sensor de temperatura del aire
- Sensor de temperatura base

Las mediciones de rectitud 3D requieren que los elementos ópticos IL1 y RL1 estén alineados a lo largo del rayo láser como se muestra en la figura 9.18. Sólo se debe mover el retroreflector RL1.

Durante las mediciones de rectitud 3D, se recomienda el uso del sensor de temperatura del aire. No es necesario utilizar sensores de temperatura base.

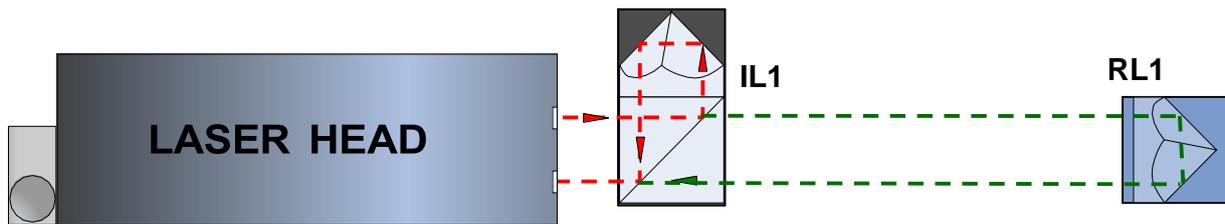


FIG.9.18 CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE RECTITUD 3D

Las mediciones de rectitud 3D se pueden realizar no sólo a lo largo del rayo láser (como se muestra en las figuras 9.18 y 9.19) sino también en direcciones perpendiculares al rayo. Estas configuraciones se muestran en las figuras 9.20 y 9.21. También en esas dos configuraciones sólo se puede mover el retroreflector RL1.

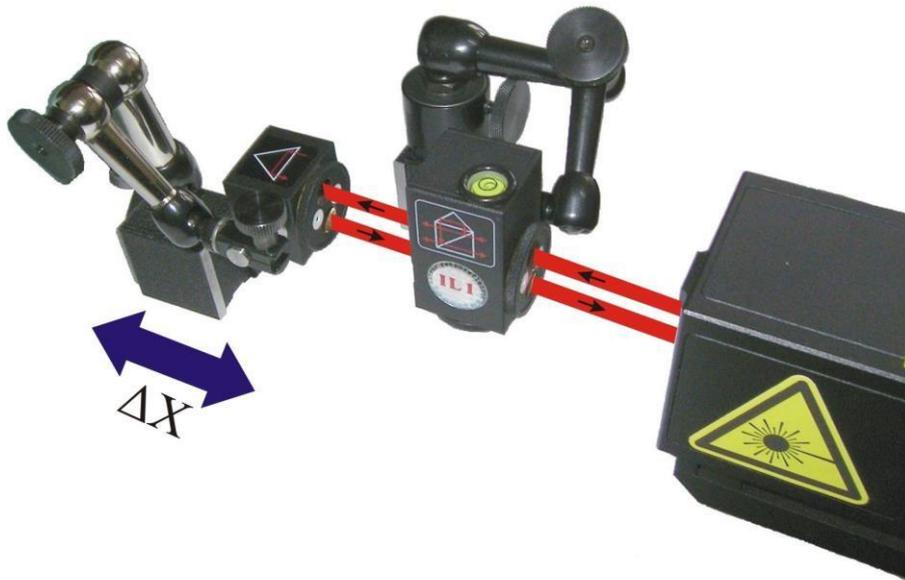


FIG.9.19. CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE RECTITUD DINÁMICA 3D EN EJE X.

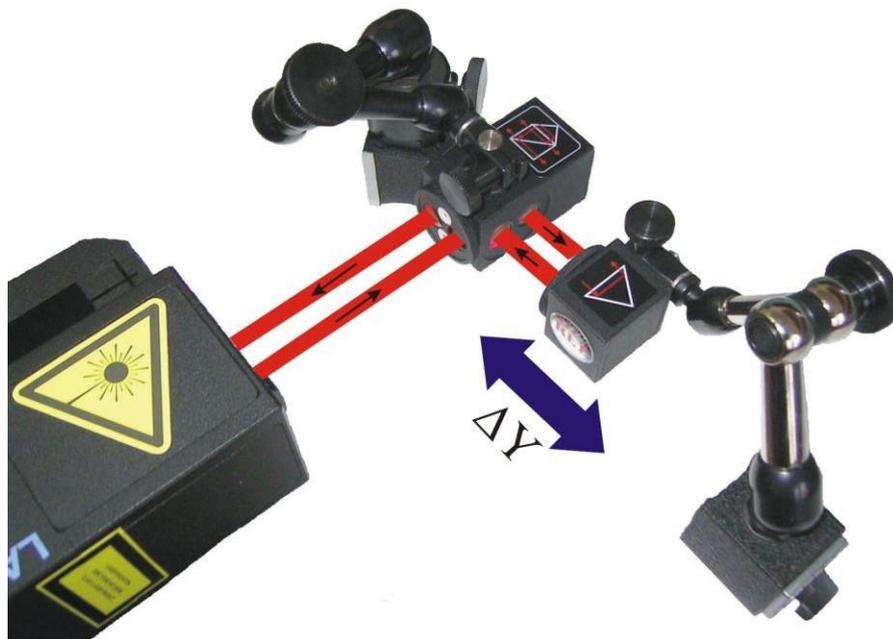


FIG 9.20. CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE RECTITUD DINÁMICA 3D EN EJE Y

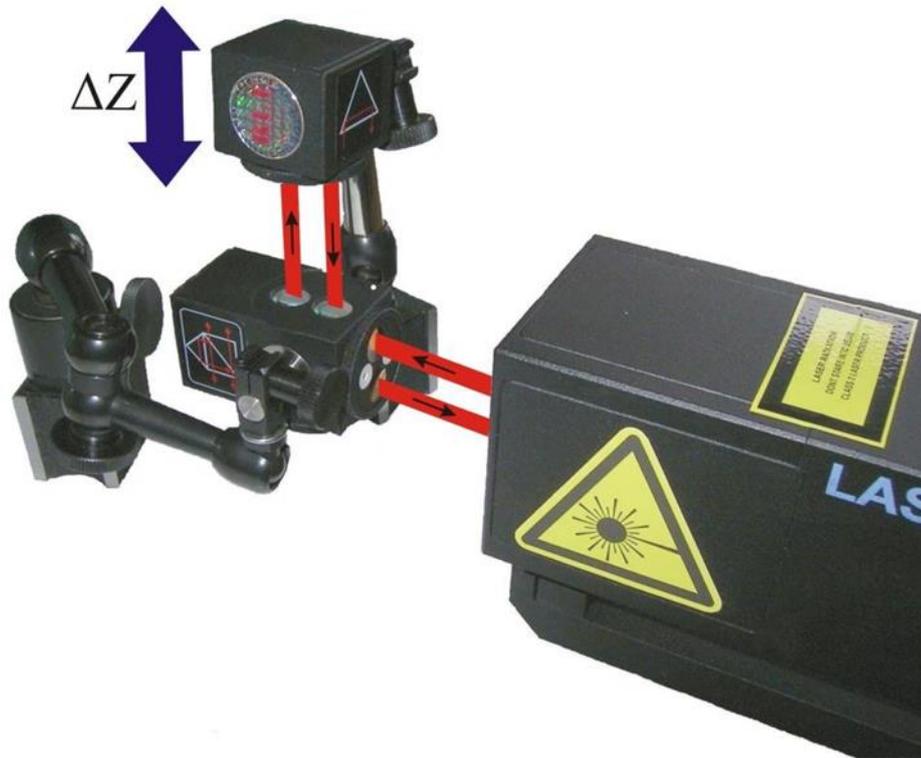


FIG.9.21. CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE RECTITUD DINÁMICA 3D EN EJE Y

9.5 Descripción del Software

a. Introducción

La medición de la rectitud se realiza en la opción **Dynamic Straightness**, elegida en el Menú principal (fig. 9.22).

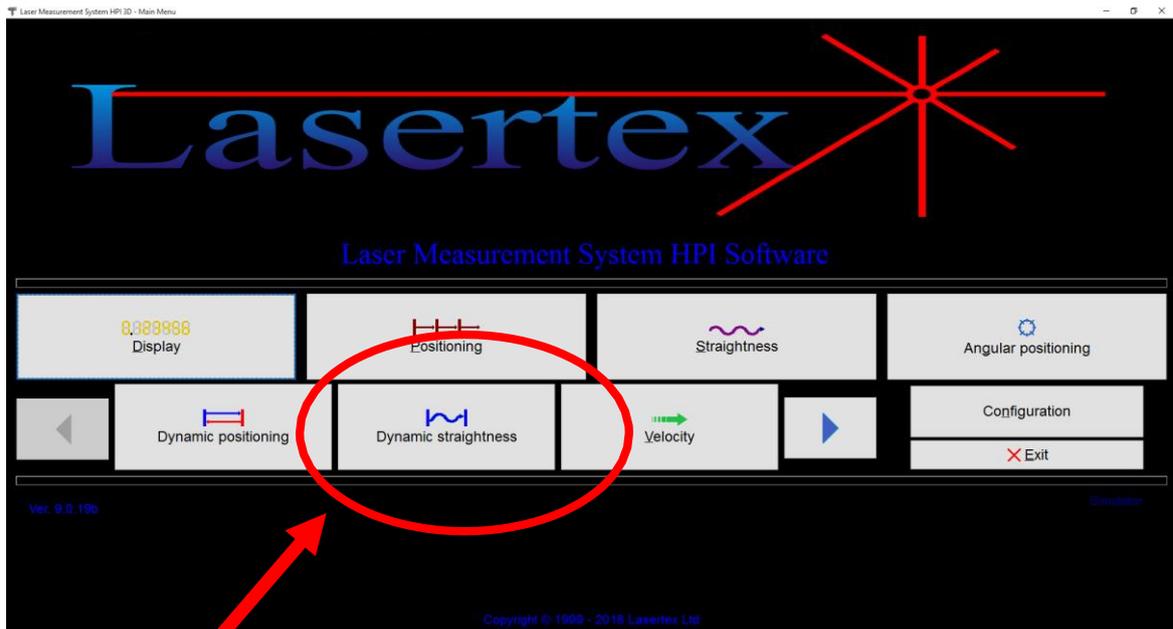


FIG.9.22 MENÚ PRINCIPAL

La ventana del programa para la medición de la rectitud en el Software HPI se muestra en la Fig. 9.23. La ventana consta de un menú desplegable y cinco paneles:

- 1) Pantalla: presenta la distancia actual y el nivel de la señal de medición;
- 2) Gráfica de rectitud - en el modo 3D hay gráficas visibles para el eje vertical y horizontal, en los modos Angular y Wollaston sólo una gráfica es visible;
- 3) Panel para cambiar el modo de operación;
- 4) Tabla de valores de rectitud: una tabla que contiene muestras numeradas consecutivamente y el valor de rectitud medido (o dos valores en modo 3D);
- 5) Panel con botones de control e información de estado.

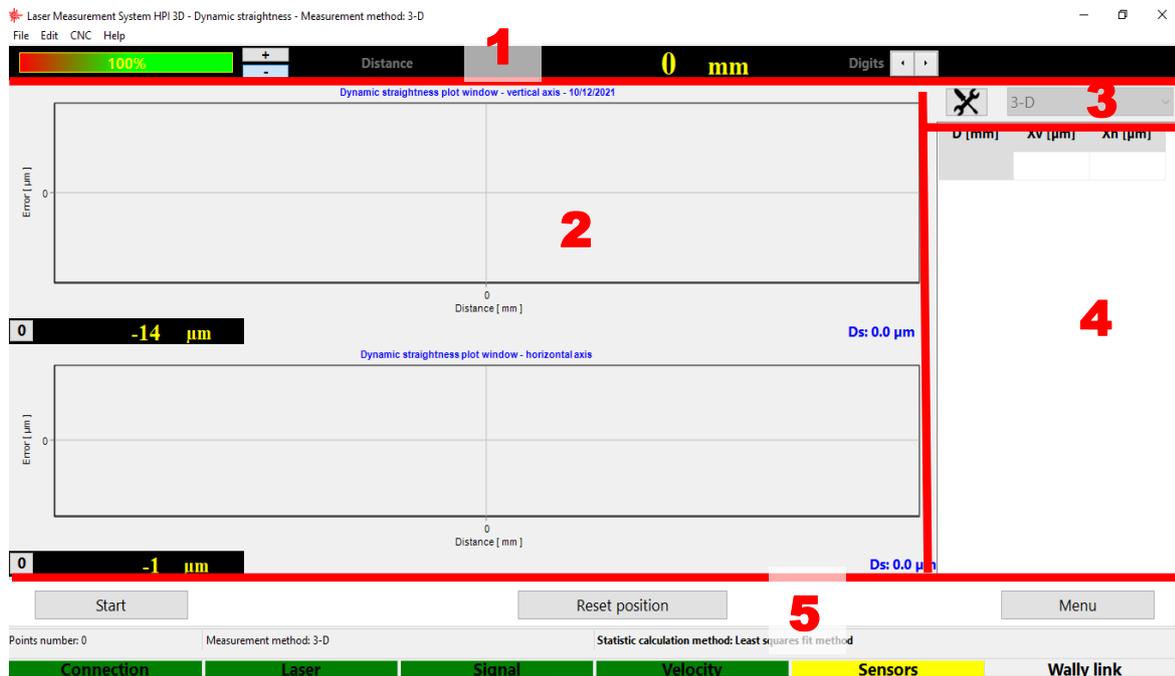


FIG.9.23. VENTANA DE MEDICIÓN DE RECTITUD DINÁMICA CON PANELES.

b. Panel de visualización

El panel de visualización (figura 9.24) se utiliza para el control básico del funcionamiento de la parte interferométrica del láser. A través de este panel es posible monitorear la calidad de la señal de entrada, es decir, la intensidad del haz y el valor actual medido por el láser. Dependiendo del tipo de medición elegido, los valores se muestran en diferentes unidades (figuras 7.24A, B y C): para los tipos de medición *angular* y de *Pitch/Yaw* son arcosegundos, para *Wollaston* son micrómetros y para *3D* son milímetros. Para la opción 3D, el valor que se muestra en el panel es sólo uno auxiliar; las lecturas de rectitud se muestran en el panel Trazado de rectitud que se describe a continuación.

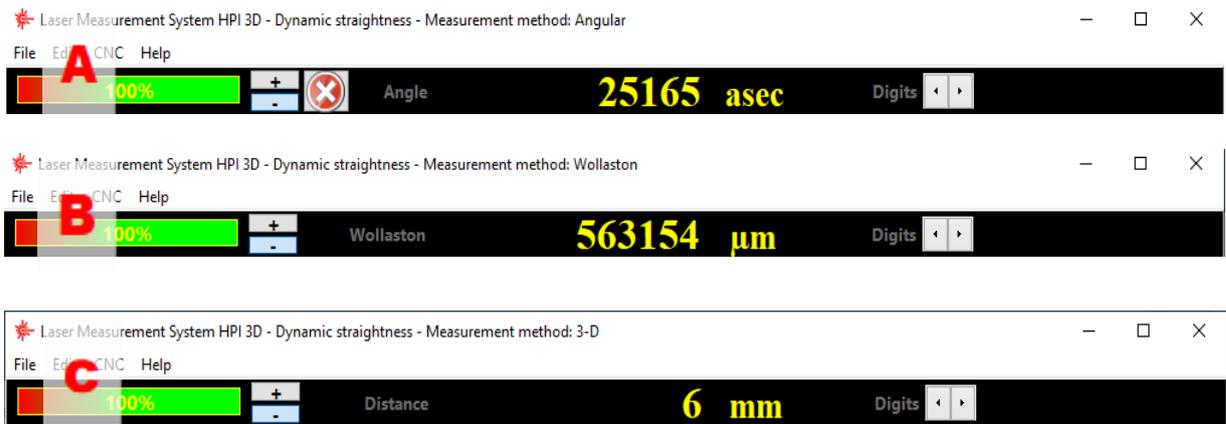


FIG.9.24 PANEL DE VISUALIZACIÓN DURANTE (A) ANGULAR, (B) WOLLASTON, (C) MEDICIONES 3D

A través de los botones disponibles en el panel de visualización, es posible cambiar el signo o la resolución mostrada del resultado de la medición actual. La configuración del signo influye en los valores registrados en el gráfico de rectitud dinámica y la tabla de valores. Cambiar el número de dígitos no influye en la medición.

c. Panel de representación gráfica

El panel Trazado de rectitud es el espacio donde se muestran los resultados de la medición. Los resultados de la medición se colocan en la gráfica tan pronto son registrados por el cabezal láser. Puede haber uno o dos gráficos mostrados dependiendo del tipo de medición. Para las mediciones angulares y de tipo Wollaston, sólo hay un gráfico (fig. 9.25) porque con esta óptica es posible medir la rectitud sólo en un eje a la vez.

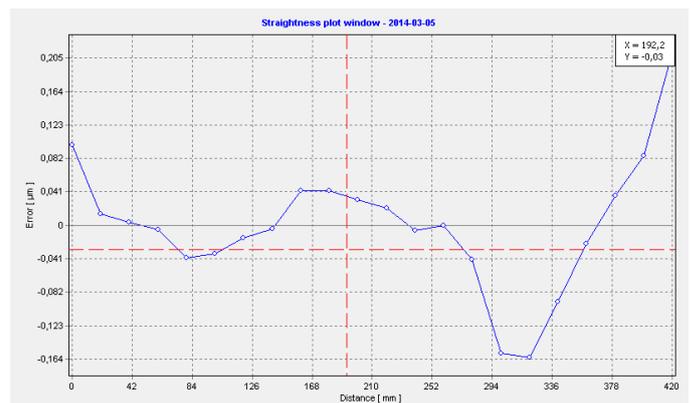


FIG.9.25 PANEL DE GRÁFICO DE RECTITUD DINÁMICA EN LAS OPCIONES ANGULAR Y WOLLASTON

El gráfico de rectitud dinámica durante la medición 3D se ve de manera diferente (figura 9.26) porque simultáneamente se miden: la

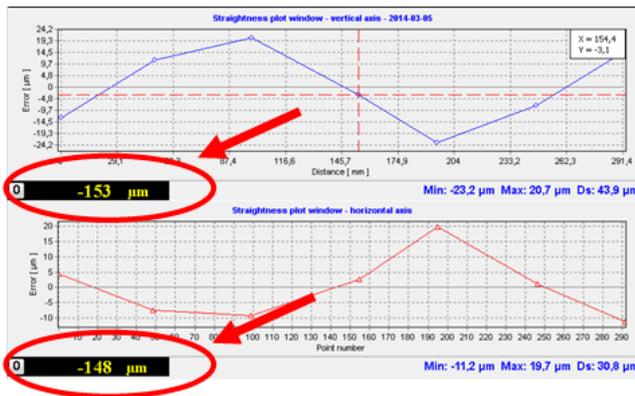


FIG.9.26 PANEL DE GRÁFICO DE RECTITUD DINÁMICA EN LA OPCIÓN 3D

distancia entre RL1 e IL1 (que se muestra en el panel de visualización) y la posición del RL1 en los ejes perpendiculares al rayo láser (denotado como eje horizontal y eje vertical).

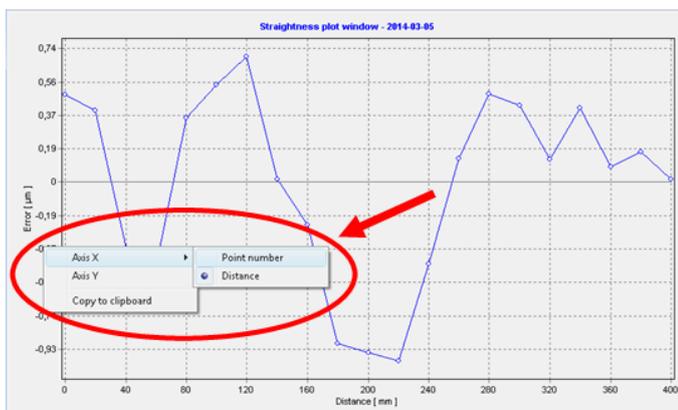


FIG.9.27 MENÚ EMERGENTE EN EL PANEL DE GRÁFICO DE RECTITUD

Ambos valores de rectitud se pueden restablecer presionando el botón 0 en las pantallas pequeñas. Debe recordarse que este restablecimiento es válido sólo para la medición actual: los valores de rectitud 3D son absolutos y no incrementales como en el canal interferométrico.

En la esquina inferior derecha del panel se muestran los valores límites de la rectitud, es decir, el valor mínimo *Min*, el valor máximo *Max*, la amplitud de la rectitud $D_s = Max - Min$. En el caso de las mediciones 3D, esos valores se muestran para cada eje.

Las unidades en el eje vertical del gráfico de rectitud dependen de la configuración real establecida en la opción *Configuration->General*. Para las mediciones de rectitud, estos suelen ser micrómetros, mientras que para las mediciones de Pitch/Yaw son arcosegundos. El rango mostrado se configura automáticamente, pero también se puede configurar manualmente. En el eje horizontal se puede mostrar la distancia o los

números de los puntos de medición.

Después de hacer clic con el botón derecho del ratón en el eje del gráfico, aparecerá el menú emergente como se muestra en la Figura 9.27. Las opciones



FIG.9.28 GRÁFICO DE ZOOM

de este menú se utilizan para modificar la visualización de los ejes horizontal y vertical del gráfico. El gráfico también se puede copiar al portapapeles (opción "**Copy to clipboard**") para pegarlo en un software de edición de documentos (como Microsoft Word u OpenOffice Write).

El gráfico mostrado se puede acercar y alejar con el uso del ratón. Para acercar, es necesario marcar la esquina superior izquierda del área deseada presionando el botón izquierdo del ratón. El botón debe mantenerse presionado y el puntero del ratón debe moverse a la esquina inferior derecha del área deseada. Deben aparecer las líneas discontinuas rojas auxiliares como se muestra en la Figura 9.28. El alejamiento se realiza moviendo el botón izquierdo del ratón presionado desde la esquina inferior derecha a la esquina superior izquierda.

La vista ampliada del gráfico se puede cambiar presionando el botón derecho del ratón en el gráfico (¡y no en los ejes, ya que aparecería el menú emergente!) Y moviendo el puntero del ratón en la dirección deseada.

d. Panel de operación

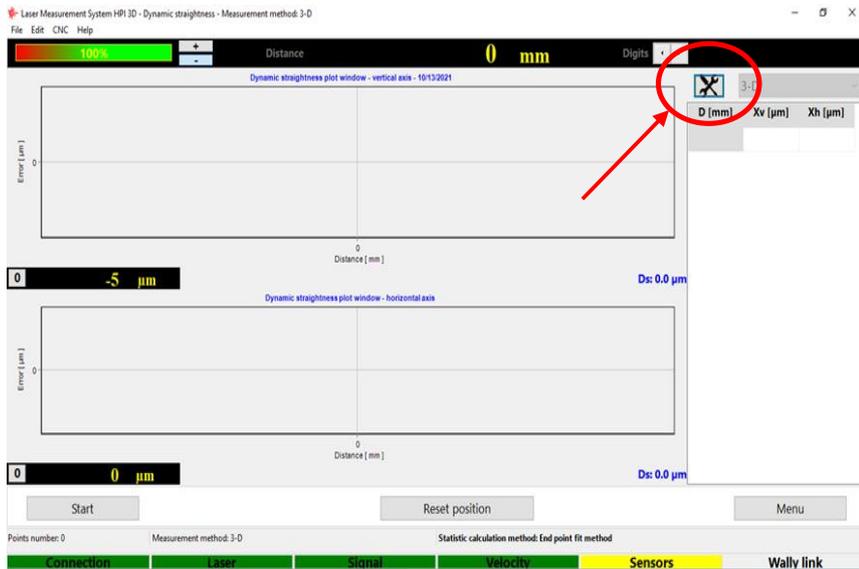


FIG.9.29 PANEL DE MODO DE FUNCIONAMIENTO

En la esquina superior derecha, se coloca un botón para cambiar el modo de medición (Fig. 9.29). Hay cuatro opciones disponibles: Angular, Wollaston, 3D y Pitch / Yaw. El último modo se describe en otro capítulo de este documento.

e. Panel de resultados de rectitud dinámica

En el Panel de valores se muestran valores numéricos de las medidas de rectitud (Figura 9.30). Estos son los mismos valores que se muestran en la (s) tabla (s).

La unidad de la distancia D se puede cambiar, independientemente de la unidad del gráfico, haciendo clic con el botón izquierdo del ratón en la columna de distancia del gráfico. Hay tres posibilidades (ver Figura 9.31): valores redondeados de la distancia (A), valor real de la distancia (B) y número de puntos (C).



FIG.9.30 PANEL DE VALORES

D [mm]	Xv [µm]	Xh [µm]	D [mm]	Xv [µm]	Xh [µm]	No.	Xv [µm]	Xh [µm]
-190	-25,2	62,0	-189,6714	-25,2	62,0	0	-25,2	62,0
A	-20,0	48,4	B	-20,0	48,4	C	-20,0	48,4
-170	-11,6	32,1	-170,1226	-11,6	32,1	2	-11,6	32,1
-159	-9,9	19,5	-159,4504	-9,9	19,5	3	-9,9	19,5
-151	-6,1	11,3	-151,4330	-6,1	11,3	4	-6,1	11,3
-140	-5,4	1,6	-139,9930	-5,4	1,6	5	-5,4	1,6
-130	1,6	-15,4	-129,9343	1,6	-15,4	6	1,6	-15,4
-120	7,5	-22,5	-120,2265	7,5	-22,5	7	7,5	-22,5
-110	14,1	-33,0	-109,9312	14,1	-33,0	8	14,1	-33,0
-100	17,5	-45,1	-99,8334	17,5	-45,1	9	17,5	-45,1
-90	25,8	-53,1	-89,9977	25,8	-53,1	10	25,8	-53,1
-80	28,7	-58,1	-79,9685	28,7	-58,1	11	28,7	-58,1
-70	32,3	-66,4	-69,9203	32,3	-66,4	12	32,3	-66,4
-60	36,3	-70,9	-59,9563	36,3	-70,9	13	36,3	-70,9
-50	39,3	-77,5	-50,0096	39,3	-77,5	14	39,3	-77,5
-40	6,4	-11,5	-39,9974	6,4	-11,5	15	6,4	-11,5
-30	-18,1	41,3	-29,9376	-18,1	41,3	16	-18,1	41,3

FIG.9.31 PANEL DE VALORES - DIFERENTES MODOS. ACLARACIONES EN TEXTO

f. Panel de control de rectitud

El panel de control de rectitud consta de tres partes principales (Figura 9.23):

- Línea con botones de control
- Línea con información de estado de medición
- Línea con información de estado del láser.

La última línea muestra información común a todas las opciones del software HPI, es decir, el estado de conexión, láser, señal, sensores y codificador rotatorio.

La línea de estado de la medición muestra la información de la medición actual, como el número de puntos de medición registrados, el tipo de medición y el método estadístico utilizado para el ajuste de datos.

La funcionalidad de la línea con los botones cambia con el estado de medición actual. En la Figura 9.32 se muestran varias apariencias de la parte de control del Panel de Control.

El caso A aparece cuando no hay ninguna medición en curso y no se

leyeron datos de un archivo. En este modo es posible iniciar la medición ("Start"), reiniciar el contador principal ("Reset position") o volver al menú principal del programa ("Menu").



FIG.9.32 PANEL DE CONTROL - DIFERENTES MODOS. ACLARACIONES EN TEXTO

Los casos B son visibles durante el análisis de los resultados obtenidos. Desde este panel es posible ver el informe de medición ("Preview" o "Print") o rehacer las mediciones ("Repeat" o "New"). En el caso D (serie única), la funcionalidad de "Repeat" y "New" es la misma. Es posible repetir sólo una serie ("Repeat") o comenzar mediciones completamente nuevas ("New").

g. Menús desplegables

El gráfico visualizado se puede imprimir o guardar en un archivo. Estos comandos están disponibles en el menú **File** (es decir, Guardar, Guardar como, Imprimir; figura 9.33).

Antes de guardar el archivo, el programa pregunta sobre el cambio de los

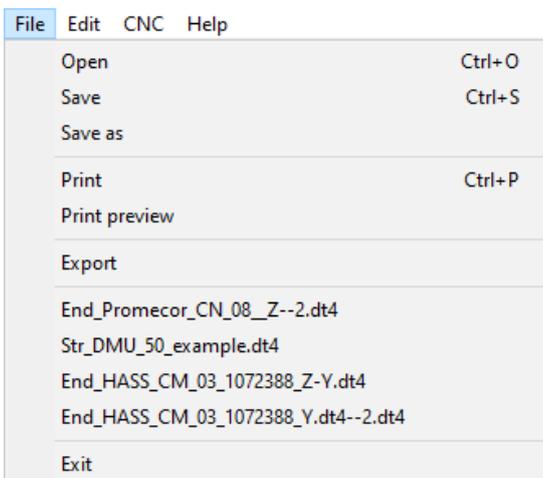


FIG.9.33. MENÚ DESPLEGABLE DE RECTITUD *FILE*.

datos de la máquina (opción disponible en el menú desplegable *Edit>Machine data*), como el tipo de máquina, el número de serie de la máquina, el eje medido o el operador de la máquina. Estos valores permiten describir la medición realizada para su posterior análisis y también están presentes en el informe impreso



Otras opciones disponibles en el menú *Edit* son:

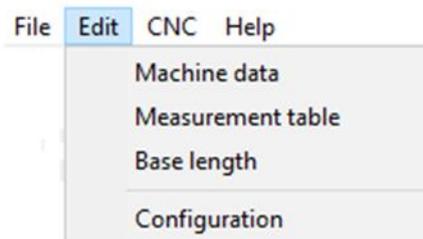


FIG.9.34. MENÚ DESPLEGABLE DE RECTITUD *EDIT*

- **Measurement table** – Los datos brutos se muestran para su análisis, exportación e impresión.;
- **Base length** – se puede ajustar la longitud de la base del retroreflector angular RK1 (el valor predeterminado es 100 mm); opción disponible también en *Configuration->Parameters*;
- **Configuration** – abre la ventana de Configuración como se muestra en la figura 9.35.

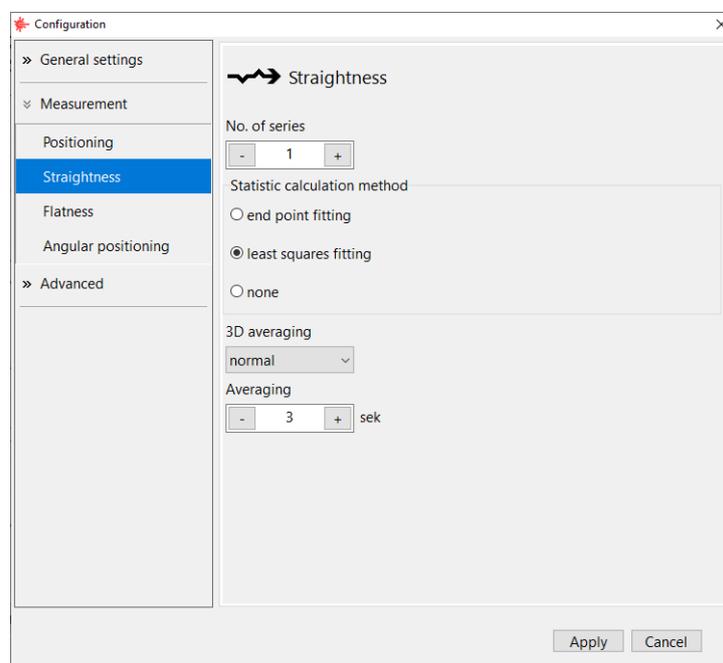


FIG. 9.35. OPCIONES DE CONFIGURACIÓN DE RECTITUD.

En la **Configuración** es posible configurar:

1. Carpeta de archivos de datos de rectitud– lugar al que apuntará el sistema operativo durante el guardado de datos de medición;
2. Measurement method – la misma funcionalidad con el panel de modo operativo;
3. Statistic calculation method – Los datos medidos se pueden ver como datos sin procesar o ajustados en línea. Para los datos brutos, se debe elegir la opción *None*. El ajuste de línea se puede realizar según el método de ajuste del punto final *End point fit* o el método de ajuste por mínimos cuadrados *Least square fit*. El método que se utilice depende de las preferencias personales;
4. Cycles in series – define cuántas series de medidas debe esperar el software. Es posible realizar menos ciclos de los establecidos en este parámetro;
5. 3D averaging time – como la medición de rectitud 3D es una medición de tipo amplitud, por lo tanto, dependiendo de la condición de medición, el dispositivo requiere cierto tiempo para promediar los resultados. Cuanto mayor sea la distancia entre el cabezal del láser y el elemento reflectante RL1 y cuanto mayor sea el flujo de aire tangible, mayor será el valor del tiempo promedio debe establecerse en *Averaging time*;
6. Point detection parameters – parámetros no utilizados en la versión actual del software. Aplicable sólo en la versión personalizada del software HPI.

h. Informes

El informe de medición también se puede generar a partir de los datos

obtenidos, ya sea presionando *Print* o *Preview* en la ventana de análisis de medición (fig. 9.36). El informe se puede generar en la forma básica donde sólo se muestra el gráfico de los valores medidos (fig. 9.37) o en la versión extendida, que contiene tablas con datos medidos.

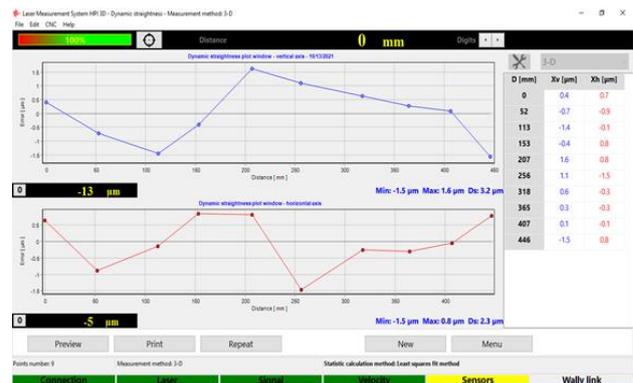


FIG.9.36. VENTANA DE ANÁLISIS DE DATOS MEDIDOS DE RECTITUD DINÁMICA

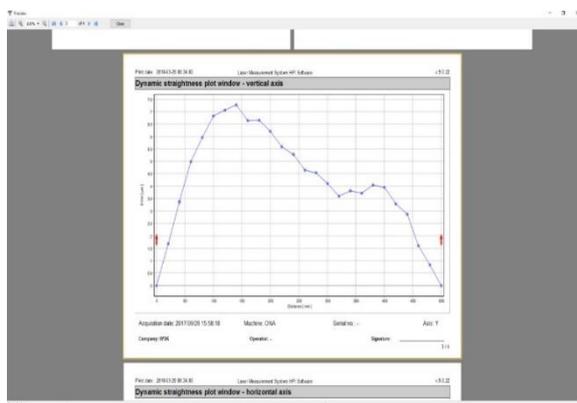


FIG.9.37. VENTANA DE VISTA PREVIA DEL INFORME DE RECTITUD DINÁMICA

Es posible copiar el gráfico de rectitud en el portapapeles y luego pegarlo, por ejemplo, en un documento del editor de Word. El comando **Copy to clipboard** está disponible en el menú emergente que aparece después de hacer clic con el botón derecho en el área del gráfico.

9.6 Procedimiento de medición de rectitud dinámica

Las mediciones dinámicas de rectitud se inician presionando el botón **Start**. Durante la medición, el software recopila los puntos y el gráfico de rectitud se actualiza constantemente. La medición finaliza presionando el botón **Stop** o cuando el número de puntos registrados alcanza el límite establecido.

Las medidas de rectitud se llevan a cabo a lo largo de una línea recta apuntada por la luz láser. El procedimiento de medición real depende ligeramente del modo de medición: angular, Wollaston o 3D.

a. Procedimiento de medición – Óptica angular - preparaciones

La medición de la rectitud dinámica en el modo angular se basa en el retroreflector angular móvil RK1 con una velocidad de avance constante. Es **muy importante** establecer antes de las mediciones con la óptica angular la distancia entre los puntos de medición, la máquina federada, la posición de Inicio y Fin y las configuraciones ópticas reales, es decir, si se mueve RK1 o IK1 y en qué dirección. Esto se puede hacer en la ventana emergente especial (Figura 9.38). Esta ventana aparece siempre antes de presionar el botón **Start**.

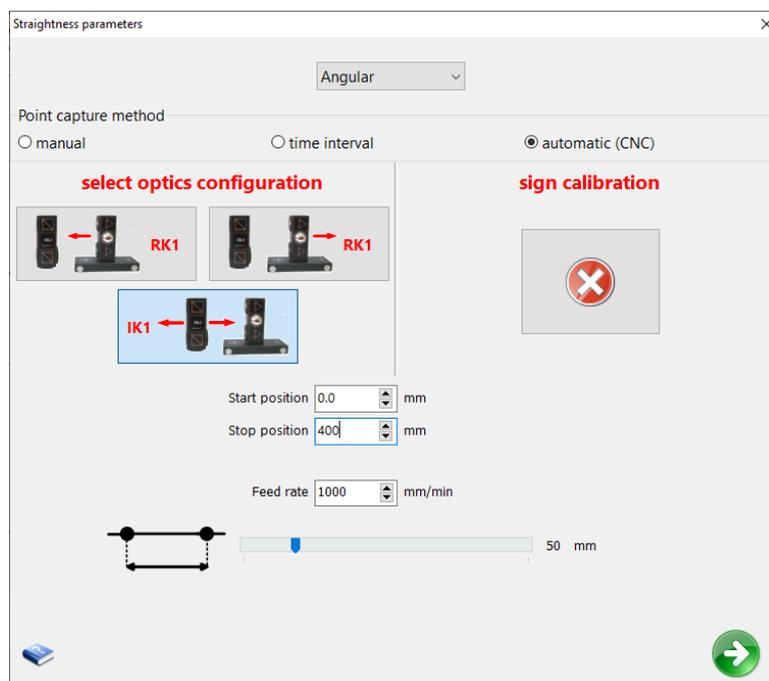


FIG.9.38. SELECCIÓN DE CONFIGURACIÓN DE LA ÓPTICA ANGULAR

b. Procedimiento de medición – Óptica angular

1. Configure el láser en la máquina medida y alinee la trayectoria óptica,
2. Inicie el software HPI y seleccione la opción *Dynamic Straightness*,

3. Elija el método de medición: Angular,
4. Elija la distancia entre los puntos, la posición inicial y final de la máquina y la velocidad de avance,
5. Elija la configuración óptica correcta,
6. Presione el botón *Start*,
7. Espere a que el contador del programa llegue a 0 y presione Iniciar en el controlador de la máquina,
8. Detenga la medición manualmente o espere a que el programa alcance la distancia establecida.

c. Procedimiento de medición – Óptica de Wollaston – preparaciones

La medición de rectitud en el modo Wollaston se basa en mover el prisma Wollaston WP2 a lo largo del eje de la máquina. Antes de las mediciones, es necesario ingresar en el software HPI los parámetros de la máquina: la distancia de velocidad de avance entre los puntos de medición y la posición de Inicio y Fin de la máquina (ver Figura 9.39).

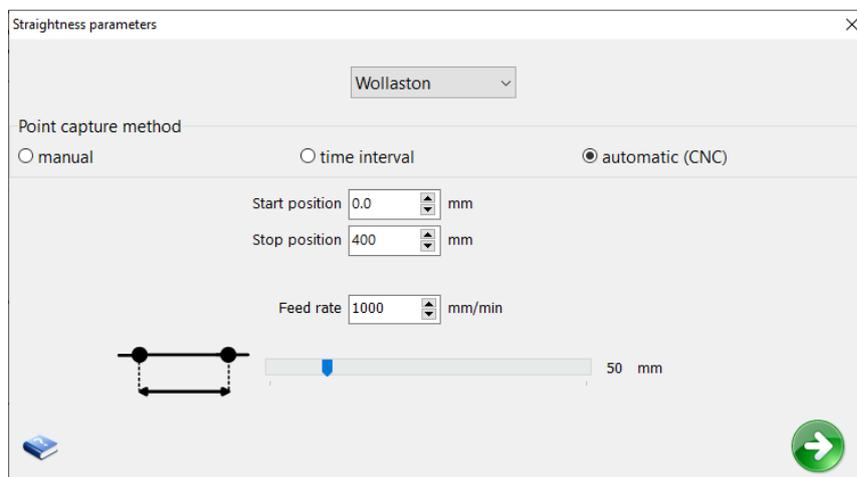


FIG.9.39. SELECCIÓN DE CONFIGURACIÓN DE LA ÓPTICA DE WOLLASTON

d. Procedimiento de medición– Óptica de Wollaston

1. Configure el láser en la máquina medida y alinee la trayectoria óptica,
2. Inicie el software HPI y seleccione la opción *Dynamic Straightness*,
3. Elija el método de medición: *Wollaston*,
4. Elija la distancia entre los puntos, la posición inicial y final de la máquina y la velocidad de avance,
5. Presione el botón *Start*,
6. Espere a que el contador del programa llegue a 0 y presione Iniciar en el controlador de la máquina,
7. Detenga la medición manualmente o espere a que el programa alcance la distancia establecida.

e. Procedimiento de medición– Método 3D - preparaciones

La medición de la rectitud en el modo 3D se basa en mover elementos ópticos lineales (IL1 o RL1) a cualquier distancia y medir el movimiento relativo de IL1 y RL1 en ambas direcciones perpendiculares al rayo láser. Antes de las mediciones, es necesario ingresar en el software HPI los parámetros de la máquina: la distancia de velocidad de avance entre los puntos de medición y la posición de Inicio y Fin de la máquina (ver Figura 9.40).

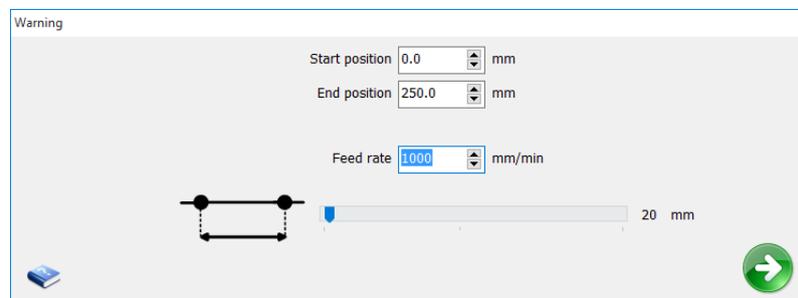


FIG.9.40. SELECCIÓN DE CONFIGURACIÓN DE LA ÓPTICA 3D

f. Procedimiento de medición – Método 3D

1. Configure el láser en la máquina medida y alinee la trayectoria óptica.
2. Inicie el software HPI y seleccione la opción *Dynamic Straightness*,
3. Elija el método de medición: *3D*,
4. Elija la distancia entre los puntos, la posición inicial y final de la máquina y la velocidad de avance,
5. Presione el botón *Start*,
6. Espere a que el contador del programa llegue a 0 y presione *Iniciar* en el controlador de la máquina,
7. Detenga la medición manualmente o espere a que el programa alcance la distancia establecida.

10. MEDICIONES – PERPENDICULARIDAD

10

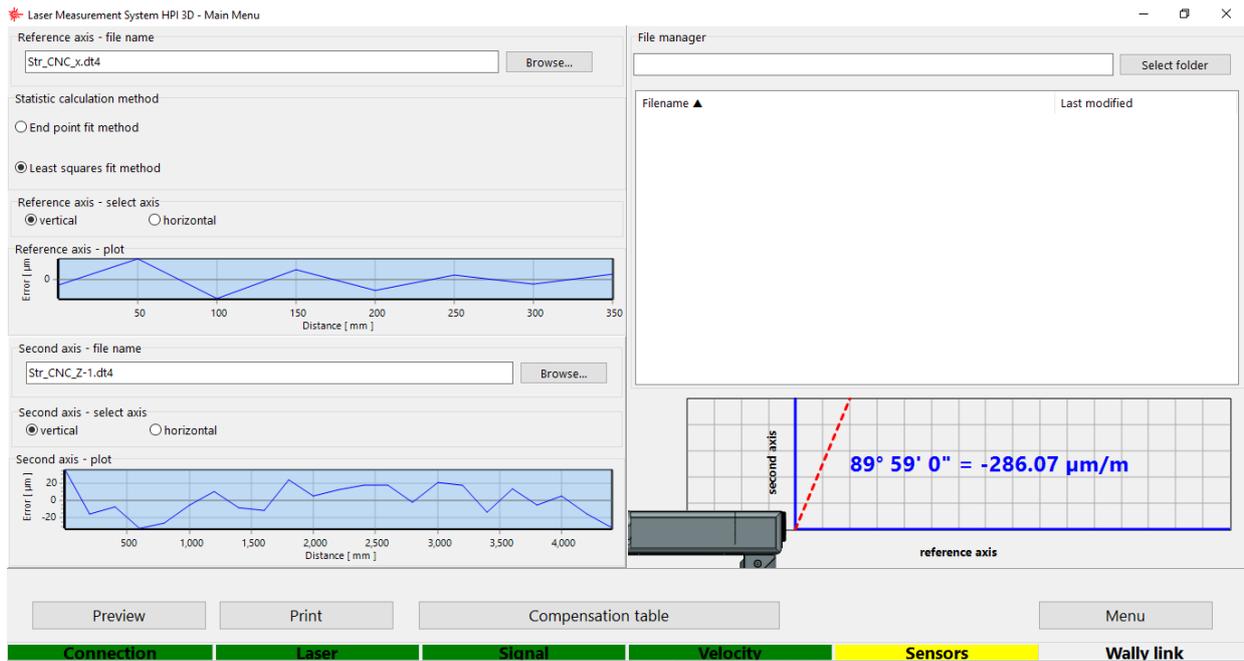
10.1 Descripción general

La medición de la perpendicularidad se utiliza para caracterizar la geometría de la máquina medida, es decir, la perpendicularidad de los ejes. La medición se realiza utilizando la técnica de medición de rectitud 3D o Wollaston. Para obtener los resultados adecuados, son necesarias dos mediciones con el uso de un etalón en ángulo recto. A partir de los datos de rectitud de los ejes obtenidos, se calcula y se dibuja la perpendicularidad (figura 10.1).

10.2 Configuración de medición

La elección de los elementos ópticos necesarios para las mediciones de perpendicularidad depende del método de medición seleccionado: es decir, 3D o Wollaston. Si se usa el método 3D, entonces se debe usar la óptica lineal más el etalón en ángulo recto. En este caso, los componentes necesarios son:

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Interferómetro lineal **IL1**
- Retrorreflector lineal **RL1**
- Etalon **RE3D** o **REW** en ángulo recto



10

FIG.10.1. RESULTADOS DE UNA PERPENDICULARIDAD EJEMPLAR

En el caso de la medición tipo Wollaston, los componentes necesarios

son:

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Prisma de Wollaston **WP2**
- Retrorreflector Wollaston **WRP2**
- Etalon **REW** en ángulo recto

Para ambos métodos, los elementos opcionales son similares:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode
- Sensor de temperatura del aire
- Sensor de temperatura base

Las mediciones de perpendicularidad basadas en el método 3D requieren que los elementos ópticos IL1 y RL1 se alineen primero a lo largo

del rayo láser, como se muestra en la figura 10.2A. El elemento RL1 debe moverse. Los resultados obtenidos de la rectitud del eje deben guardarse para su posterior procesamiento.

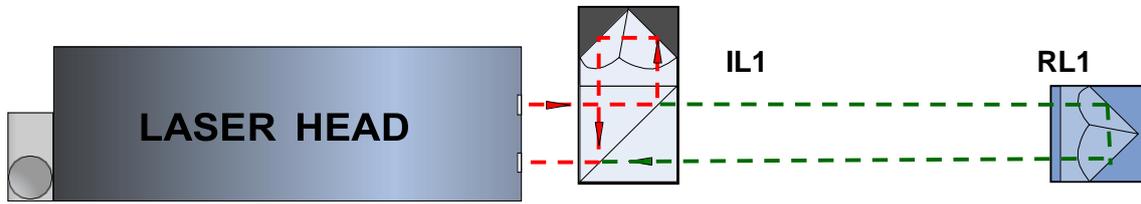


FIG.10.2A. CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE PERPENDICULARIDAD 3D - PRIMER EJE

En la siguiente fase de las mediciones, el haz debe dirigirse al eje perpendicular con el uso del etalon RE3D o REW en ángulo recto. **Tenga cuidado** de no cambiar la posición del cabezal láser durante la alineación de la trayectoria del láser; la trayectoria del rayo debe alinearse únicamente con la rotación del elemento RE3D o REW. La configuración óptica se muestra en la Figura 10.2B. La medición de la rectitud del eje debe realizarse con el movimiento del elemento RL1.

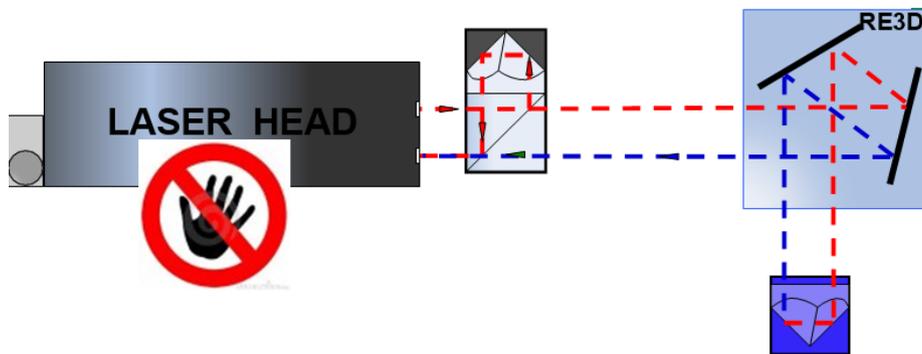
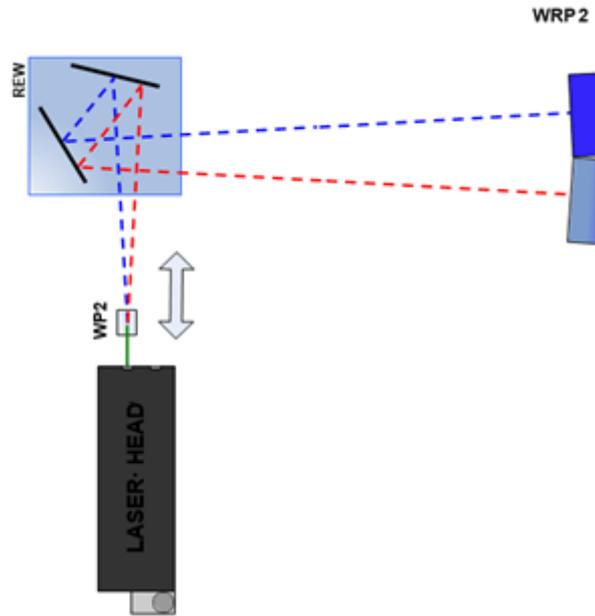


FIG.10.2B. CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE PERPENDICULARIDAD 3D: SEGUNDO EJE

Las medidas de perpendicularidad de Wollaston requieren que los elementos ópticos WP2 y WRP2 estén alineados a lo largo del rayo láser como se muestra en las figuras 10.3A y 10.3B. El rayo debe dirigirse al eje perpendicular con el uso del etalon REW en ángulo recto.

Las medidas constan de dos partes. En la primera parte, el WP2 se mueve

entre el cabezal láser y el prisma REW (Fig. 10.3A). Durante la segunda parte, el WP2 debe colocarse entre REW y WRP2 (Fig. 10.3B).



10

FIG.10.3A. CAMINO ÓPTICO CONFIGURADO PARA MEDICIONES DE PERPENDICULARIDAD DE WOLLASTON - ESQUEMA PARA EL PRIMER EJE. HACES DE RETORNO NO DIBUJADAS PARA CLARIDAD DE LA FIGURA

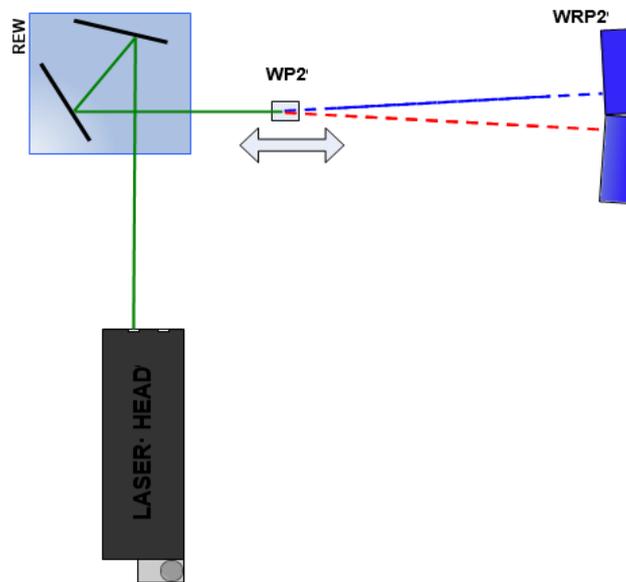


FIG.10.3B. TRAYECTORIA ÓPTICA CONFIGURADA PARA MEDICIONES DE PERPENDICULARIDAD WOLLASTON - ESQUEMA PARA EL SEGUNDO EJE. HACES DE RETORNO NO DIBUJADAS PARA CLARIDAD DE LA FIGURA

El elemento WRP2 **NO DEBE** moverse durante las mediciones. El cabezal láser y el REW tampoco deben tocarse durante ambas partes de la medición.

Durante las mediciones de perpendicularidad, se recomienda el uso del sensor de temperatura del aire. No es necesario utilizar sensores de temperatura base.

10.3 Descripción del Software

La perpendicularidad se mide en la opción **Squareness**, elegida en el Menú principal. La ventana del programa del software HPI se ve como se muestra en la Fig. 10.4. La ventana de resumen de medidas de perpendicularidad consta de tres partes principales:

- Pantalla: presenta la rectitud medida de los ejes y la perpendicularidad calculada;
- Gráfico esquemático: permite cambiar el eje editado actualmente;
- Panel con botones

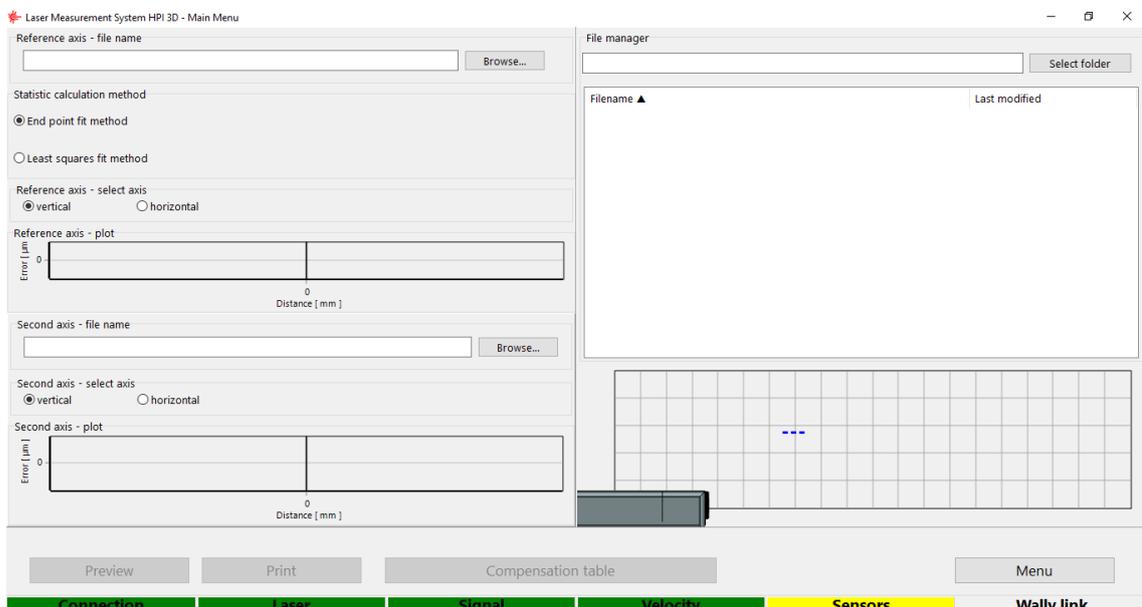


FIG.10.4. VENTANA DE RESUMEN DE MEDICIÓN DE PERPENDICULARIDAD

La medición se inicia con el botón **Measurement** y aparece la ventana

que se muestra en la figura 10.5. En esta ventana es posible cambiar el eje medido y analizar los resultados de rectitud de cada eje individual. El eje se puede cambiar haciendo clic en el eje adecuado en el gráfico de ejes o eligiéndolo de la lista desplegable *No. axis*.

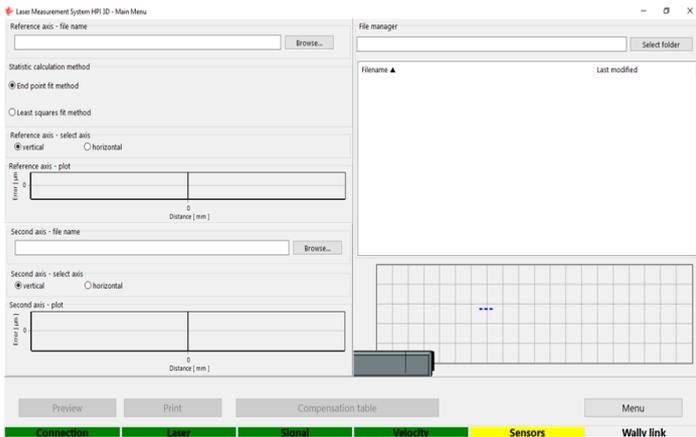


FIG.10.5. SQUARENESS MEASUREMENT WINDOW

Las opciones disponibles en la ventana de medición de la perpendicularidad también permiten generar la tabla de compensación (botón **Compensation table**) o imprimir los resultados (de una sola medición) en forma de Informe (botón **Preview** o **Print**).

10

El gráfico se puede imprimir o guardar en un archivo. Esos comandos se pueden encontrar en el menú **File** (es decir, Guardar, Guardar como, Imprimir...).

Antes de guardar el archivo, el programa pregunta sobre el cambio de datos de la máquina (opción disponible en el menú desplegable *Edit->Machine data*), como el tipo de máquina, el número de serie de la máquina, el eje medido o el operador de la máquina (ver figura 10.7). Estos valores permiten describir la medición realizada para su posterior análisis y también están presentes en el informe impreso.

El informe de medición también se puede generar a partir de los datos obtenidos, ya sea presionando *Print* o *Preview* en la ventana de análisis de medición. El informe se puede generar en la forma básica donde sólo se muestra el gráfico de los valores medidos o en la versión extendida, que

contiene tablas con datos medidos.

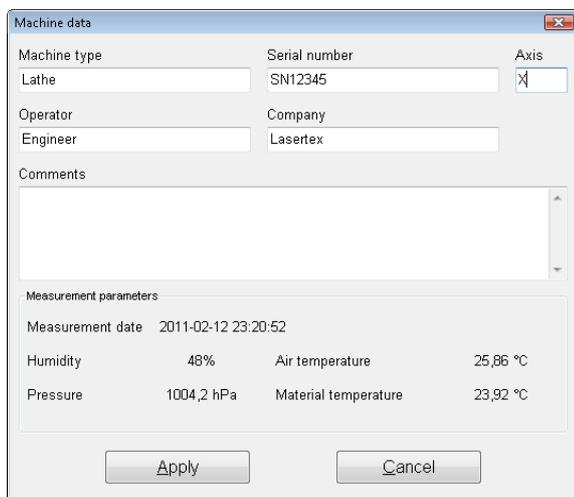


FIG.10.6. VENTANA DE DATOS DE LA MÁQUINA

También es posible copiar el gráfico de rectitud en el portapapeles y luego pegarlo, por ejemplo, en un documento del editor de Word. El comando **Copy to clipboard** está disponible en el menú emergente que aparece después de hacer clic con el botón derecho en el área del gráfico.

10

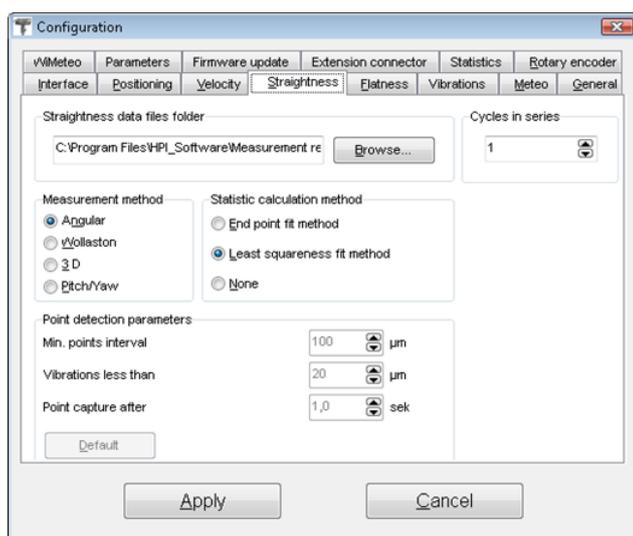


FIG. 10.7. OPCIONES DE CONFIGURACIÓN DE RECTITUD

La opción de perpendicularidad se puede configurar en la ventana de configuración accesible tanto desde el Menú principal como desde el menú desplegable *Edit->Configuration* en la opción de Rectitud *Straightness* (figura 10.7).

La pestaña de configuración de rectitud permite la configuración que se describe en el capítulo *Measurement>Straightness*, con la diferencia de que los métodos de medición utilizados para las mediciones de rectitud son Wollaston o 3D.

10.4 Alineación de elementos ópticos para las mediciones de perpendicularidad

La medida de la perpendicularidad consta de las medidas de rectitud para dos ejes. El eje de medición se selecciona en la superficie medida como se muestra en la figura 10.8. En esta figura también se muestran: direcciones de medidas y márgenes que deben mantenerse durante las medidas.

Las mediciones de las desviaciones de la rectitud se realizan con óptica lineal o de Wollaston como se describe en el Capítulo *Mediciones - Rectitud*. Dependiendo del eje de medición, se utiliza un conjunto diferente de componentes ópticos y la alineación de la trayectoria óptica se realiza de una manera ligeramente diferente.

Las mediciones **deben** realizarse sin cambiar la posición del cabezal láser.

En ambos casos, las mediciones deben realizarse en las direcciones señaladas por las flechas en el gráfico esquemático de la pantalla principal de medición de la perpendicularidad (fig. 10.8).

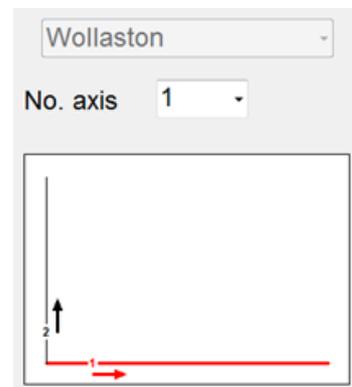


FIG.10.8. TABLA DE ELECCIÓN DE EJES

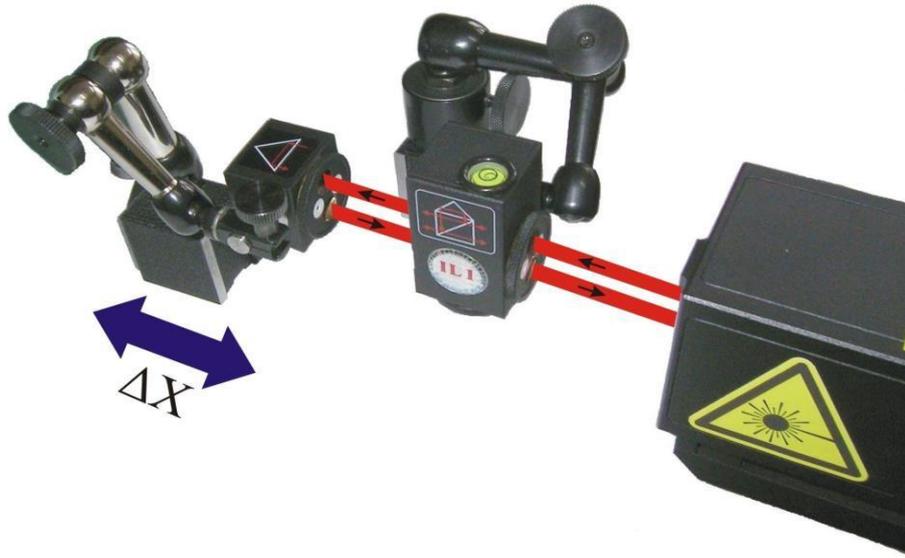


FIG.10.9 CAMINO ÓPTICO CONFIGURADO PARA MEDICIONES DE RECTITUD 3D EN EJE X

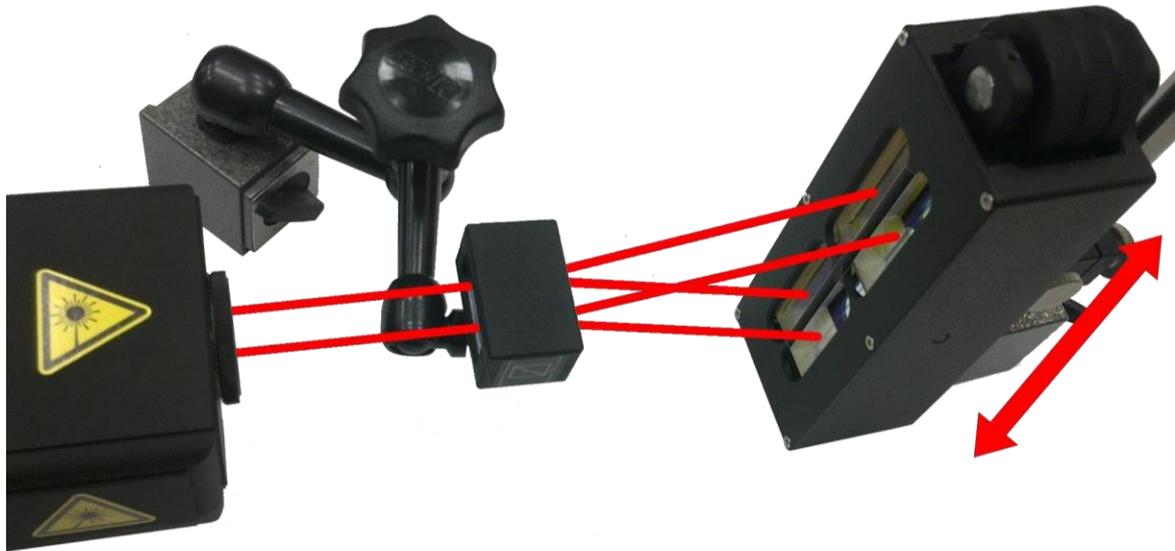


FIG.10.10 CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE RECTITUD DE WOLLASTON EN EJE X

La configuración de los componentes ópticos para los métodos 3D y Wollaston se muestra en las figuras 10.9 y 10.10. En las figuras se omite un elemento REW (ver figuras 10.3A y 10.3B).

Cuando los datos de la máquina están configurados correctamente (*Edit-> Machine Data*), se debe presionar el botón *Measurement*. El siguiente paso es la selección del eje de medición (fig. 10.8) y la trayectoria óptica debe ajustarse (consulte las figuras 10.9 y 10.10). Si se mide la rectitud del primer eje, la trayectoria óptica debe realinearse y el siguiente eje debe seleccionarse en el software. Si se miden ambos ejes, se debe presionar el botón *Back*. El resumen de las medidas de perpendicularidad obtenidas (fig. 10.1) se puede guardar, imprimir o exportar a un archivo de texto (*File->Save, File->Print* o *File->Export*).

10.5 Procedimiento de medición

1. Configure el láser en la máquina medida y alinee la primera trayectoria óptica,
2. Inicie el software HPI y seleccione la opción *Squareness*,
3. Presione el botón *Measurement* en la pantalla de resumen de perpendicularidad,
4. Elija el eje adecuado en el gráfico de elección de ejes y presione el botón *Start, New* o *Repeat*,
5. Mueva el **RL1** o **WP2** al siguiente punto de medición,
6. Continúe con las mediciones hasta que se midan todos los puntos de la ruta,
7. Detenga la medición,
8. Vuelva a alinear la trayectoria óptica con el eje perpendicular y repita los pasos 4-7,
9. Cuando se midan los datos de rectitud de todos los ejes, se debe presionar el botón *Back*. El software vuelve a la pantalla Resumen de perpendicularidad; figura 10.1,
10. Para el tipo de medición 3D, se deben elegir los ejes correctos (vertical u horizontal) para la comparación.

Para realizar la medición en el modo de captura manual, debe seleccionarse *Measurement->Manual point capture*. La medición comienza presionando **Start / New / Repeat**. Los puntos de medición se pueden capturar con la tecla Espacio del teclado del PC, el botón de captura de puntos *Point capture* en el panel o con el botón del disparador remoto. Si se captura el último punto, se debe presionar el botón **Stop**.

El informe de medición también se puede generar a partir de los datos obtenidos, ya sea presionando *Print* o *Preview* en la ventana de análisis de medición. El informe se puede generar en la forma básica donde sólo se muestra el gráfico de los valores medidos o en la versión extendida, que contiene tablas con datos medidos.

10

11. MEDICIONES – PARALELISMO

11.1 Descripción General

La medición del paralelismo se utiliza para caracterizar la geometría de la máquina medida, es decir, el paralelismo de los ejes. La medición se realiza mediante la técnica de rectitud 3D o Wollaston. Para obtener los resultados adecuados, son necesarias dos mediciones con el uso de un etalón en ángulo recto. A partir de los datos de rectitud de los ejes obtenidos, se calcula y dibuja el paralelismo (figura 11.1).

11

11.2 Configuración de medición

La elección de los elementos ópticos necesarios para las mediciones de paralelismo depende del método de medición seleccionado: es decir, 3D o Wollaston. Si se usa el método 3D, entonces se debe usar la óptica lineal más el etalón en ángulo recto. En este caso, los componentes necesarios son:

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Interferómetro lineal **IL1**
- Retrorreflector lineal **RL1**
- Etalon **RE3D** en ángulo recto

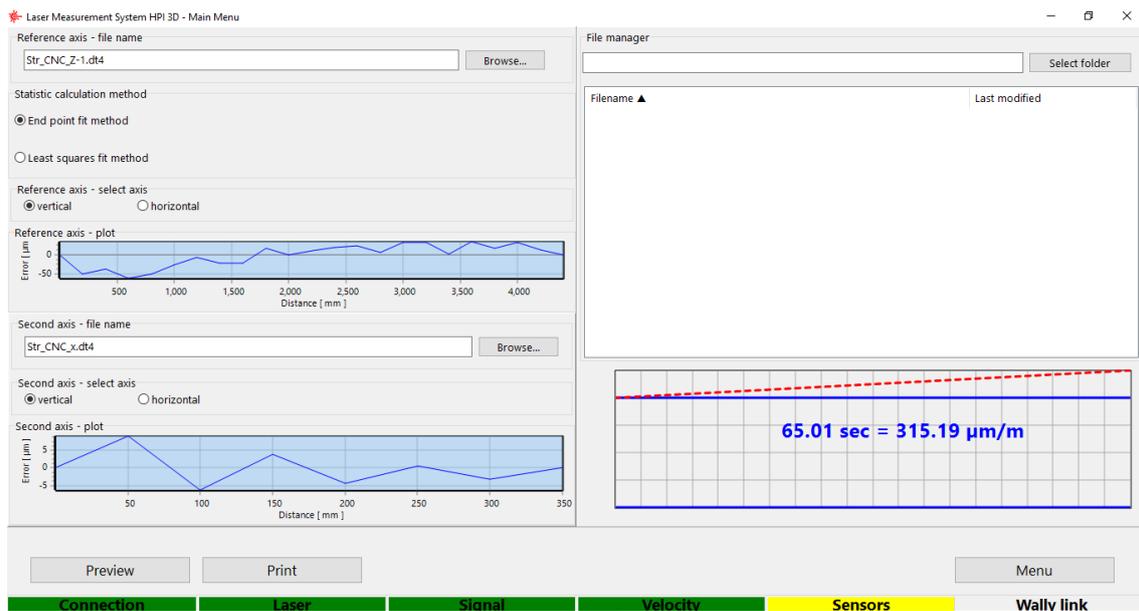


FIG.11.1. RESULTADOS DE UN PARALELISMO EJEMPLAR

En el caso de la medición tipo Wollaston, los componentes necesarios

son:

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Prisma de Wollaston **WP2**
- Retrorreflector Wollaston **WRP2**
- Etalon **REW** en ángulo recto

Para ambos métodos, los elementos opcionales son similares:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode
- Sensor de temperatura del aire
- Sensor de temperatura base

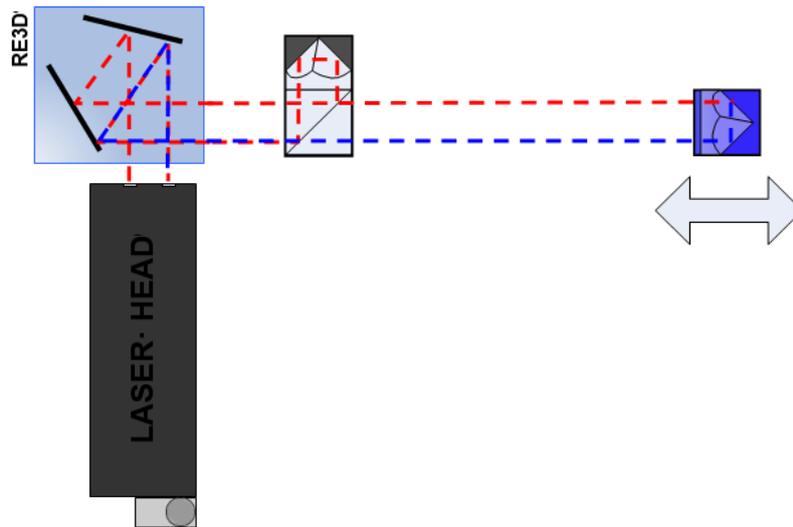


FIG.11.2A. CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE PARALELISMO 3D - ESQUEMA PARA EL EJE 1.

Las mediciones de paralelismo basadas en el método 3D requieren que los elementos ópticos IL1 y RL1 estén alineados a lo largo del rayo láser, como se muestra en las figuras 11.2A y 11.2B. El elemento RL1 debe moverse. El haz debe dirigirse al eje perpendicular con el uso del etalon RE3D en ángulo recto.

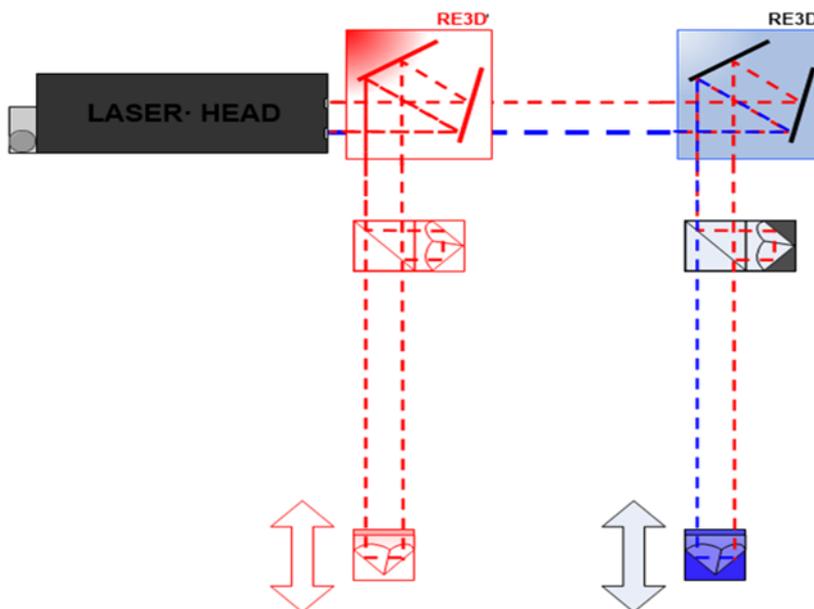


FIG.11.2B. CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE PARALELISMO 3D - ESQUEMA PARA EJE 2.

Las mediciones del paralelismo de Wollaston requieren que los elementos ópticos WP2 y WRP2 estén alineados a lo largo del rayo láser como se muestra en la figura 11.3. El elemento WP2 debe moverse primero a lo largo del Eje 1 y luego a lo largo del Eje 2. No es necesario un prisma en ángulo recto para esta medición.

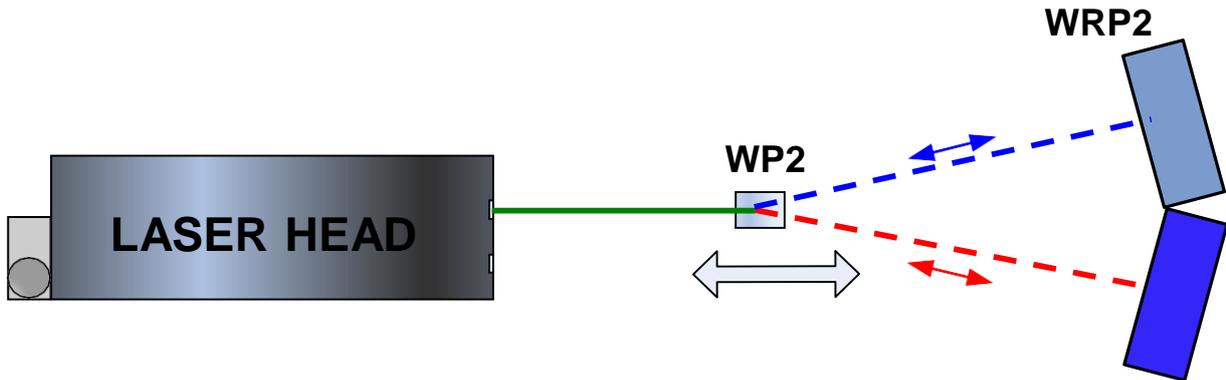


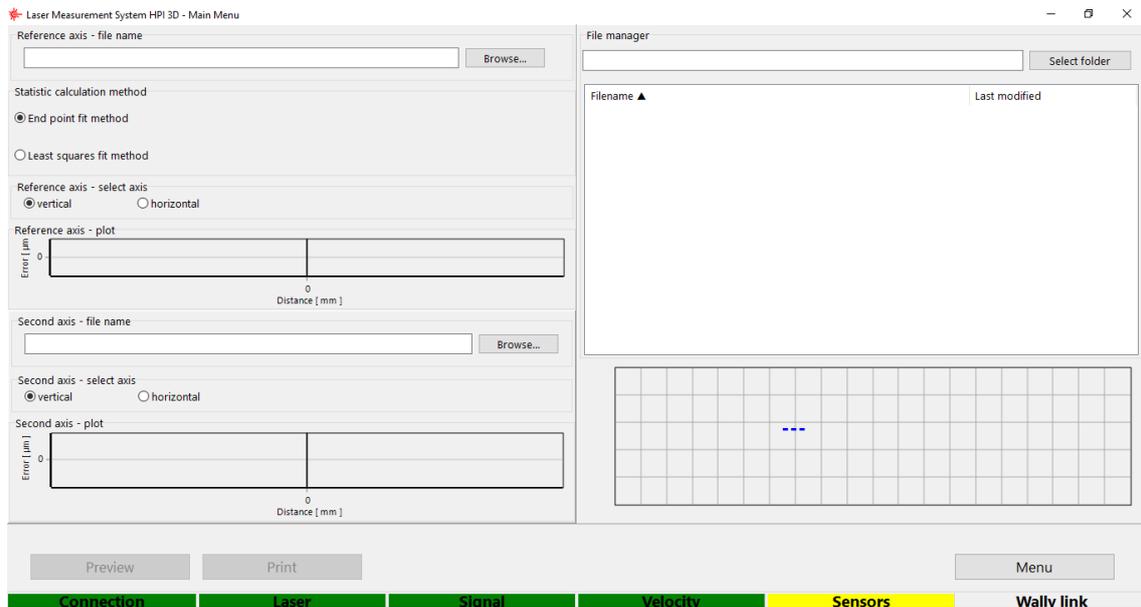
FIG.11.3. CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE PARALELISMO DE WOLLASTON

Durante las mediciones de paralelismo, se recomienda el uso del sensor de temperatura del aire. No es necesario utilizar sensores de temperatura base.

11.3 Descripción del Software

El paralelismo se mide en la opción **Parallelism**, elegida en el Menú principal. La ventana del programa de software HPI se ve como se muestra en la Fig. 11.4. La ventana Resumen de medición de paralelismo consta de tres partes principales:

- Pantalla: presenta la rectitud medida de los ejes y el paralelismo calculado;
- Gráfico esquemático: permite cambiar el eje editado actualmente;
- Panel con botones.



11

FIG.11.4. VENTANA DE RESUMEN DE MEDICIÓN DEL PARALELISMO

La medición se inicia con el botón **Measurement** y aparece la ventana que se muestra en la figura 11.5. En esta ventana es posible cambiar el eje medido y analizar los resultados de rectitud de cada eje individual. El eje se puede cambiar haciendo clic en el eje adecuado en el gráfico de ejes o eligiéndolo de la lista desplegable de *No. axis*.

Las opciones disponibles en la ventana de medición del paralelismo también permiten imprimir los resultados (de una sola medición) en forma de Informe (botón **Preview** o **Print**).

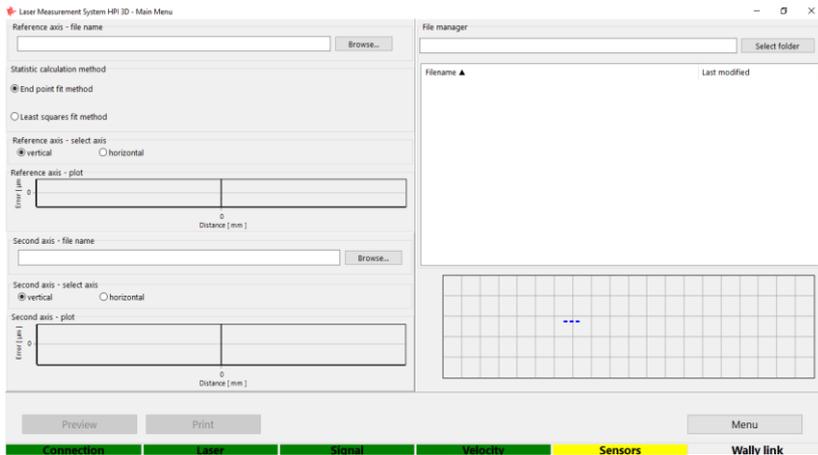


FIG.11.5. VENTANA DE MEDICIÓN DE PARALELISMO

El gráfico se puede imprimir o guardar en un archivo. Esos comandos se pueden encontrar en el menú **File** (es decir, Guardar, Guardar como, Imprimir).

11

Antes de guardar el archivo, el programa pregunta sobre el cambio de datos de la máquina (opción disponible en el menú desplegable *Edit->Machine data*), como el tipo de máquina, el número de serie de la máquina, el eje medido o el operador de la máquina (ver figura 11.6). Estos valores permiten describir la medición realizada para su posterior análisis y también están presentes en el informe impreso.

El informe de medición también se puede generar a partir de los datos obtenidos, ya sea presionando *Print* o *Preview* en la ventana de análisis de medición. El informe se puede generar en la forma básica donde sólo se muestra el gráfico de los valores medidos, o en la versión extendida, que contiene tablas con datos medidos.

También es posible copiar el gráfico de rectitud en el portapapeles y luego pegarlo, por ejemplo, en un documento del editor de Word. El comando **Copy to clipboard** está disponible en el menú emergente que aparece después de hacer clic con el botón derecho en el área del gráfico.

La opción de paralelismo se puede configurar en la ventana de configuración **Configuration** accesible tanto desde el Menú principal como desde el menú desplegable *Edit->Configuration* en la opción de Rectitud *Straightness*.

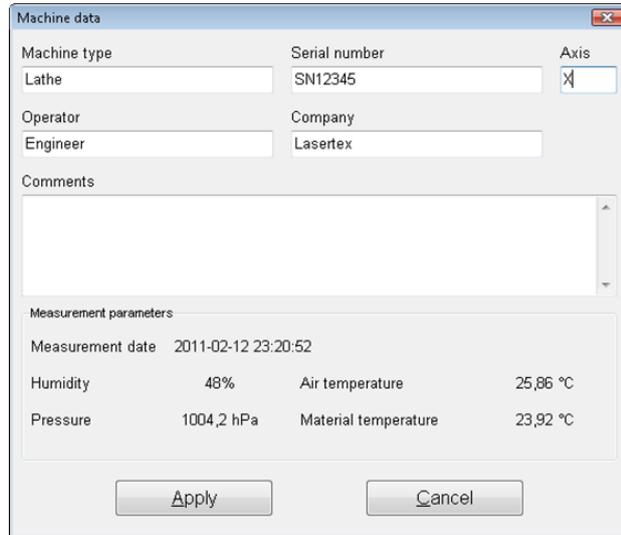


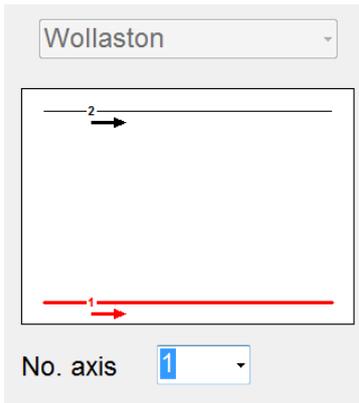
FIG.11.6. VENTANA DE DATOS



11.4 Alineación de elementos ópticos para las mediciones de paralelismo

La medida del paralelismo consta de las medidas de rectitud para dos ejes. El eje de medición se selecciona en la superficie medida como se muestra en la figura 11.7. En esta figura también se muestran: direcciones de medidas y márgenes que deben mantenerse durante las medidas.

Las medidas de las desviaciones de la rectitud se realizan con óptica



lineal o Wollaston, como se describe en el capítulo *Mediciones: rectitud*. Dependiendo del eje de medición, se utiliza un conjunto diferente de componentes ópticos y la alineación de la trayectoria óptica se realiza de una manera ligeramente diferente.

FIG.11.7 TABLA DE ELECCIÓN DE EJES

Las mediciones deben realizarse sin cambiar la posición del cabezal láser.

En ambos casos las mediciones deben realizarse en las direcciones señaladas por las flechas en el gráfico esquemático de la pantalla principal de medición del paralelismo (fig. 11.7).

La configuración de los componentes ópticos para los métodos 3D y Wollaston se muestra en las figuras 11.8 y 11.9.

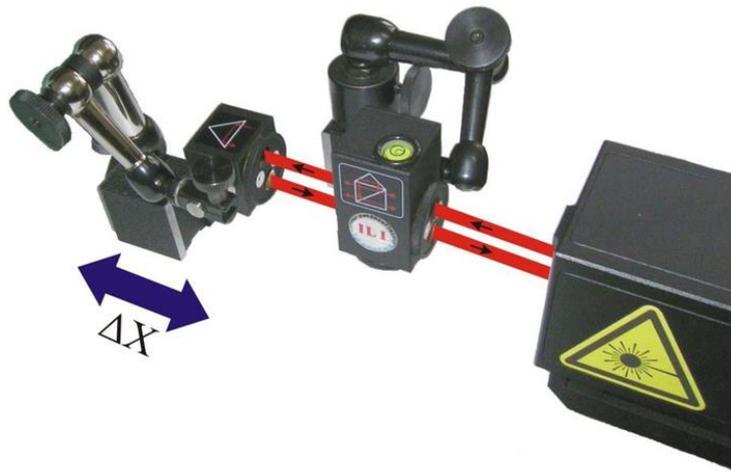


FIG.11.8 CAMINO ÓPTICO CONFIGURADO PARA MEDICIONES DE RECTITUD 3D EN EJE X

Cuando los datos de la máquina están configurados correctamente (*Edit-*

> *Machine Data*), se debe presionar el botón *Measurement*. El siguiente paso es la selección del eje de medición (fig. 11.7) y se debe ajustar la trayectoria óptica (ver figuras 11.8 y 11.9). Si se mide la rectitud del primer eje, la trayectoria óptica debe realinearse y el siguiente eje debe seleccionarse en el software. Si se miden ambos ejes, se debe presionar el botón *Back*. El resumen de las medidas de paralelismo obtenidas (fig. 11.1) se puede guardar, imprimir o exportar a un archivo de texto (*File->Save*, *File->Print* o *File->Export*).



11

FIG. 11.9 CONFIGURACIÓN DE LA RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE RECTITUD DE WOLLASTON EN EJE X

11.5 Procedimiento de medición

1. Configure el láser en la máquina medida y alinee la primera trayectoria óptica,
2. Inicie el software HPI y seleccione la opción Parallelism,
3. Presione el botón Measurement en la pantalla de resumen de paralelismo,
4. Elija el eje adecuado en la tabla de elección de ejes y presione el botón *Start, New or Repeat*,
5. Mueva el **RL1** o **WP2** al siguiente punto de medición,
6. Continuar con las mediciones hasta que se midan todos los puntos

- de la trayectoria,
7. Detenga la medición,
 8. Vuelva a alinear la trayectoria óptica con el eje paralelo y repita los pasos 4-7,
 9. Cuando se mide la rectitud de todos los ejes, se debe presionar el botón *Back*. El software vuelve a la pantalla Resumen de paralelismo; figura 11.1,
 10. Para el tipo de medición 3D, se deben elegir los ejes correctos (vertical u horizontal) para la comparación.

Para realizar la medición en el modo de captura manual, debe seleccionarse *Measurement->Manual point capture*. La medición comienza presionando **Start / New / Repeat**. Los puntos de medición se pueden capturar con la tecla Espacio del teclado del PC, el botón de captura de puntos *Point capture* en el panel o con el botón del disparador remoto. Si se captura el último punto, se debe presionar el botón **Stop**.

El informe de medición también se puede generar a partir de los datos obtenidos, ya sea presionando *Print* o *Preview* en la ventana de análisis de medición. El informe se puede generar en la forma básica donde sólo se muestra el gráfico de los valores medidos, o en la versión extendida, que contiene tablas con datos medidos.

12. MEDICIONES - VIBRACIÓN

12.1 Descripción General

Las mediciones de vibraciones se realizan con el uso de óptica lineal. Esta medida se puede utilizar, por ejemplo, para caracterizar el movimiento del motor. El sistema de medición láser HPI-3D es capaz de detectar vibraciones de la máquina en el rango de frecuencia de 0 a 500 Hz en modo Bluetooth y de 0 a 50 kHz en modo USB. La sensibilidad de las mediciones es de 100 pm.

El sistema permite medir la vibración en diferentes unidades en modo de disparo único y continuo. Los parámetros de la medición se pueden configurar en la opción *Configuration->Vibration*.

12

12.2 Configuración de medición

Para las mediciones de vibraciones se debe utilizar óptica lineal.

Los componentes necesarios son (véanse también las figuras 12.1 a 12.4):

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Interferómetro lineal **IL1**
- Retrorreflector lineal **RL1**

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode

- Sensor de temperatura base
- Sensor de temperatura del aire

Las mediciones de vibración requieren que los elementos ópticos IL1 y RL1 estén alineados a lo largo del rayo láser como se muestra en la figura 12.1. El láser mide la diferencia de vibraciones de ambos elementos ópticos (es decir, IL1 y RL1).

Durante las mediciones de vibración, se recomienda el uso del sensor de temperatura del aire. No es necesario utilizar sensores de temperatura base.

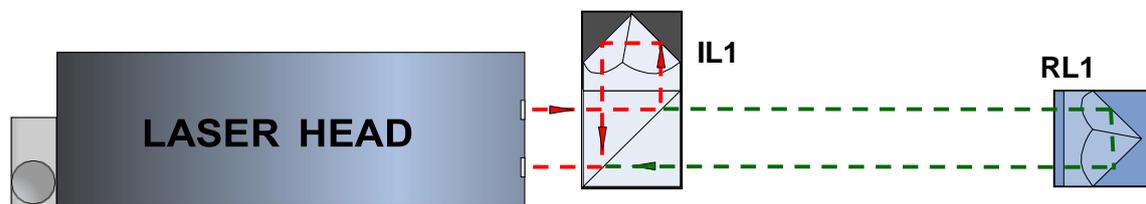


FIG.12.1 CAMINO ÓPTICO CONFIGURADO PARA MEDICIONES DE VIBRACIÓN

Las mediciones de vibración se pueden realizar no sólo a lo largo del rayo láser (como se muestra en las figuras 12.1 y 12.2) sino también en direcciones perpendiculares al rayo. Estas configuraciones se muestran en las figuras 12.3 y 12.4. En esas dos configuraciones sólo se puede mover el Retroreflector RL1.

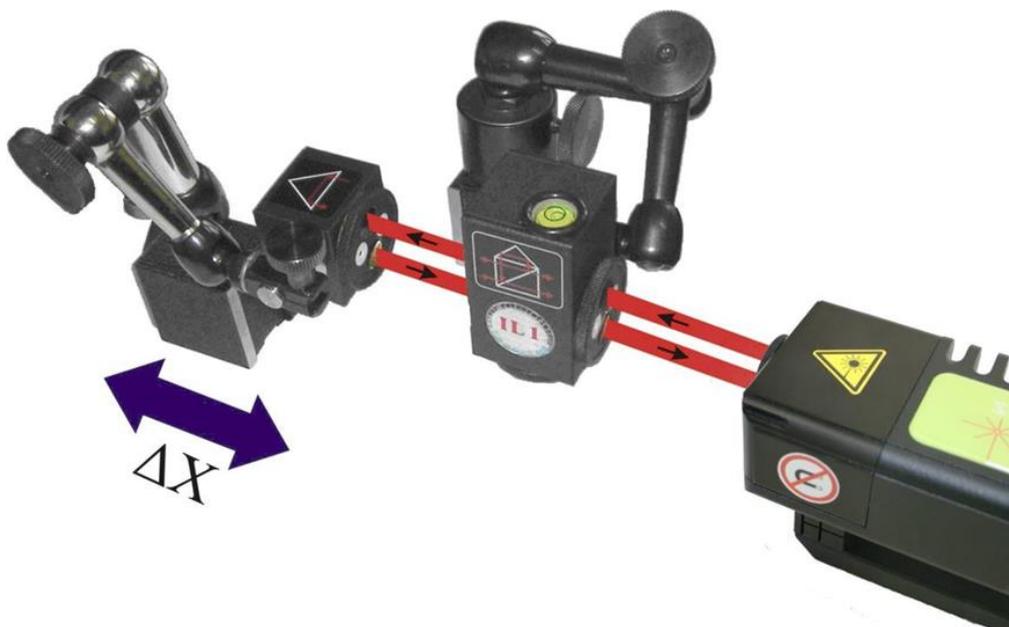


FIG.12.2 CAMINO ÓPTICO CONFIGURADO PARA MEDICIONES DE VIBRACIÓN EN EJE X

12

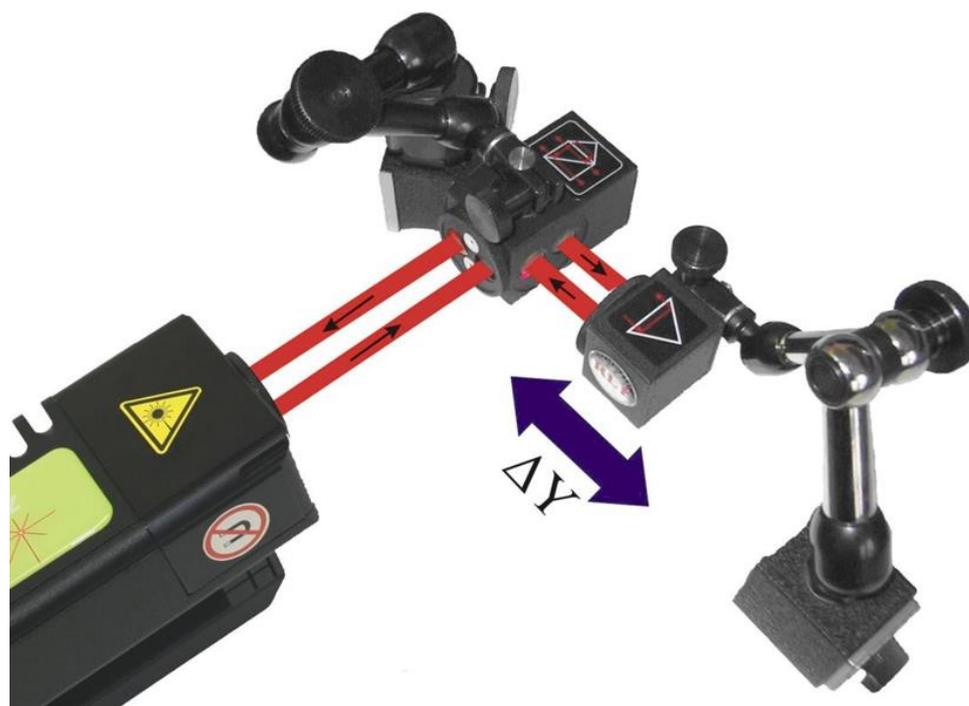


FIG.12.3. CAMINO ÓPTICO CONFIGURADO PARA MEDICIONES DE VIBRACIÓN EN EJE Y



12

FIG.12.4. CAMINO ÓPTICO CONFIGURADO PARA MEDICIONES DE VIBRACIÓN EN EJE Z

12.3 Descripción del Software

Las vibraciones se miden en la opción **Vibration**, elegida en el Menú principal. La ventana del programa HPI-3D se ve como se muestra en la Fig.

12.5. La ventana consta de cuatro partes principales:

- Pantalla: presenta el nivel de la señal de medición y el porcentaje de muestras recogidas;
- Dos gráficos: la parte superior presenta datos recopilados de distancia, velocidad o aceleración, y la parte inferior la Transformación de Fourier (FFT) del gráfico superior;
- Opciones de medición;
- Panel con botones.

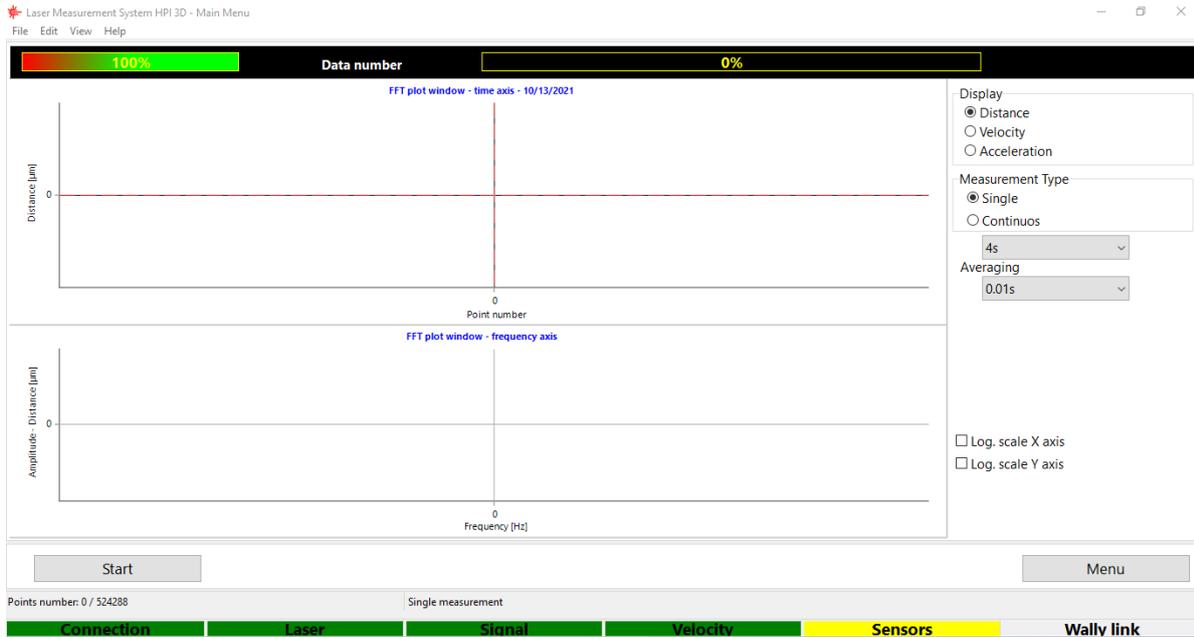


FIG.12.5. VENTANA DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES

12

Antes de iniciar las mediciones, las opciones ubicadas en el panel derecho deben configurarse de acuerdo con los requisitos actuales. Los botones de opción permiten seleccionar el tipo de datos de entrada, es decir, si la amplitud de la distancia, la velocidad o la aceleración es importante. Las listas

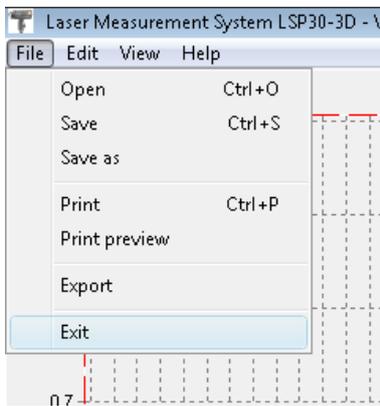


FIG.12.6. MENÚ DESPLEGABLE DE VIBRACIONES FILE

desplegables se utilizan para configurar la duración de la medición para un solo ciclo y para seleccionar la fuerza promedio respectivamente. La medición se inicia con el botón **Start**. Si se selecciona la opción *Continuos*, la medición debe finalizar presionando el botón **Stop**. Durante las mediciones continuas, el gráfico en la pantalla se actualiza constantemente en cada ciclo de medición.

El resultado de la medición se presenta en el diagrama de dominio del tiempo y su análisis FFT en el diagrama de frecuencia (figura 12.8). El

diagrama de frecuencia se configura (escalas logarítmicas para los ejes X e Y y eliminación del offset de CC) mediante casillas de verificación ubicadas en la parte inferior derecha de la ventana. Los resultados se pueden guardar, imprimir o exportar (menú *File*).

El informe de medición también se puede generar a partir de los datos obtenidos, ya sea presionando *Print* o *Preview* en la ventana de análisis de

medición (fig. 12.8). El informe se puede generar en la forma básica donde sólo se muestran los gráficos de los valores medidos y la transformación de frecuencia calculada (fig. 12.9), o en la versión extendida, que contiene también tablas con datos medidos.

12

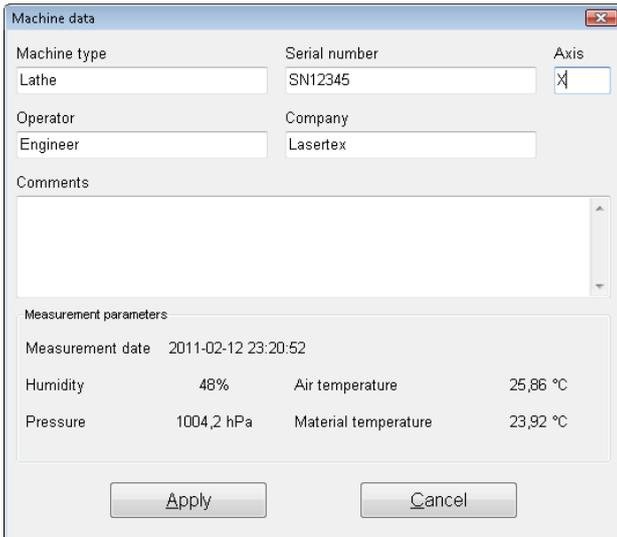


FIG.12.7. VENTANA DE DATOS DE LA MÁQUINA

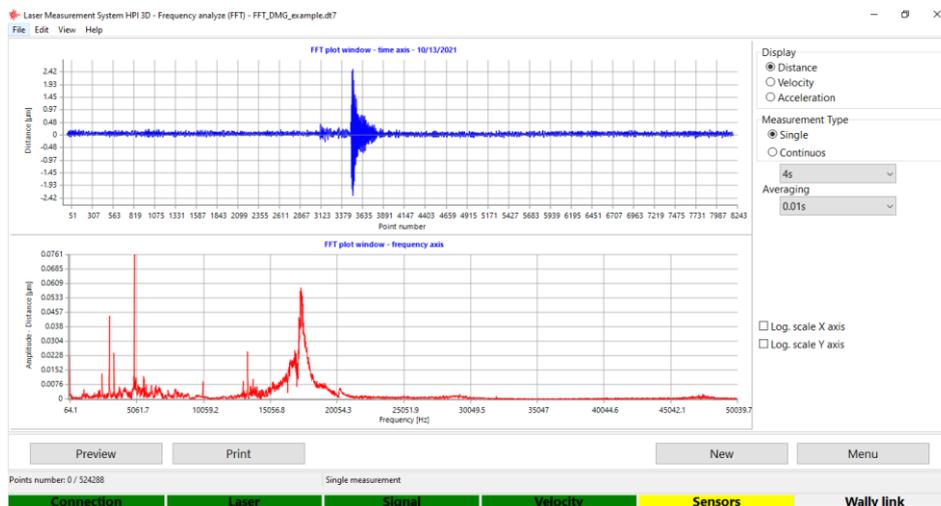


FIG.12.8. VENTANA DE ANÁLISIS DE DATOS MEDIDOS POR VIBRACIÓN

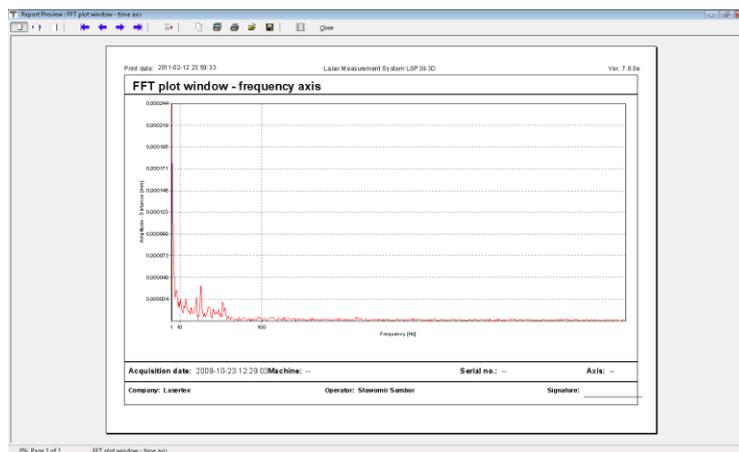


FIG.12.9. VENTANA DE VISTA PREVIA DEL INFORME DE VIBRACIÓN (PÁGINA 1)

También es posible copiar el gráfico de rectitud en el portapapeles y luego pegarlo, por ejemplo, en un documento del editor de Word. El comando **Copy to clipboard** está disponible en el menú emergente que aparece después de hacer clic con el botón derecho en el área del gráfico.

12

12.4 Procedimiento de medición

1. Configure el láser en la máquina medida y alinee la trayectoria óptica,
2. Inicie el software HPI-3D y seleccione la opción *Vibration*,
3. Configure la medición de vibraciones,
4. Presione el botón *Start* y encienda la máquina,
5. En el modo continuo, presione el botón *Stop*; en el modo de disparo único, espere el final de las mediciones,
6. Guarde los resultados y / o imprima el informe de medición.

Para obtener resultados correctos, se debe elegir cuidadosamente un punto donde el retrorreflector se fije a la máquina. Si el punto se elige incorrectamente, en lugar de una frecuencia buscada f , aparecen múltiples frecuencias $n \cdot f$ (donde $n = 1, 2 \dots$) en el gráfico FFT. Por ese motivo, el

retroreflector no debe utilizarse con el soporte magnético **UM2**. En su lugar, se deben usar la base magnética, la varilla de acero inoxidable (**SR1**) y el bloque de sujeción (**HB1**). Cabe mencionar que el sistema mide la vibración sólo en el eje de la trayectoria óptica. Cualquier vibración en ejes perpendiculares no influye en la medición (ver figura 12.10).

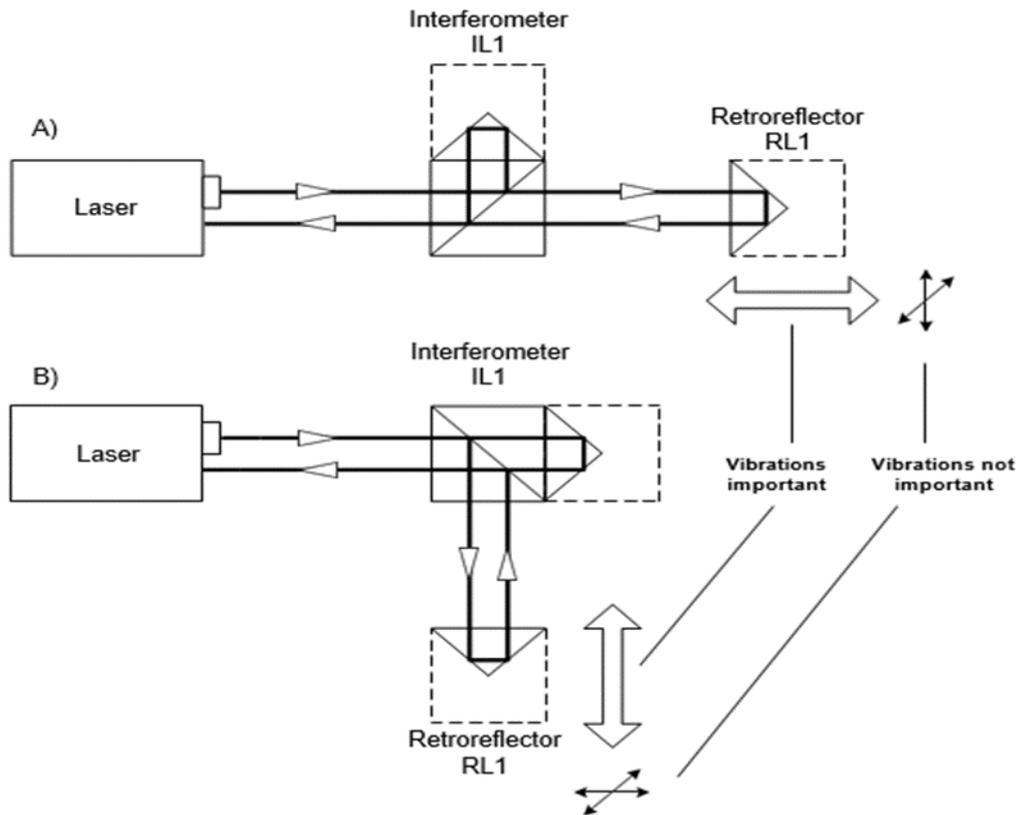


FIG.12.10. MEDIDA DE VIBRACIONES EN DIFERENTES EJES

13. MEDICIONES - DINÁMICA

13.1 Descripción General

Las mediciones dinámicas se utilizan generalmente para caracterizar el movimiento sutil de la máquina. El sistema de medición láser HPI-3D es capaz de caracterizar la máquina con hasta 1000 muestras por segundo en el modo Bluetooth y hasta 100000 muestras por segundo en el modo USB. En ambos modos, la resolución de la medición es de 100 pm. Las mediciones dinámicas se realizan con el uso de óptica lineal, angular o óptica de Wollaston.

El sistema permite realizar mediciones dinámicas de distancia, velocidad, aceleración, ángulo o rectitud en diferentes unidades.

13

13.2 Configuración de medición

a. Mediciones dinámicas de distancia, velocidad o aceleración

Para mediciones dinámicas de distancia, velocidad y aceleración se debe utilizar la óptica lineal. Los componentes necesarios son (ver también las figuras 13.1 a 13.4):

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Interferómetro lineal **IL1**
- Retrorreflector lineal **RL1**

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode
- Sensor de temperatura base
- Sensor de temperatura del aire

Las mediciones dinámicas de distancia, velocidad y aceleración requieren que los elementos ópticos IL1 y RL1 estén alineados a lo largo del rayo láser como se muestra en la figura 13.1. El láser mide la diferencia de distancia entre los elementos ópticos (es decir, IL1 y RL1).

Durante las mediciones dinámicas se recomienda el uso del sensor de temperatura del aire. No es necesario utilizar sensores de temperatura base.

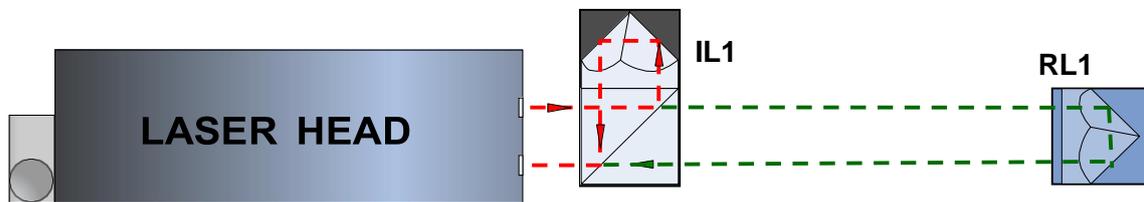


FIG.13.1 CONFIGURACIÓN DE RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DINÁMICAS DE DISTANCIA, VELOCIDAD O ACELERACIÓN

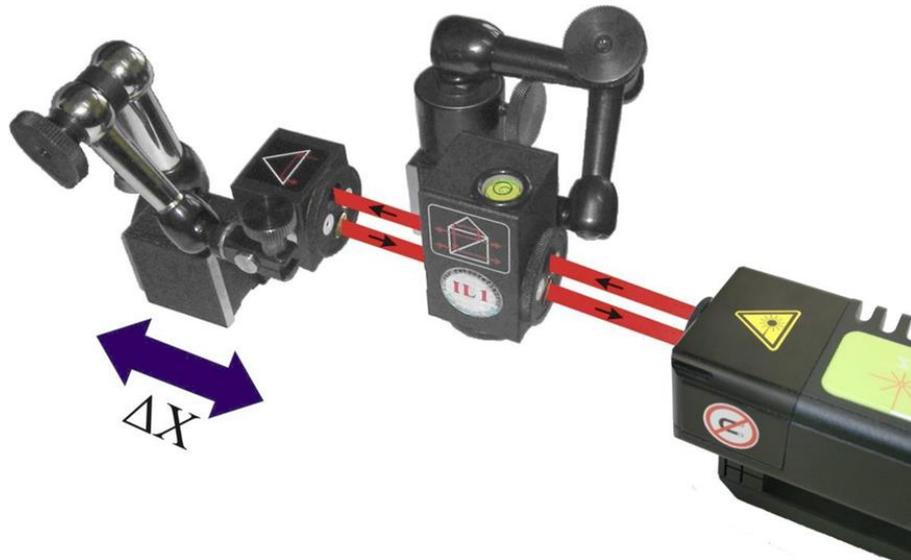


FIG.13.2 CONFIGURACIÓN DE RUTA ÓPTICA PARA MEDIDAS DINÁMICAS LINEALES EN EL EJE X

Las mediciones dinámicas se pueden realizar no sólo a lo largo del rayo láser (como se muestra en las figuras 13.1 y 13.2) sino también en direcciones perpendiculares al rayo. Estas configuraciones se muestran en las figuras 13.3 y 13.4. En esas dos configuraciones sólo se puede mover el Retroreflector RL1.

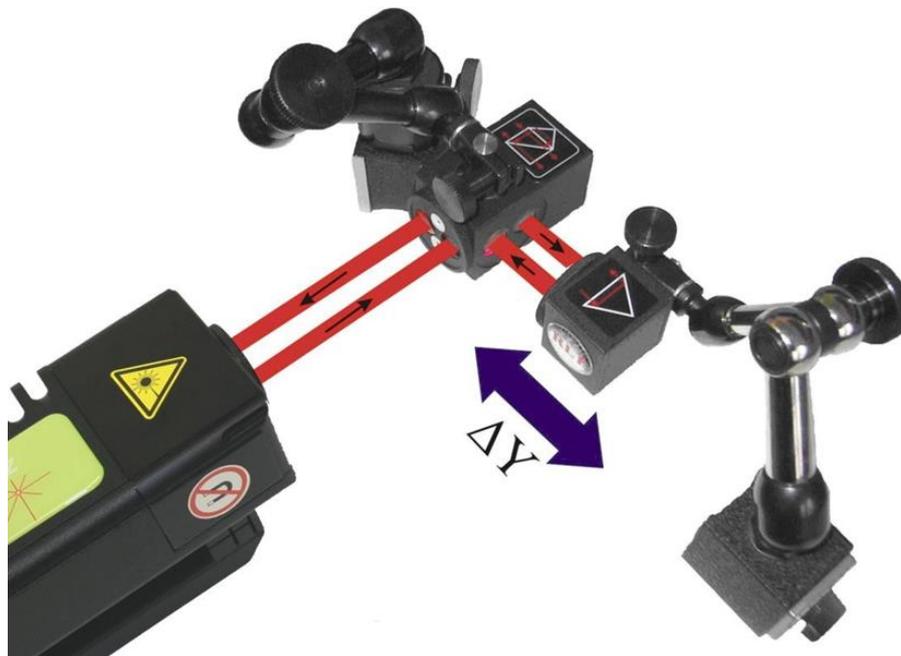


FIG.13.3. CONFIGURACIÓN DE RUTA ÓPTICA PARA MEDIDAS DINÁMICAS LINEALES EN EL EJE Y

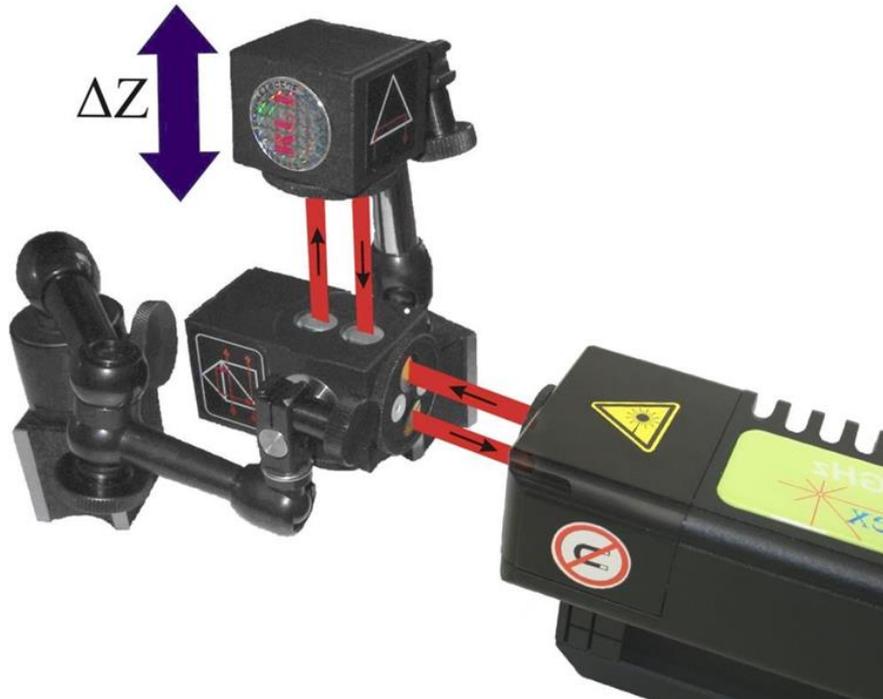


FIG.13.4. CONFIGURACIÓN DE RUTA ÓPTICA PARA MEDIDAS DINÁMICAS LINEALES EN EL EJE Z

b. Mediciones dinámicas de ángulo

Para mediciones dinámicas de ángulo, se debe utilizar la óptica angular.

Los componentes necesarios son:

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Interferómetro angular **IK1**
- Retrorreflector angular **RK1**

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode
- Sensor de temperatura del aire
- Sensor de temperatura base

Las mediciones dinámicas de ángulo requieren que los elementos ópticos IK1 y RK1 estén alineados a lo largo del rayo láser como se muestra en la figura 13.5. Cada uno de los elementos se puede mover.

Durante las mediciones de rectitud angular, se recomienda el uso del sensor de temperatura del aire. No es necesario utilizar sensores de temperatura base.

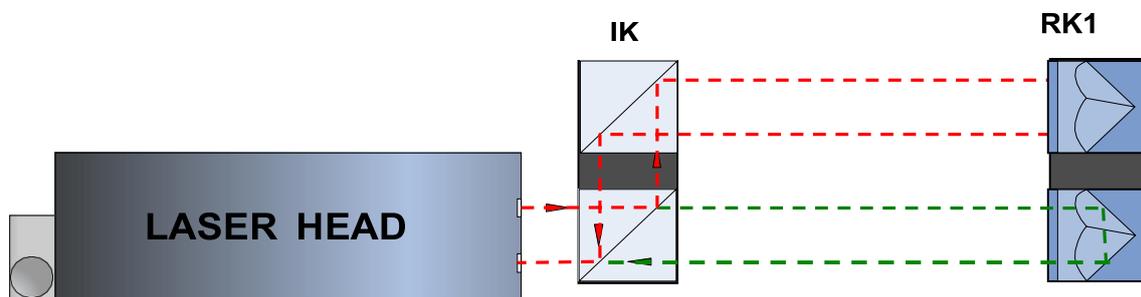


FIG.13.5 CONFIGURACIÓN DEL CAMINO ÓPTICO PARA MEDICIONES DINÁMICAS ANGULARES

Las mediciones de rectitud angular se pueden realizar no sólo a lo largo del rayo láser (como se muestra en las figuras 13.5 y 13.6) sino también en direcciones perpendiculares al rayo. Estas configuraciones se muestran en las figuras 13.7 y 13.8. En esas dos configuraciones sólo se puede mover el Retroreflector RK1.

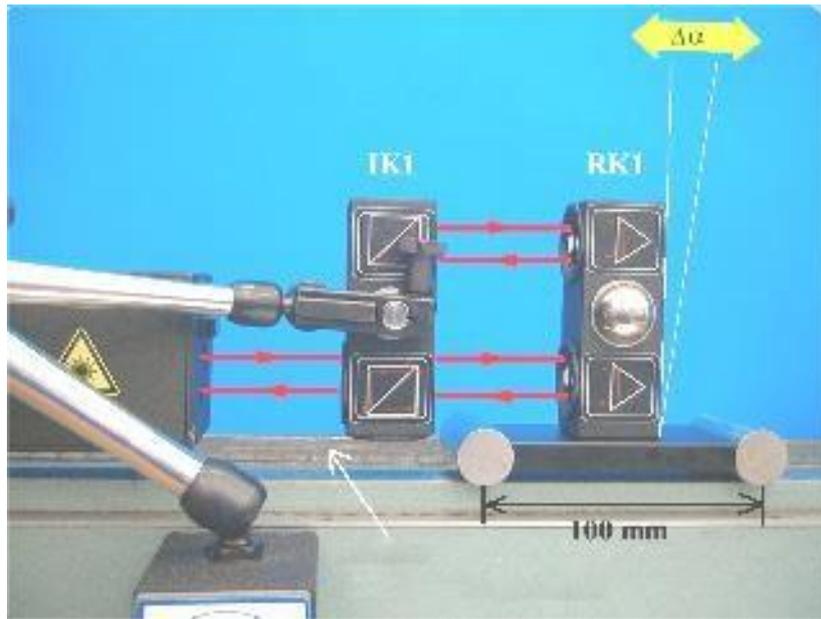


FIG.13.6. CONFIGURACIÓN DE CAMINO ÓPTICO PARA MEDIDAS DINÁMICAS ANGULARES EN EL EJE X

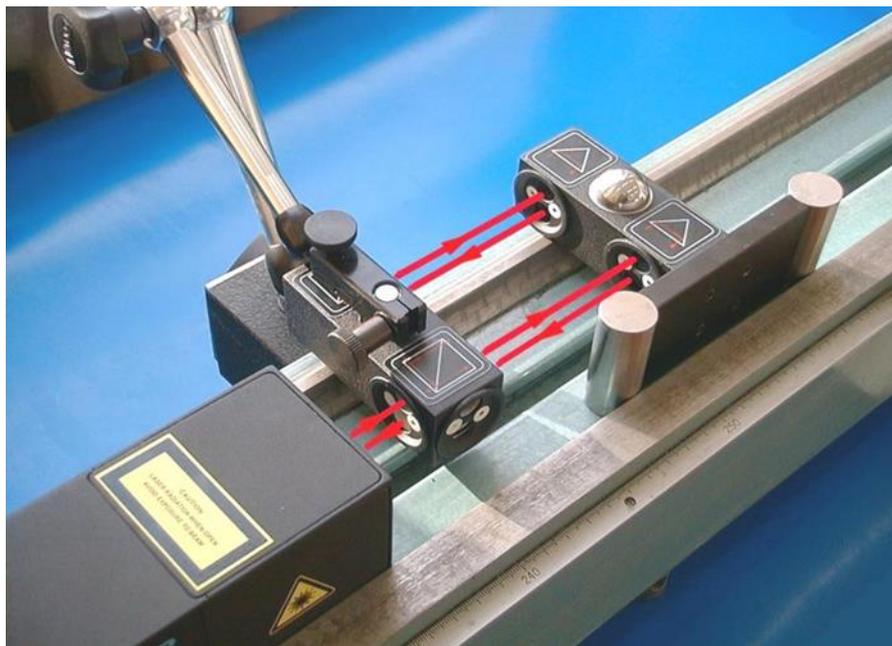


FIG.13.7. CONFIGURACIÓN DE CAMINO ÓPTICO PARA MEDIDAS DINÁMICAS ANGULARES EN EL EJE Y

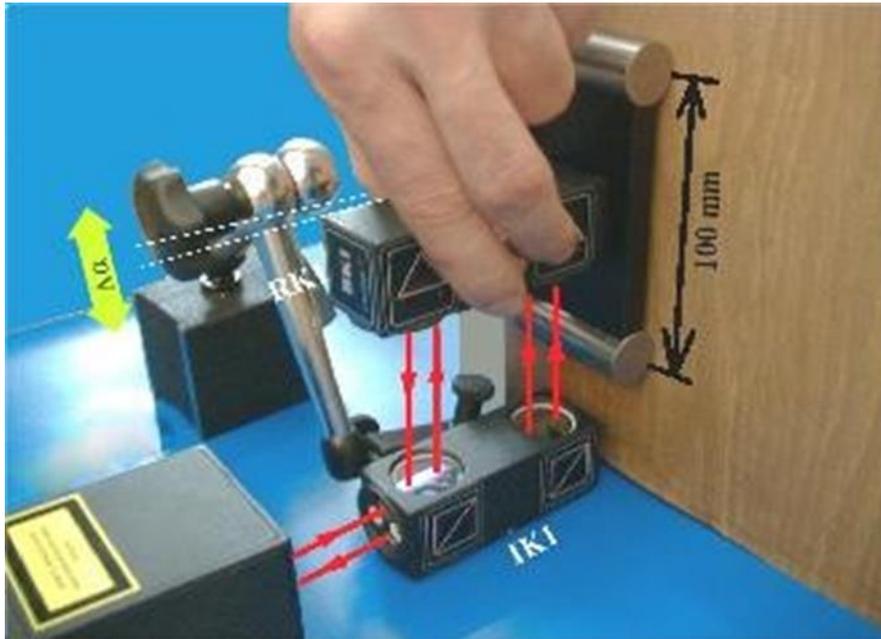


FIG.13.8. CONFIGURACIÓN DE CAMINO ÓPTICO PARA MEDIDAS DINÁMICAS ANGULARES EN EL EJE Z

c. Mediciones dinámicas de rectitud (Wollaston)

Para mediciones dinámicas de rectitud, se debe utilizar la óptica Wollaston. Los componentes necesarios son:

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Prisma de Wollaston **WP2**
- Retroreflector Wollaston **WRP2**

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Luz estroboscópica manual
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode
- Sensor de temperatura del aire
- Sensor de temperatura base

Las mediciones de rectitud dinámica requieren que los elementos ópticos WP2 y WRP2 estén alineados a lo largo del rayo láser, como se muestra en la figura 13.9. Cada uno de los elementos se puede mover.

Durante las mediciones dinámicas de rectitud, se recomienda el uso del sensor de temperatura del aire. No es necesario utilizar sensores de temperatura base.

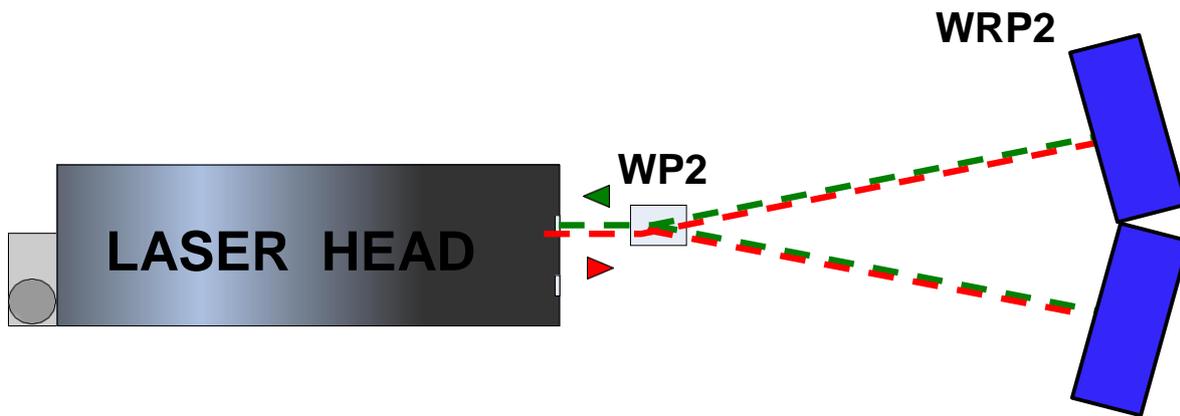


FIG.13.9. CONFIGURACIÓN DE RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DINÁMICAS DE RECTITUD

13

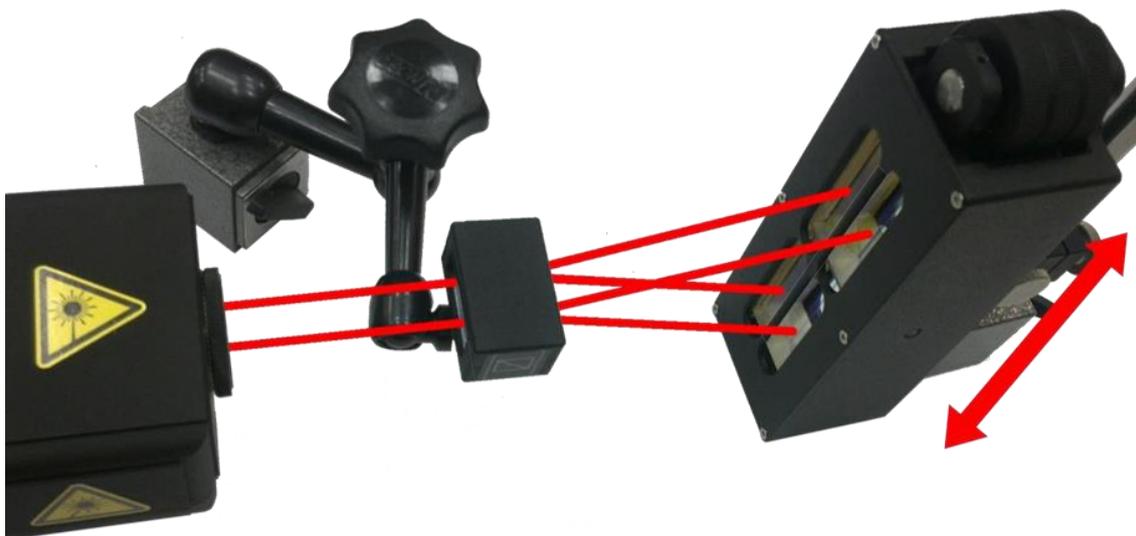


FIG.13.10. CONFIGURACIÓN DE CAMINO ÓPTICO PARA MEDIDAS DINÁMICAS DE RECTITUD EN EL EJE X

Las mediciones de rectitud dinámica se pueden realizar en dos configuraciones: X horizontal (figura 13.10) o Z vertical (figura 13.11). En la configuración X sólo se mide la rectitud de trayectoria en el eje X. La misma situación es con la configuración Z.



FIG.13.11. CONFIGURACIÓN DE RUTA ÓPTICA PARA MEDIDAS DINÁMICAS DE RECTURA EN EL EJE Z

13

13.3 Descripción del Software

Todos los tipos de medidas dinámicas se realizan en la opción **Dynamic**, elegida en el Menú principal. La ventana del programa HPI-3D se ve como se muestra en la Fig. 13.12. La ventana consta de cuatro partes principales:

- Pantalla: presenta el nivel de la señal de medición y el porcentaje de muestras recogidas;
- Las gráficas principales: presentan datos recopilados de distancia, velocidad, aceleración, ángulo o rectitud (Wollaston);
- Panel de configuración (panel derecho);
- Panel con botones (panel inferior).

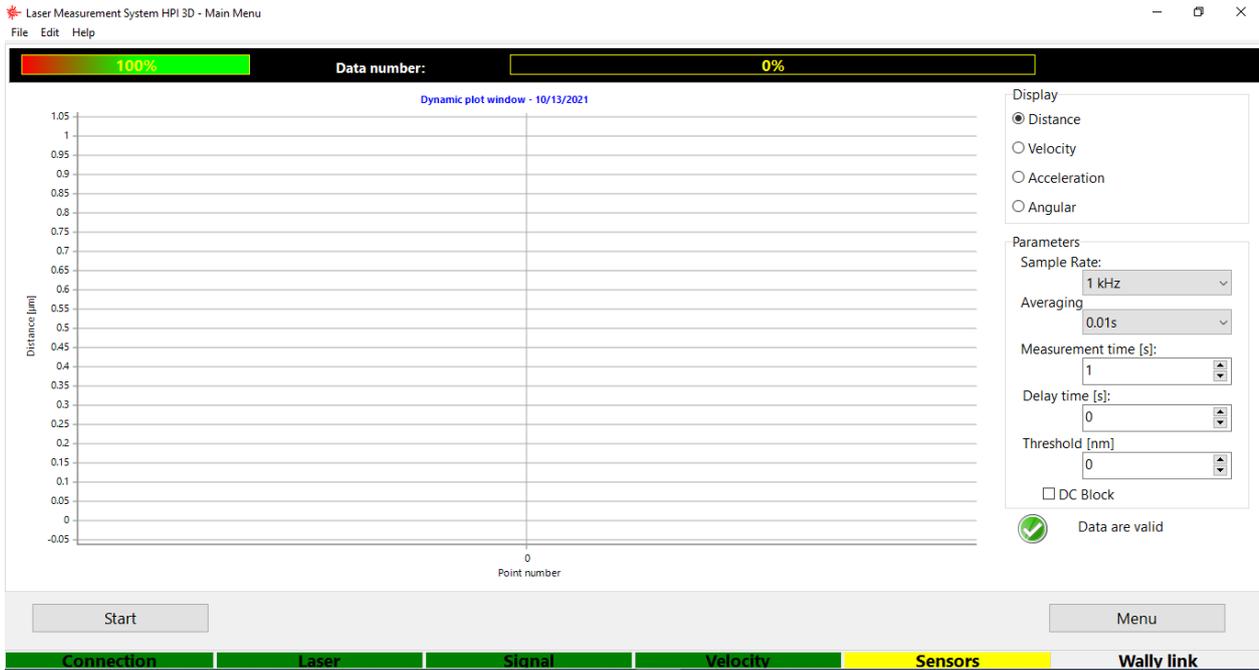


FIG.13.12. VENTANA DE MEDICIÓN DINÁMICA

Antes de iniciar la medición, las opciones en el panel deben configurarse de acuerdo con los requisitos actuales. **Averaging** tiene cuatro opciones disponibles que limitan la frecuencia máxima del movimiento medido a: 50 kHz en 0 s, 50 Hz en 0,1 s y 5 Hz en 1 s y 0,5 Hz en modo 10 s. El botón **Sample Rate** se utiliza para establecer la frecuencia de captura. El valor máximo sobre la conexión USB es de 100 kHz y 1 kHz la conexión Bluetooth. Para ambos tipos de conexión, el valor mínimo de frecuencia de muestreo es de 50 Hz. Si, por alguna razón, se necesita una frecuencia de exploración más lenta, entonces las mediciones deben realizarse en la opción *Velocity*.

Measurement time se utiliza para configurar el tiempo total de medición en segundos. La opción **Delay time** define el tiempo que transcurrirá entre la pulsación del botón Start y el inicio real de las mediciones. El cuadro **Threshold** permite establecer el valor mínimo de movimiento en unidades de nm que disparará las mediciones. Tanto el tiempo de umbral **Threshold** como el de retardo **Delay time** se pueden usar simultáneamente: si el valor de

movimiento registrado supera el valor establecido por el umbral, el contador de tiempo de retardo comienza a contar hasta 0. Sólo cuando el contador termina de disminuir, se inicia la adquisición.

La elección de la opción **DC Block** hace que se encienda el filtro digital de paso alto en la trayectoria. Esta opción se puede utilizar, por ejemplo, para eliminar los efectos de expansión térmica de la medición.

La medición se inicia con el botón **Start**. Durante las mediciones, los datos se registran en el búfer. Se muestran después de finalizar la medición (es decir, después de que transcurra el tiempo de medición **Measurement time**) o después de que el usuario interrumpa las mediciones (con el botón **Stop**).

Cuando se completan tanto la medición como la transmisión, los resultados de la medición se presentan en el diagrama de tiempo (fig. 13.15). Los resultados se pueden guardar, imprimir o exportar (menú *File*). Con el uso de botones de radio se puede elegir el tipo de datos de entrada: Distancia, Velocidad o Aceleración, Ángulo o Rectitud (Wollaston).

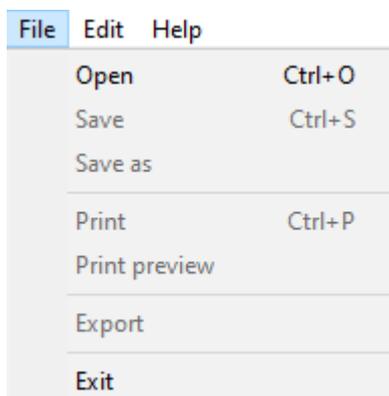


FIG.13.13. MENÚ DESPLEGABLE DE RECTITU *FILE*

Antes de guardar el archivo, el programa pregunta si se modifican los datos de la máquina (opción disponible en el menú desplegable *Edit->Machine data*), como el tipo de máquina, el número de serie de la máquina, el eje medido o el operador (ver figura 13.14). Esos valores permiten describir la medición realizada para su posterior análisis y también están presentes en el informe impreso.

El informe de medición también se puede generar a partir de los datos obtenidos, ya sea presionando *Print* o *Preview* en la ventana de análisis de medición (fig. 13.15). El informe se puede generar en la forma básica donde

sólo se muestra el gráfico de los valores medidos o en la versión extendida, version, que contiene tablas con los datos medidos.

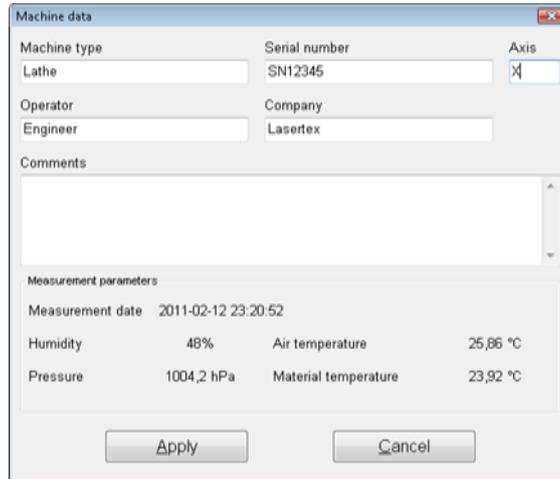


FIG.13.14. VENTANA DE DATOS DE LA MÁQUINA

También es posible copiar el gráfico de rectitud en el portapapeles y luego pegarlo, por ejemplo, en un documento del editor de Word. El comando **Copy to clipboard** está disponible en el menú emergente que aparece después de hacer clic con el botón derecho en el área del gráfico.

13

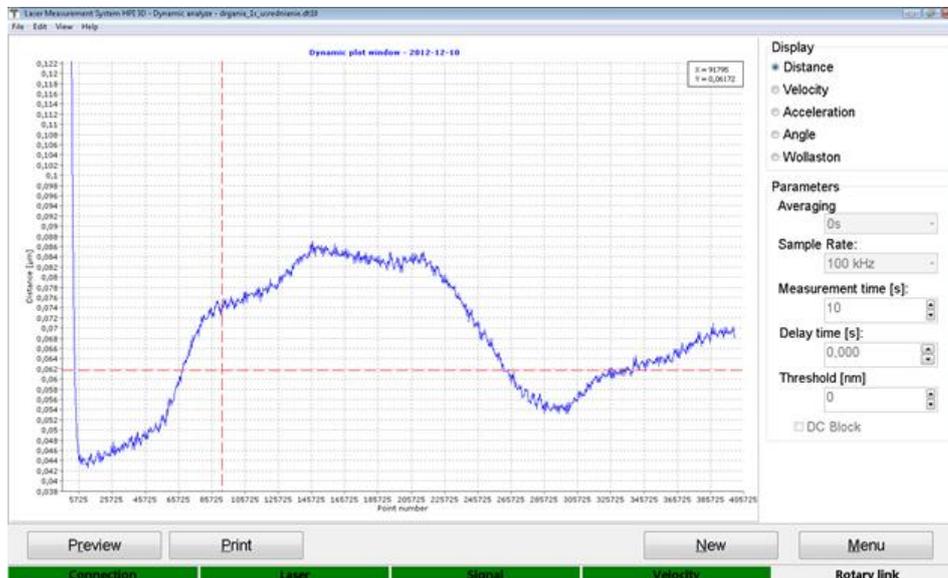


FIG.13.15. VENTANA DE ANÁLISIS DE DATOS DINÁMICOS

13.4 Procedimiento de medición

1. Configure el láser en la máquina medida y alinee la trayectoria óptica,
2. Inicie el software HPI-3D y seleccione la opción Dynamic,
3. Configure la medición dinámica,
4. Presione el botón *Start* y haga funcionar la máquina,
5. Espere el final de las mediciones o presione el botón *Stop*.
6. Guarde los resultados y/o imprima el informe de medición.

14. MEDICIONES – POSICIONAMIENTO ANGULAR

14.1 Descripción General

Las medidas de posicionamiento angular se realizan con el uso de un codificador rotatorio (**Wally**). Esta medición se utiliza, por ejemplo, para caracterizar la calidad de movimiento de ejes giratorios o para medidas muy precisas de un ángulo de rotación. El sistema mide la precisión del posicionamiento angular, la repetibilidad y la holgura comparando la posición a la que se mueve la máquina (es decir, la posición que se muestra en la lectura de la máquina) con la posición real medida por el interferómetro láser.

El sistema de medición láser HPI-3D junto con el codificador rotatorio es capaz de medir cualquier ángulo de rotación con una precisión de hasta 1 arcosegundo. El Sistema permite medir el ángulo en diferentes unidades. Los parámetros de la medida se pueden configurar en la opción *Configuration->Rotary Encoder*.

El Sistema Rotativo **Wally** se conecta al PC de forma inalámbrica. Las mediciones se pueden realizar cuando el codificador está montado exactamente en el centro de rotación del eje medido (configuración en el eje *in-axis*) o fuera del centro de rotación (configuración fuera del *eje off-axis*).

14.2 Configuración de medición

Para las mediciones de posicionamiento angular se debe utilizar la óptica

angular junto con un codificador rotatorio. Los componentes necesarios son (ver también figura 14.1):

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Interferómetro angular **IK1**
- Sensor de temperatura del aire (sensor TH)
- Sistema rotativo **RE1** con RK1 integrado

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico estroboscópica
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode
- Sensor de temperatura base

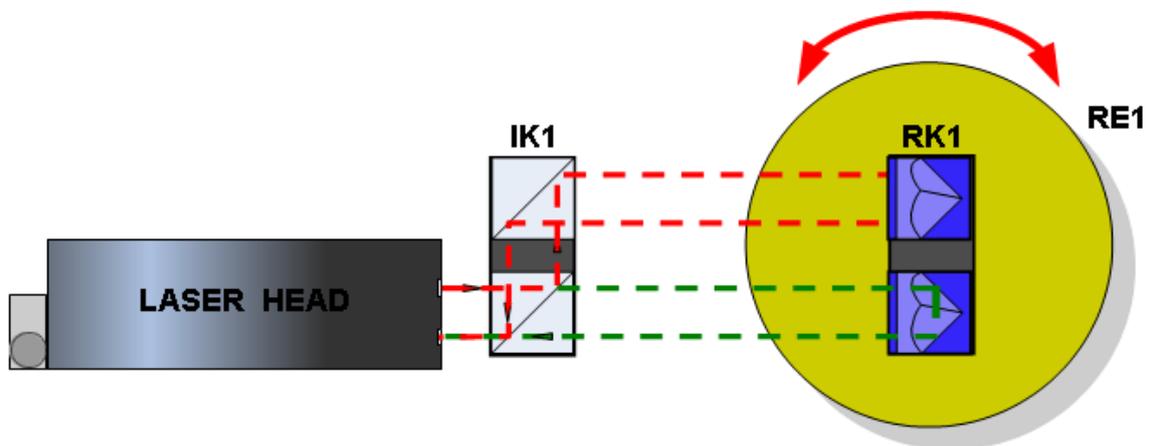


FIG.14.1. CONFIGURACIÓN DE RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES GIRATORIAS EN EL EJE



FIG.14.2. CONFIGURACIÓN DE RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DE POSICIONAMIENTO ANGULAR

Las mediciones de posicionamiento angular requieren el uso del codificador rotatorio **RE1** junto con los elementos ópticos IK1 y RK1. El codificador rotatorio debe montarse con precisión en el centro de rotación del eje medido. Con el Codificador Rotatorio se integra el Retro-reflector Angular RK1. Fuera del Codificador Rotatorio se colocan el Cabezal Láser y el Interferómetro Angular IK1 como se muestra en las figuras 14.1 y 14.2.

a. Características de Wally – Sistema de medición rotatorio

El sistema de medición rotatorio **Wally** es un dispositivo independiente destinado a la medición precisa de la rotación. Cualquier

ángulo de rotación se puede medir con una precisión inferior a 1 arcosegundo. El dispositivo funciona con batería y se conecta a un PC a través de interfaz Bluetooth. La batería de iones de litio de alta capacidad permite un funcionamiento de 24 horas con una carga rápida que dura menos de 2 horas. La batería no es reemplazable. La fuente de alimentación del **Wally** es idéntica e intercambiable con la fuente de alimentación del cabezal láser *HPI-3D*.

Aunque es posible usar **Wally** en una configuración independiente, se recomienda operarlo junto con el *HPI-3D*. Las principales ventajas del funcionamiento combinado láser/codificador son:

- Independencia de la precisión de la medida en un montaje imperfecto en la máquina,
- medición del ángulo contra el rayo láser, es decir, mucha mayor flexibilidad de la configuración,
- funcionamiento totalmente automático con generación de informes de medición de archivos de compensación de la máquina.

El sistema de medición rotatorio se entrega en un maletín separado que consta de:

- Unidad rotativa,
- Anillo de montaje,
- Kit de montaje para fresadoras,
- Kit de montaje para tornos,
- Unidad de fuente de alimentación,
- Tornillos necesarios.

En un juego separado se entrega un montaje especial para medición fuera del eje, como se muestra en la Figura 14.5, elemento 3.

Antes de realizar las mediciones, es necesario montar todo el kit en

función de la configuración mecánica. En las figuras 14.3 y 14.4 se muestran los elementos necesarios para fresadoras (mesas giratorias) y para tornos. Los anillos ensamblados no tienen que desmontarse si no es necesario.

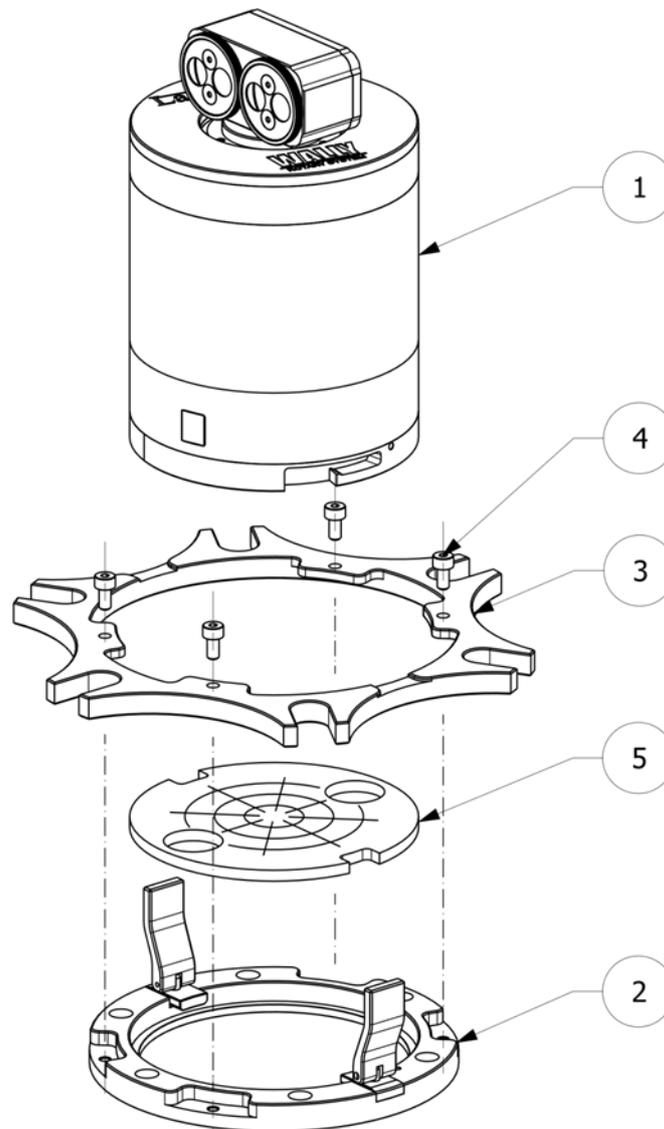


FIG.14.3. CONFIGURACIÓN DE MEDIDAS DE WALLY PARA MÁQUINAS DE FRESADO. 1 - UNIDAD CENTRAL, 2 - ANILLO DE MONTAJE, 3 - ANILLO PARA MESA GIRATORIA, 4 - TORNILLOS M4X8, 5 - HERRAMIENTA TEMPORAL PARA ENCONTRAR EL CENTRO DE LA MESA

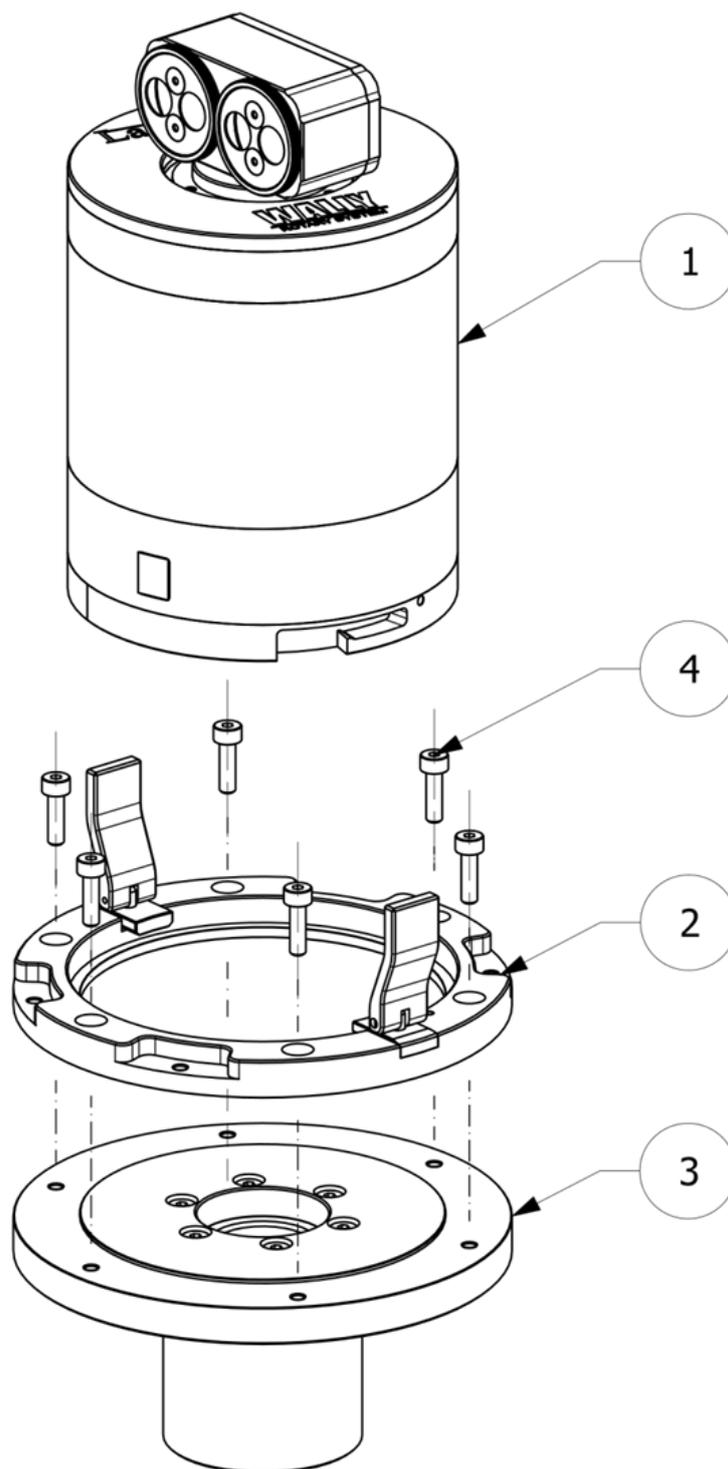


FIG.14.4. CONFIGURACIÓN DE WALLY PARA MEDIDAS DE TORNOS. 1 - UNIDAD CENTRAL, 2 - ANILLO DE MONTAJE, 3 - ANILLO PARA TORNOS, 4 - TORNILLOS M4X12

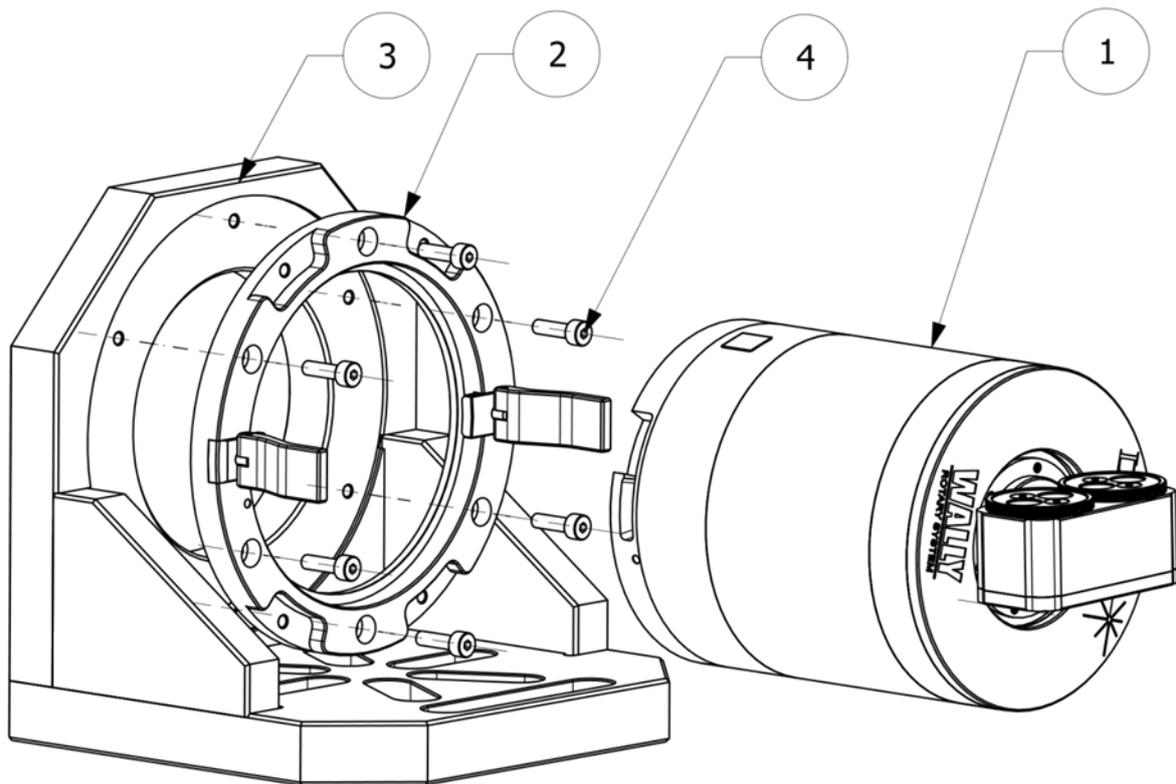


FIG.14.5. CONFIGURACIÓN DE WALLY PARA MEDIDAS FUERA DE EJE. 1 - UNIDAD CENTRAL, 2 - ANILLO DE MONTAJE, 3 - CONJUNTO MECÁNICO PARA MEDICIÓN FUERA DE EJE, 4 - TORNILLOS M4X12

b. Teoría de operación

Las mediciones de Posicionamiento Angular se realizan con el uso de dos instrumentos de medición que trabajan juntos: el Sistema de Medición Rotatorio - **Wally** y el Cabezal Láser.

El valor aproximado del ángulo viene dado por el codificador rotatorio **RE1**.

El cabezal láser tiene dos funciones durante las mediciones: controla y conduce todo el proceso y al mismo tiempo mide el valor exacto del ángulo en el rango de +/-10 grados con una resolución de 0.01". Las mediciones se

realizan con el uso de óptica angular - IK1 y RK1 y soportes mecánicos.

El cabezal láser y el codificador rotatorio se comunican con el PC a través de la interfaz Bluetooth. El láser también se puede conectar a través del puerto USB. La presencia del codificador encendido se detecta después de la conexión y se señala con el color amarillo en el campo **Rotary link** en la barra de estado.

Las mediciones rotativas adecuadas sólo son posibles si el láser establece un enlace de medición con el codificador. Durante el procedimiento de establecimiento del enlace, se prueban la calidad del enlace inalámbrico y la intensidad de la señal óptica. El láser intenta hacer que la mesa gire -5 grados, luego +10 grados y luego -5 grados. Si todas las pruebas son exitosas, entonces se establece el enlace con el codificador (el campo de **Rotary link** en la barra de estado cambia a verde) y las mediciones son posibles.

El procedimiento de configuración del enlace rotatorio requiere que se alinee la ruta óptica.

El *enlace rotatorio* se puede configurar presionando el campo **Rotary link** en la barra de estado.

El *enlace rotatorio* se rompe automáticamente cuando se rompe la trayectoria óptica.



Durante las mediciones, el láser controla la rotación actual del elemento RK1. Si el ángulo medido está fuera del rango establecido internamente, el software HPI emite un comando inalámbrico para que el codificador gire en sentido contrario.

Preferiblemente, las mediciones deben realizarse con el montaje de la unidad central en el centro de rotación del eje, es decir, en la llamada configuración *in-axis*. Si dicha configuración mecánica no es posible, entonces la configuración fuera del eje *off-axis* debe usarse con o sin el montaje fuera del eje adicional (dependiendo de la configuración mecánica

del eje medido). En la Figura 14.6 se muestra una ilustración de la colocación de Wally en la máquina.

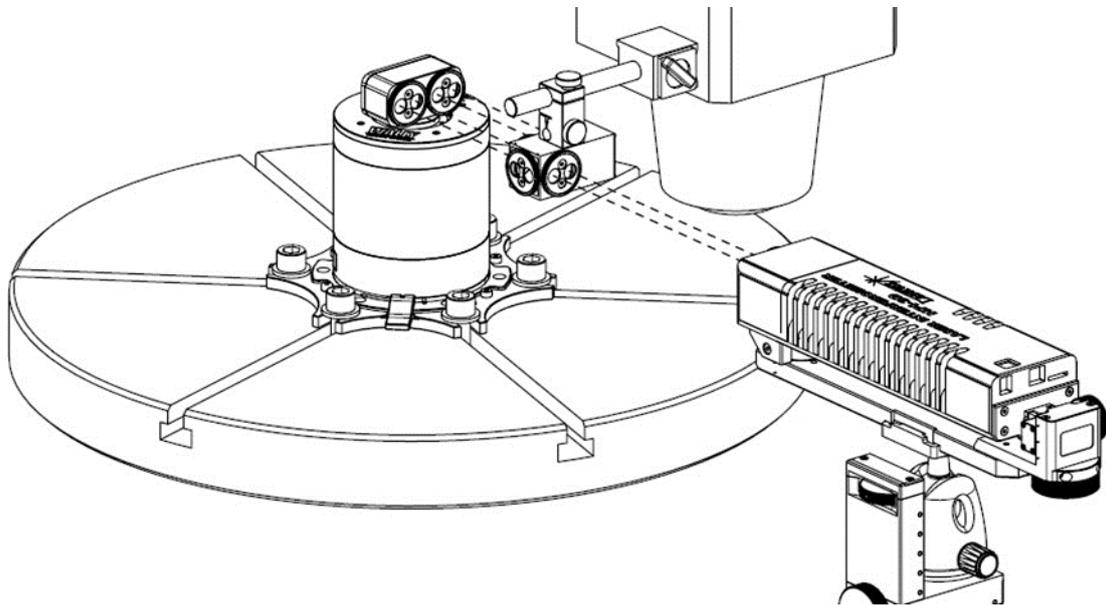


FIG.14.6. MONTAJE ADECUADO DEL SISTEMA ROTATIVO EN LA MÁQUINA

c. Mediciones rotatorias –preparaciones de hardware

Según los requisitos, Wally debe ensamblarse y montarse correctamente en las máquinas. Luego, el cabezal del láser HPI-3D debe alinearse con Wally (consulte la Figura 14.6). La alineación de la trayectoria se da en el Capítulo 4.10.

En el caso de mesas giratorias o fresadoras, se debe preparar la configuración que se muestra en la figura 14.7.

Primero, el anillo ensamblado debe instalarse en el centro de rotación del eje medido de la máquina. Para este propósito, se puede utilizar una herramienta especial; consulte el elemento 5 en la figura 14.3. Luego, la unidad central debe colocarse dentro del anillo, girarse en el sentido de las agujas del reloj y sujetarse con ambas alas.



Para obtener la máxima precisión, los puntos rojos del anillo y la unidad central deben estar cerca uno del otro.

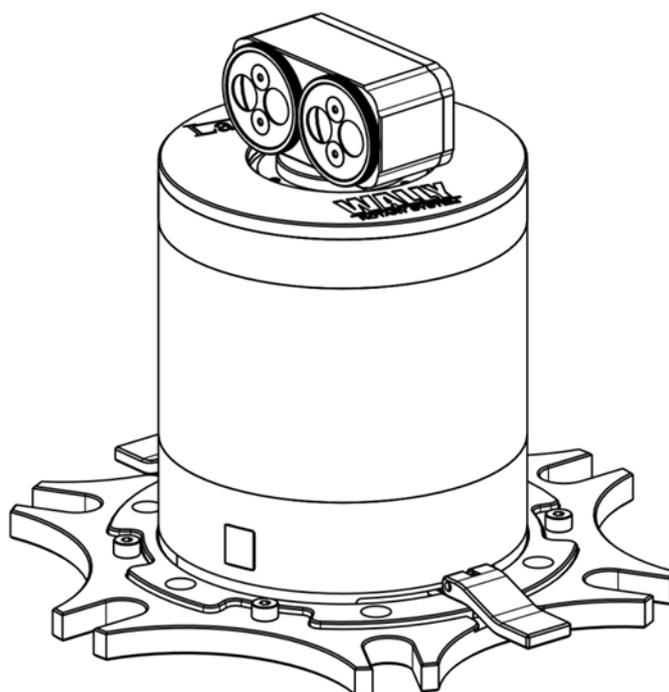


FIG.14.7. SISTEMA ROTATIVO MONTADO PARA MEDIDAS DE FRESADORAS

En el caso de una máquina de torneado, el anillo ensamblado debe instalarse en el husillo de la máquina. Luego, la unidad central debe colocarse dentro del anillo, girarse en el sentido de las agujas del reloj y sujetarse con ambas alas; consulte la figura 14.8A.

Para mediciones fuera del eje de rotación, es necesario un conjunto de ángulo recto de precisión (suministrado por separado). Los elementos de la configuración fuera del eje se muestran en la Figura 14.5 y el sistema ensamblado en la Figura 14.8B.

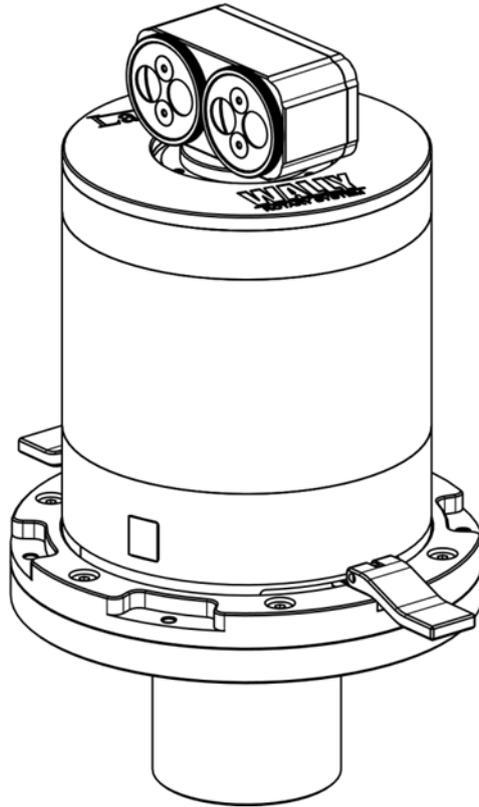


FIG.14.8A. SISTEMA ROTATIVO MONTADO PARA MEDIDAS CON MÁQUINAS DE TORNEADO

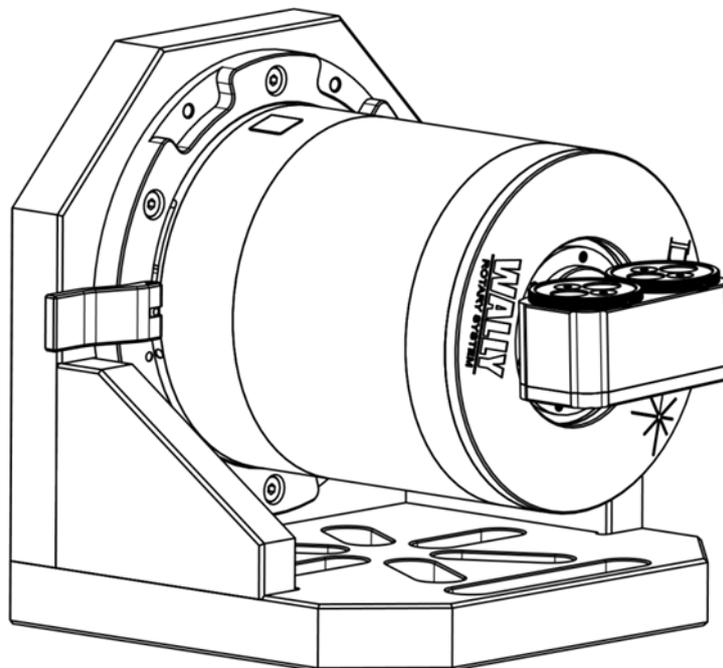


FIG.14.8B. SISTEMA ROTATIVO MONTADO PARA MEDICIONES FUERA DE EJE

d. Mediciones rotatorias – Carga de batería

La unidad central de Wally funciona con una batería interna de iones de litio de alta calidad. La batería es recargable y no reemplazable. Se puede cargar con la fuente de alimentación adjunta o con la fuente de alimentación del cabezal láser HPI-3D. El proceso de carga tarda alrededor de dos horas en completarse, pero 20 minutos de carga suelen ser suficientes para 8 horas de mediciones.

e. Mediciones rotatorias – eliminación de fuentes de error

Una de las principales ventajas de los sistemas de medición de ángulos basados en láser es su baja sensibilidad al montaje imperfecto de los componentes de medición. Todavía se requiere atención para el montaje adecuado en la máquina para reducir los errores a valores no medibles.

Las dos principales fuentes de error posibles son:

- montaje del codificador rotatorio fuera del eje de rotación,
- montaje del codificador rotatorio en ángulo con respecto al eje de rotación.

Montar el codificador con precisión dentro o fuera del centro de rotación no influye en la precisión de la medición siempre que la excentricidad sea inferior a 1 mm.

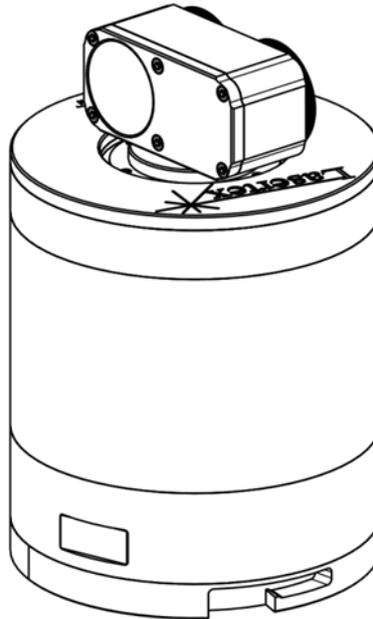


FIG.14.9. SISTEMA ROTATIVO CONVERTIDO EN LA POSICIÓN DE ALINEACIÓN

Una influencia no despreciable en la precisión tiene el montaje del láser y la unidad central en ángulo con respecto al eje de rotación. Para minimizar este problema se deben tomar ciertas precauciones:

- 1) Al insertar la unidad central en el anillo, los puntos rojos deben estar cerca uno del otro;
- 2) Al comienzo del procedimiento de alineación, antes de utilizar el elemento IK1, la unidad giratoria debe girarse a la posición de alineación (ver Fig. 14.9), es decir, con el espejo frente al láser. El cabezal láser debe alinearse (principalmente con montajes angulares) de tal manera que el haz reflejado en el espejo regrese al frente del cabezal láser. Esta operación obliga al rayo láser a ser perpendicular al eje de rotación.
- 3) En el siguiente paso, el rayo láser debe dirigirse a la entrada del cabezal láser y el software debe iniciarse mostrándose en *Display - > Adjustment*. La posición del rayo láser debe aparecer en medio del gráfico. Luego, el eje bajo medición debe girarse 90 grados con

el contador Wally girado en el mismo ángulo. Se debe marcar el cambio de posición del haz en el gráfico. La operación debe repetirse para 180 y 270 grados. Cuanto más bajas sean las variaciones de la posición del haz, mejor será la precisión de la medición del ángulo. Para radios de las mesas medidas de 0,5 a 3 m, se obtiene una buena precisión si las variaciones de la posición del haz están dentro de +/- 0,5 mm. Si las variaciones son mayores, se debe comprobar el montaje de Wally.

- 4) Sólo entonces se puede girar Wally a la posición de medición y se puede insertar **IK1** en la ruta óptica. La posición del cabezal láser debe cambiarse sólo en el plano horizontal o vertical (sin ajustes angulares).

14.3 Descripción de Software

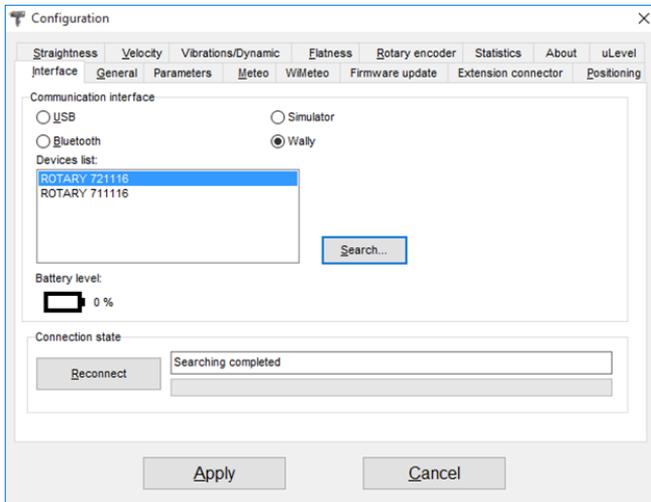
La opción descrita se puede utilizar para la medición de cualquier ángulo de rotación o para la medición del posicionamiento angular.

a. Conexión con Wally

Wally debe conectarse de forma inalámbrica al PC a través de interfaz Bluetooth 4.0 o superior. La conexión se realiza en la opción *Configuration->Interface* (ver figura 14.10). En el panel de la interfaz de comunicación, se debe presionar el botón **Wally** y luego **Search...** Después de un tiempo, las unidades giratorias compatibles aparecerán en la lista **Devices**. Ahora se debe elegir el dispositivo con el número de serie adecuado (se puede leer en el anillo de acero inferior de la unidad central) y se debe presionar el botón **Reconnect**. Después de un momento, los dispositivos deberían estar conectados y debería aparecer un valor en el nivel de la batería.

b. Medición del ángulo de rotación

Para iniciar las mediciones de *Rotación* en el Menú Principal, se debe presionar el botón **Display**. En la pantalla debe aparecer una ventana como se muestra en la fig. 14.11. La funcionalidad de la ventana es muy similar a la



descrita en el capítulo 3 con la diferencia de que se visualizan las opciones necesarias para las medidas rotatorias (ver figura 14.12). En la esquina superior izquierda de la ventana hay un indicador de **nivel de batería** de Wally.

FIG.14.10. CONEXIÓN AL SISTEMA GIRATORIO

Las opciones adicionales se vuelven visibles en la esquina inferior derecha de la ventana sólo después de que el Tipo de medición se establezca en Wally.

14

En la barra de estado en la parte inferior de la pantalla hay un segmento de enlace de Wally *Wally link*. Como se describe en el capítulo 3, este segmento tiene tres estados:

- gris – codificador rotatorio RE1 no presente o no detectado;
- amarillo - se detectó el codificador rotatorio RE1, pero no hubo enlace con el láser o el enlace se interrumpió;
- verde: codificador rotatorio RE1 correctamente conectado y vinculado.

Las mediciones sólo son posibles cuando el enlace con el codificador está configurado, es decir, cuando el segmento del enlace Wally *Wally link* es verde. Establecer el enlace requiere primero la alineación adecuada de IK1 y RK1. Sólo cuando los elementos estén alineados, se debe hacer doble clic en el segmento de enlace de Wally. Debe iniciarse el procedimiento de

configuración del enlace, como se describe en la sección *Theory of operation*. Cuando el procedimiento finaliza con éxito, el segmento de enlace de Wally se vuelve verde y las mediciones son posibles.



FIG.14.11. VENTANA DE VISUALIZACIÓN CUANDO EL CODIFICADOR GIRATORIO ESTÁ PRESENTE

Es posible configurar el enlace a la unidad giratoria presionando el botón

izquierdo del ratón en el segmento de enlace de Wally de la barra de estado. La ruptura del vínculo con la mesa giratoria se realiza automáticamente cuando se interrumpe la trayectoria del rayo láser.

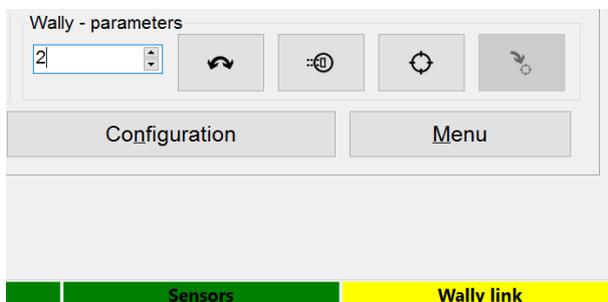


FIG.14.12. OPCIONES DE VENTANA DE VISUALIZACIÓN PARA CODIFICADOR ROTATIVO



Sólo cuando existe un enlace establecido entre Wally y el software HPI, el láser rastrea automáticamente la posición de Wally.

Los botones en el panel de *Wally - parameters* se utilizan como herramientas adicionales durante la operación con Wally. Los botones se describen a continuación. ¡Los botones son útiles sólo cuando no hay un enlace de Wally!



- después de presionar el botón, Wally gira según el valor establecido en el cuadro . El valor está en grados, p. 20,2 significa rotación de 20,2 grados o 20 grados y 12 minutos.



- después de presionar el botón  Wally busca automáticamente la mejor posición del elemento RK1 rotando el elemento y monitoreando la fuerza del haz de entrada.



- después de presionar el botón  se recuerda la posición actual de Wally. Después de, por ejemplo, el movimiento de la máquina, la posición se puede mantener presionando el botón .

c. Mediciones de posicionamiento angular

Para iniciar las mediciones de Posicionamiento Angular en el Menú Principal, se debe presionar el botón de Posicionamiento Angular ***Angular Positioning***. En la pantalla debe aparecer una ventana de Posicionamiento Angular como se muestra en la fig. 14.13.



FIG.14.13. VENTANA DE POSICIONAMIENTO ANGULAR

d. Menú desplegable - File

La barra de menú de esta ventana contiene las siguientes opciones: File, Edit, Measurement, View, and Help. En la opción *File* (figura 14.14) se pueden encontrar comandos para leer los datos medidos de un archivo, guardar los datos en un archivo, imprimir los resultados de las mediciones o exportarlos a un archivo.

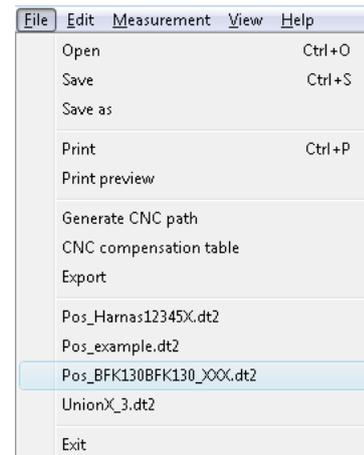


FIG.14.14. MENÚ DESPLEGABLE DE POSICIONAMIENTO FILE

Otras opciones importantes disponibles en el menú *File* son las opciones para generar la ruta CNC y preparar la tabla de compensación.

e. Generación de ruta CNC para mediciones en eje

Las opciones de **generación de rutas CNC** permiten la preparación automática, mediante el software HPI-3D, del programa G-code compatible con la mayoría de los sistemas de control CNC. Las opciones de generación de ruta se configuran en la ventana separada, como se muestra en la Figura 14.15 para mediciones en el eje *in-axis* y en la Figura 14.16 para mediciones fuera del eje *off-axis*.

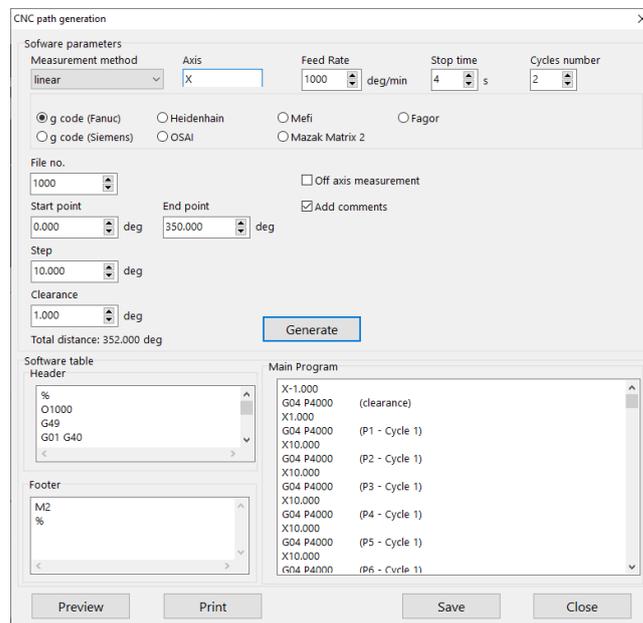


FIG.14.15. VENTANA DE GENERACIÓN DE TRAYECTORIA CNC PARA MEDICIONES EN EL EJE

En la parte superior de la ventana se configuran los parámetros de movimiento de la máquina. En la parte inferior se puede visualizar y editar el programa generado. Los resultados pueden guardarse en un archivo de texto o previsualizarse e imprimirse.

Los siguientes parámetros en *Software parameters* deben configurarse para generar el código adecuado:

- **Measurement method** - debe configurarse de acuerdo con el método de medición elegido (ver más abajo). Se debe elegir entre linear, pendulum, pilgrim effective and pilgrim standard;
- **Axis** – se debe elegir el eje de movimiento de la máquina medido (X, Y, Z, U, V, W, A, B, C).
- **Feed Rate** – se puede modificar el avance máximo de la máquina en

el eje elegido durante las mediciones. El valor elegido no puede ser mayor que las limitaciones de la máquina (ver manual de la máquina probada).

- **Stop Time** – el tiempo que la máquina se detiene en cada punto de medición. Este tiempo es necesario para que el software HPI capture el punto de medición. El valor adecuado de este parámetro depende de la máquina probada y de los parámetros de captura de puntos del láser *Point Capture* (descritos más adelante en este capítulo).
- **Step** – la distancia entre los puntos de medición.
- **Start point** – la posición inicial de la máquina en su propio sistema de coordenadas.
- **Clearance** – movimiento adicional de la máquina utilizado para compensar el backlash (holgura). El valor elegido debe ser lo suficientemente grande para la compensación adecuada de la holgura de la máquina.
- **Points number** – establece el número de puntos de medición.
- **Cycles number** – establece el número de ciclos de movimiento generados. Para el cálculo adecuado de los parámetros estadísticos en el Informe, el número de ciclos de medición no debe ser inferior a tres. Cuantos más ciclos de medida se elijan mejor caracterización de la máquina se hace, pero más tiempo dura el proceso de medida. El número de ciclos debe ser el mismo que el valor en *Configuration->Positioning->Cycles in series*.
- **g code/Heidenhain** – es posible generar el programa de código G estándar o una versión compatible con los controles de la máquina Heidenhain.
- **Off axis measurement** – abre los elementos utilizados para

generar la trayectoria de la máquina para mediciones fuera del eje; consulte la Figura 14.16. La opción está activa sólo después del desbloqueo del software; comuníquese con el distribuidor local para obtener más detalles. La generación de rutas para la medición fuera del eje se describe con más detalle en el próximo capítulo.

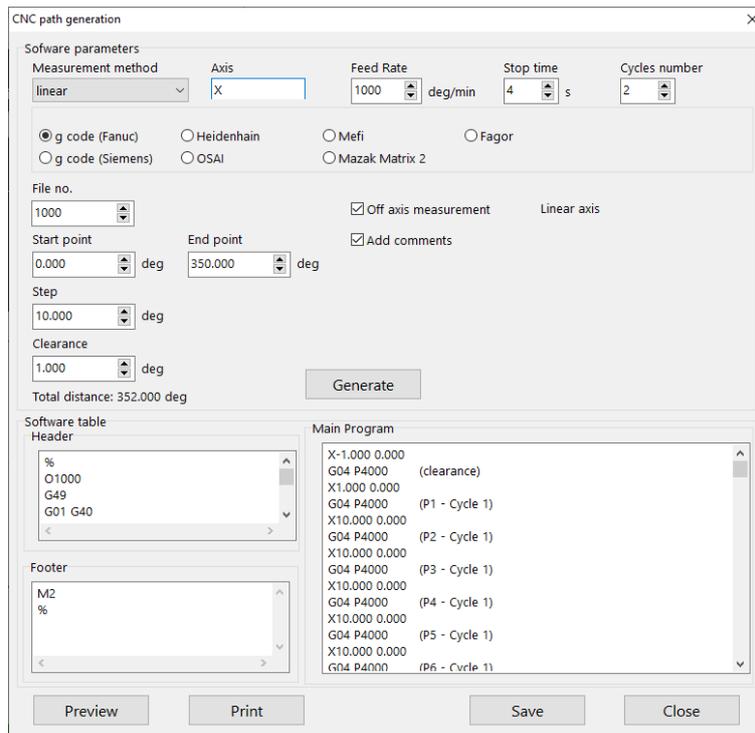


FIG.14.16. VENTANA DE GENERACIÓN DE TRAYECTORIA CNC PARA MEDICIONES FUERA DEL EJE

f. Generación de ruta CNC para mediciones fuera del eje

Las mediciones correctas fuera del eje no son posibles sin el movimiento adecuado de la máquina medida. Durante el movimiento de la máquina, la distancia entre los elementos ópticos IK1 y RK1 (montados en Wally) debe ser constante. Esto requiere durante la rotación de la mesa un movimiento instantáneo en dos ejes lineales: principal y auxiliar. La generación manual de dicha ruta es muy difícil, por lo que en el *software HPI* se incluye un tutorial paso a paso, que se explica a continuación.

- 0) **Phase 0** – Wally y el láser deben montarse en la máquina como se

describe en los párrafos anteriores.

- 1) **Phase 1** – El eje principal de la máquina (consulte la Figura 14.17) debe moverse para que la alineación del rayo láser pase cerca del centro de la tabla de ajuste (fig. 14.17). Con el movimiento del eje auxiliar se debe establecer una distancia entre el elemento IK1 y la unidad central. La precisión de esta distancia debe ser mejor que 10 cm y no tiene que mantenerse con mucha precisión. Una vez configurada

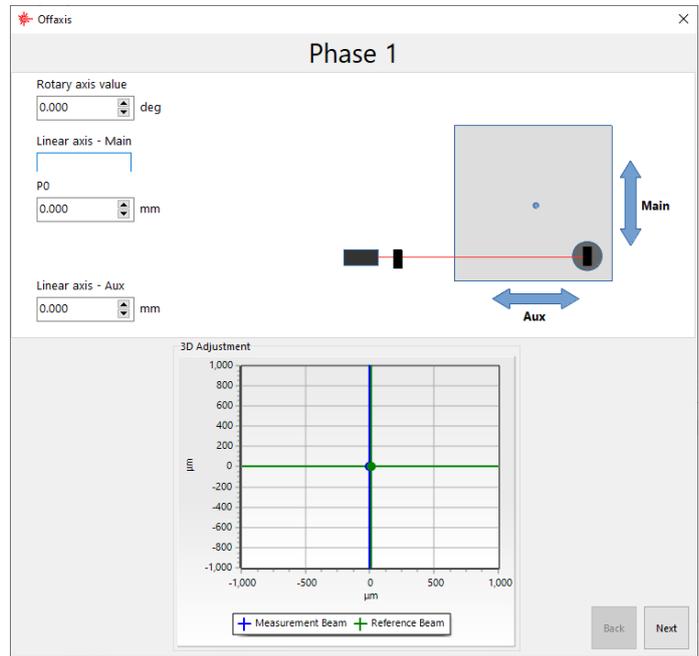


FIG.14.17. FASE 1 DE LA GENERACIÓN DE LA RUTA FUERA DEL EJE

la máquina, las marcas de los ejes principal y auxiliar se colocarán en la ventana del software, en los campos Eje lineal-Principal y Eje lineal-Aux, respectivamente. En el ejemplo de la figura 14.17 el eje Principal es el eje X, Aux es el eje Y. Los valores del sistema de coordenadas absolutas de la máquina también están escritos en el software en los campos *PO*.

- 2) **Phase 2** - la máquina debe girarse en el eje medido en +45 grados (figura 14.18)

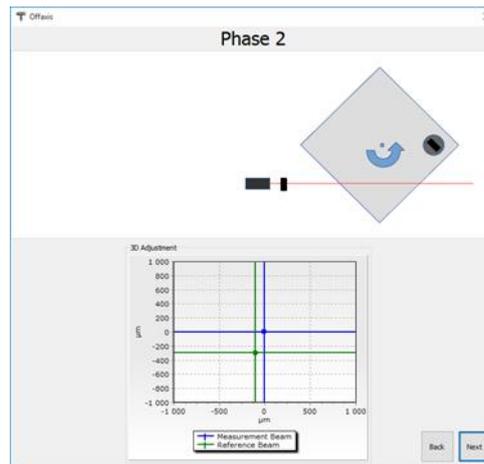


FIG.14.18. FASE 2 DE LA GENERACIÓN DE LA RUTA FUERA DEL EJE

- 3) **Phase 3** – Wally debe girarse en la misma dirección que la máquina. Como se muestra en la figura 14.19, en la Fase 3 se dispone de dos botones con flechas. Al presionar los botones, Wally gira en +45 o -45 grados predefinidos.

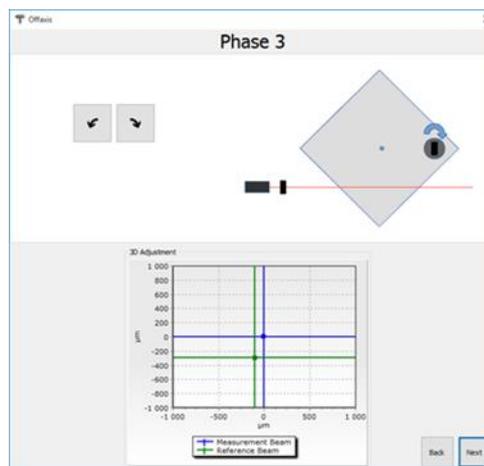


FIG.14.19. FASE 3 DE LA GENERACIÓN DE LA RUTA FUERA DEL EJE

- 4) **Phase 4** – La máquina debe moverse en el eje principal lineal hasta que las cruces regresen a la posición que tenían durante la Fase 1 (Figura 14.20).

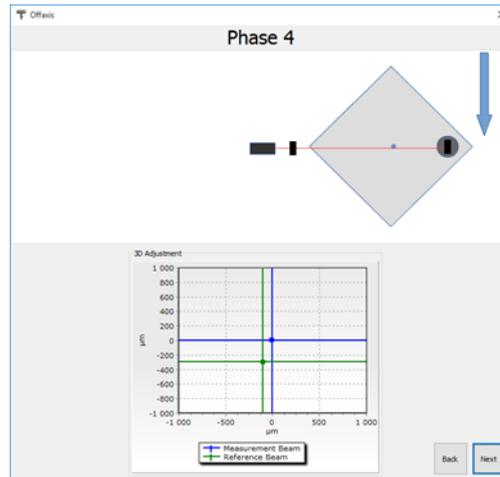


FIG.14.20. FASE 4 DE LA GENERACIÓN DE LA RUTA FUERA DEL EJE

- 5) *Phase 5* – La máquina debe moverse en el eje Aux lineal hasta que la distancia entre IK1 y RK1 sea similar al valor durante la Fase 1. La precisión requerida es **<10 cm**. Las posiciones absolutas de la máquina en los ejes principal y auxiliar deben escribirse en los campos *P0+45°* del software; figura 14.21.

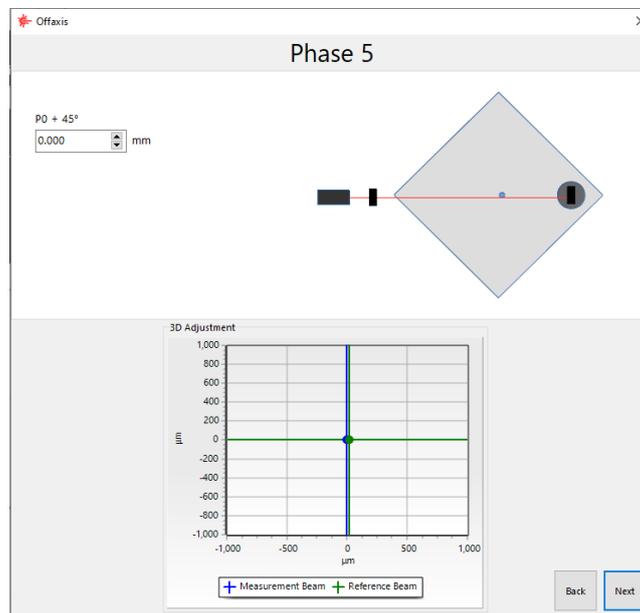


FIG.14.21. FASE 5 DE LA GENERACIÓN DE LA RUTA FUERA DEL EJE

- 6) *Phase 6* - la máquina debe girarse en el eje medido en -90 grados (figura 14.22)

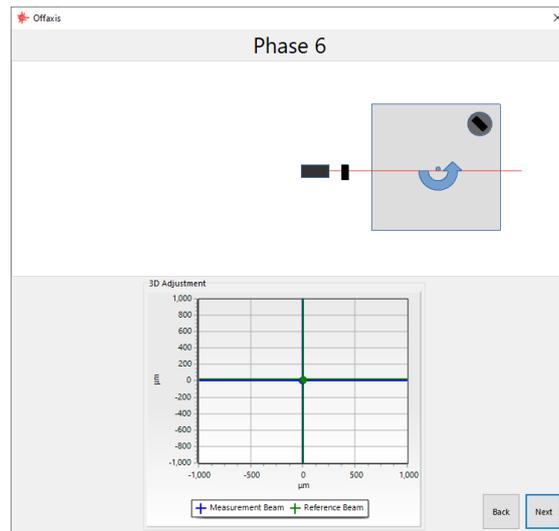


FIG.14.22. FASE 6 DE LA GENERACIÓN DE LA RUTA FUERA DEL EJE

- 7) *Phase 7* – Wally debe girarse en la misma dirección que la máquina, es decir, -90 grados; figura 14.23.

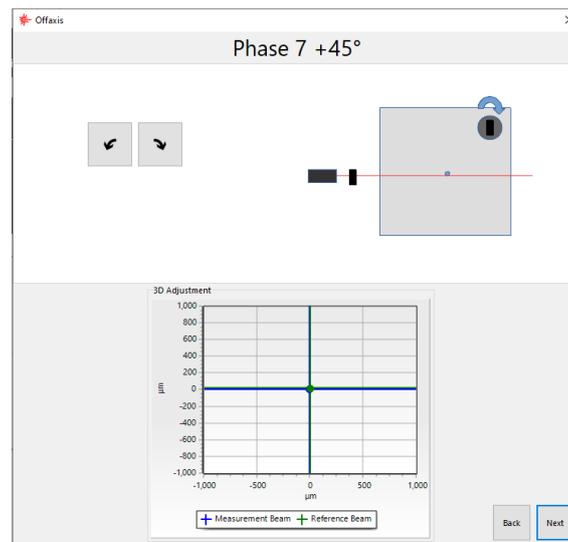


FIG.14.23. FASE 7 DE LA GENERACIÓN DE LA RUTA FUERA DEL EJE

- 8) *Phase 8* - La máquina debe moverse en el eje principal lineal hasta que las cruces regresen a la posición que tenían durante la Fase 1.

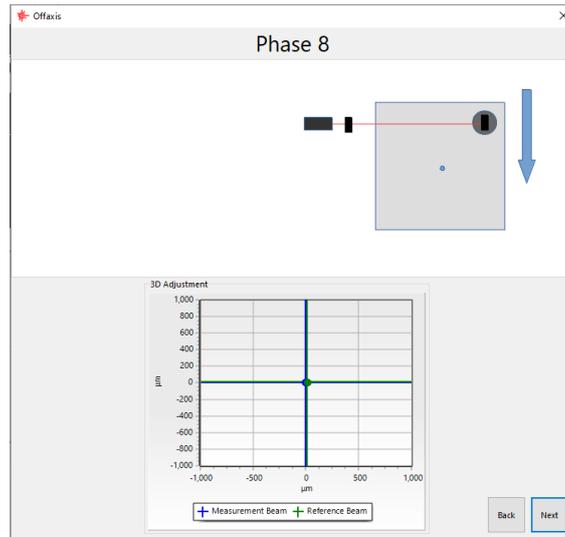


FIG.14.24. FASE 8 DE LA GENERACIÓN DE LA RUTA FUERA DEL EJE

- 9) **Phase 9** - La máquina debe moverse en el eje Aux lineal hasta que la distancia entre IK1 y RK1 sea similar al valor durante la Fase 1. La precisión requerida es **<10 cm**. Las posiciones absolutas de la máquina en los ejes principal y auxiliar deben escribirse en los campos **P0+45°** del software; figura 14.24.

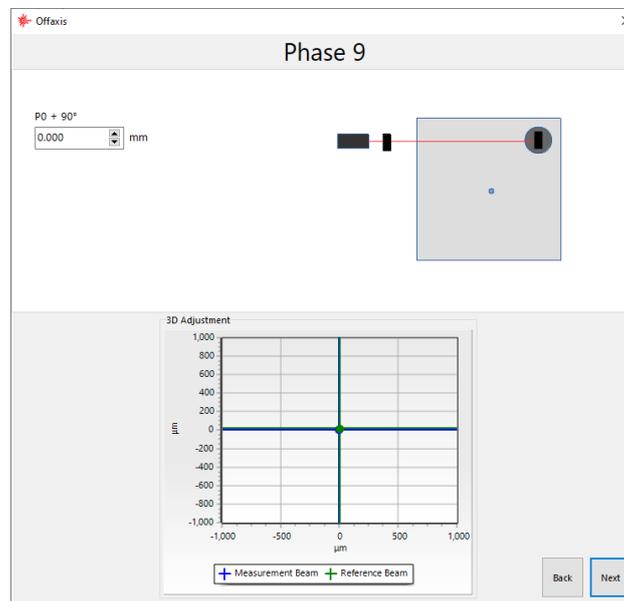


FIG.14.25. FASE 9 DE LA GENERACIÓN DE LA RUTA FUERA DEL EJE

- 10) **Phase 10** – La máquina debe girarse de nuevo a la posición de inicio.
 11) **Phase 11** – Wally debe ser girado de regreso a la posición inicial.
 12) **Phase 12** – La máquina debe volver a moverse en el eje principal lineal a la

posición de inicio.

- 13) **Phase 13** – La máquina debe volver a moverse en el eje Aux lineal a la posición de inicio.
- 14) **Summary** – después de las fases de movimiento, la máquina y Wally deben estar en la posición de inicio y el software debe mostrar la pantalla de resumen como se presenta en la Figura 14.26, con los datos recopilados. A partir de los datos generados se genera la ruta CNC.

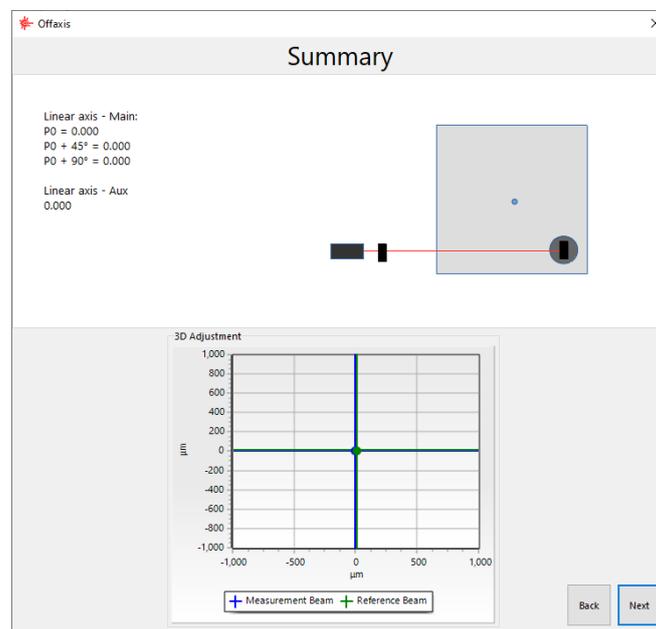


FIG.14.26. RESUMEN DE LA GENERACIÓN DE TRAYECTORIA FUERA DEL EJE

g. Menú desplegable - Edit

En la opción del menú desplegable **Edit** (fig. 14.26) hay comandos para configurar los datos medidos de la máquina (Fig. 14.27), definir los límites de error de la máquina (fig. 14.28), previsualizar los resultados de posicionamiento obtenidos, editar puntos

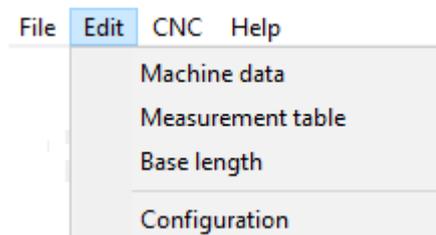


FIG.14.27. MENÚ DESPLEGABLE DE POSICIONAMIENTO *EDIT*

de posicionamiento (cuando está activa y se selecciona la opción **Target points from list** del menú **Measurement**) y cambiando la configuración de posicionamiento general.

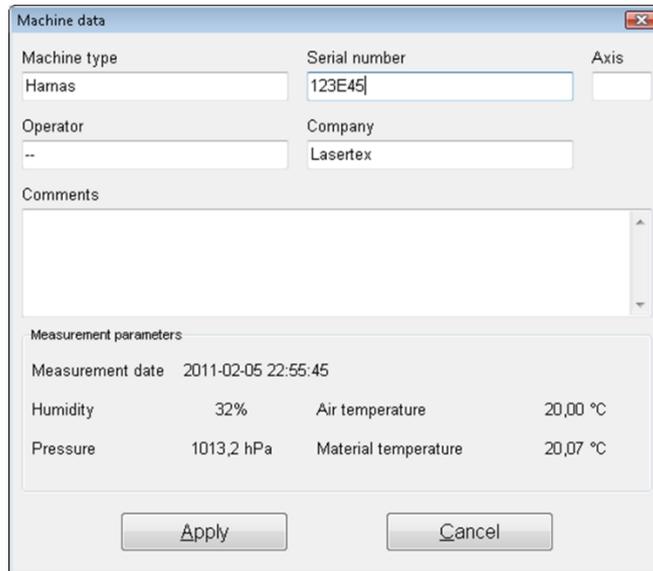


FIG.14.28. VENTANA DE DATOS DE LA MÁQUINA

h. Límites de error de la máquina

En la opción **Edit** se configuran los límites de error permisibles de la

máquina para diferentes normas (opción **Machine error limits** - Fig. 14.29). Los resultados de las mediciones de posicionamiento angular se comparan con estos límites. Esta opción es especialmente útil cuando se comprueban muchas máquinas del mismo tipo y se esperan los mismos

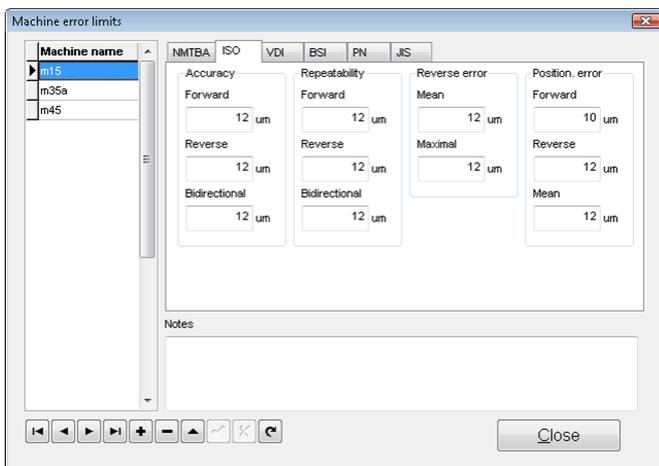


FIG.14.29. VENTANA DE LÍMITES DE ERROR DE LA MÁQUINA

requisitos sobre su precisión.

Results		
Norm		
ISO 230-2		
Machine		
m15		
Param.	Max.	Value
Accuracy:		
forward	[µm] 12,0	[µm] 3,1
reverse	12,0	3,2
overall A	12,0	6,7
Repeatability:		
forward R	[µm] 12,0	[µm] 2,5
reverse R	12,0	2,1
bidirectional R	12,0	6,3
Reverse error:		
mean	[µm] 12,0	[µm] 3,6
maximal	12,0	3,9
Position. deviation:		
forward E	[µm] 10,0	[µm] 2,0
reverse E	12,0	1,3
mean E	12,0	1,5

FIG.14.30. PANEL DE COMPARACIÓN DE LÍMITES DE ERROR DE MÁQUINA

i. Generación de puntos de posicionamiento

Si la opción **Target points from list** del menú **Measurement** está activa, el programa espera que la máquina medida se detenga en los puntos definidos en la ventana *Positioning points*, como se muestra en la figura 14.31. Los puntos se pueden ingresar manualmente o se pueden generar a partir de los parámetros de entrada: posición de inicio, distancia e intervalo o número de puntos. Los puntos se calculan cuando se presiona el botón *Calculate*. Los puntos obtenidos se pueden guardar en un archivo.

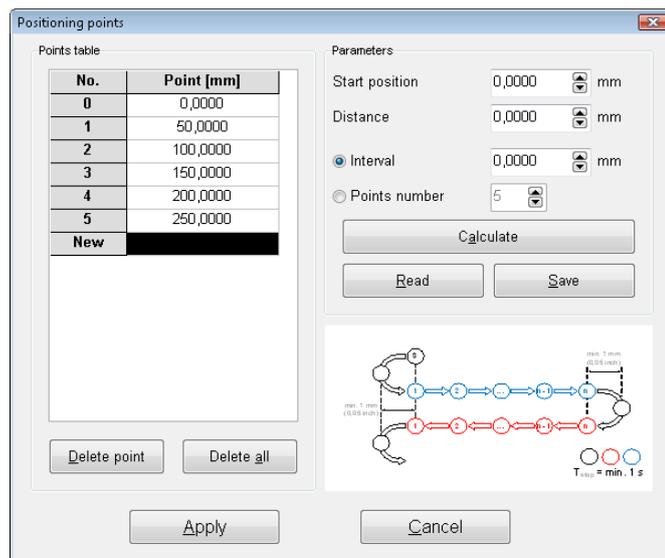


FIG.14.31. VENTANA DE GENERACIÓN DE PUNTOS DE POSICIONAMIENTO

j. Configuración de medición de Posicionamiento

En la pestaña **Measurement->Angular positioning** en la ventana **Configuration** se pueden configurar los parámetros más importantes de las medidas de posicionamiento angular (Fig. 14.32). Hay cuatro métodos disponibles para verificar el posicionamiento de la máquina: *Linear, Pendulum, Pilgrim standard and Pilgrim effective* (opciones en el panel **Measurement method**).

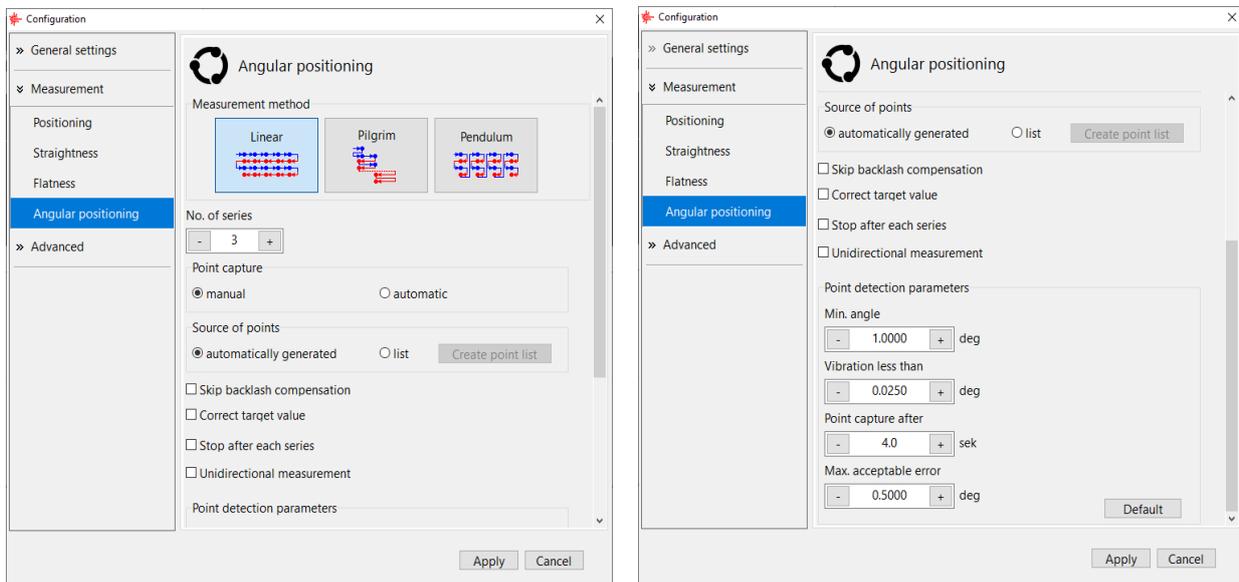


FIG.14.32. VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE POSICIONAMIENTO ANGULAR

Max Acceptable Error es una opción en la que se establece el nivel de error máximo aceptable. Por encima de este límite, el software genera una advertencia.

En el campo *Cycles in series* se configura el número de ciclos completos de medidas. Cuanto mayor número de ciclos se utiliza, mejor resultado se obtiene.

Las opciones **Point capture after** y **Vibrations** son válidas sólo cuando se elige la captura automática de puntos. Estas opciones se utilizan para configurar un tiempo de retardo requerido por la máquina para establecer la

posición con éxito y el nivel de vibración aceptable (el nivel de vibración depende principalmente de la máquina medida).

Min Points Interval configura la distancia mínima entre los puntos de posicionamiento.

k. Menú desplegable – Measurement

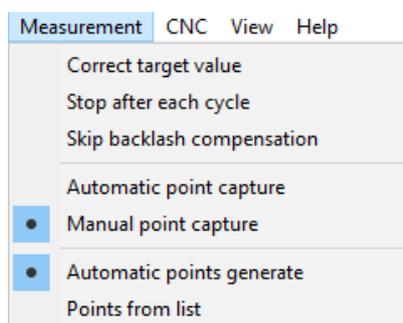


FIG.14.33. MENÚ DESPLEGABLE MEASUREMENT

El menú **Measurement** incluye las opciones relacionadas con el proceso de medición:

Stop after each cycle – si esta opción está activa, el programa interrumpe la medición cuando se completa un ciclo de medición; si no está activo se ejecuta el número de ciclos configurado.

Correct target value – establecer esta opción permite cambiar un valor de distancia definido anteriormente de un punto de medición durante el proceso de medición. Antes de capturar el punto, aparece una ventana en la que se puede escribir un nuevo valor de distancia. En el campo de edición solo hay lugares marcados después de la coma, lo que hace que no sea necesario escribir toda la distancia.

Automatic point capture – El programa captura puntos automáticamente usando los ajustes de *Configuration*. En este modo, el propio sistema reconoce el momento de la parada, el valor del punto de destino, la dirección del movimiento y el número de serie. Opción exclusiva con “Manual point capture”.

Manual point capture – los puntos medidos son capturados por el

programa cuando se presiona un botón de *captura manual*, la tecla espaciadora o un botón del disparador remoto. Opción exclusiva con “Automatic point capture”.

Automatic points generate – Los puntos de posicionamiento son calculados automáticamente por el programa. El cálculo de puntos se realiza en el primer ciclo de medición. Opción exclusiva con “Points from list”.

Points from list – cuando se selecciona esta opción en la pantalla aparece una ventana para la edición de puntos de posicionamiento. Esta ventana permite escribir o calcular valores de distancia para puntos de posicionamiento que se comparan con puntos medidos durante la medición de posicionamiento. Opción exclusiva con “Automatic points generate”.

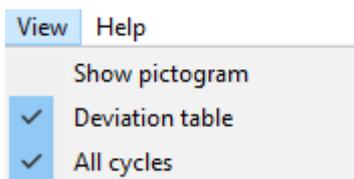


FIG.14.34. MENÚ DESPLEGABLE *VIEW*

El menú **View** se utiliza para activar o desactivar una tabla de desviación **Deviation table** y para activar el diagrama esquemático del método de medición seleccionado.

14.4 Procedimiento de medición

Si el sistema está listo para funcionar, aparecen en la pantalla dos pantallas digitales y el indicador del nivel de la señal de medición. En la pantalla superior se muestra el valor medido. En la pantalla inferior se muestra el valor de la posición del objetivo (leído de la tabla de puntos de datos o designado automáticamente). Debajo de las pantallas en el lado izquierdo se muestra un gráfico en el que se muestran los resultados de las mediciones. En el lado derecho se puede encontrar una tabla de errores. Debajo del gráfico se pueden encontrar tres botones: **Start**, comienza la

medición; **Reset Position**, restablece el valor medido; y el botón **Main Menu**, vuelve a ingresar al menú principal.

En la parte inferior de la ventana se encuentra una barra de estado que presenta una configuración de las medidas de posicionamiento. En el primer campo se coloca la información sobre el método de captura de puntos (manual o automático). El siguiente campo informa sobre el número de ciclos en serie (número de ciclos ejecutados uno tras otro, si no está activa la opción **Stop After Cycle**).

En el tercer campo se muestra la información sobre el método de medición seleccionado en **Configuration**. La medición del posicionamiento angular requiere posiciones objetivo que definan los puntos donde se calculan los errores de posicionamiento. Los puntos objetivo pueden definirse automáticamente durante el primer ciclo de la medición, o escribirse manualmente en la lista o calcularse (**Target Points From List**). Los puntos se detectan con una tolerancia de 1 grado en modo automático. En el caso del modo manual, la precisión también se define.

Durante la medición, los puntos se pueden capturar de forma automática o manual, como se describió anteriormente en este capítulo.

14

a. Reglas de medición de posicionamiento automático

Para el correcto funcionamiento de la opción de medición de posicionamiento automático, se deben seguir las siguientes reglas:

- 1) El tiempo de parada de la máquina en el punto de posicionamiento no debe ser inferior a 1 segundo, valor predeterminado (esto se puede cambiar en *Configuration->Positioning->Point detection->Point capture after*),
- 2) Las vibraciones del objetivo deben ser inferiores a 10 arcosegundos,

valor predeterminado (esto se puede cambiar en el *Configuration->Positioning->Point detection->Vibrations less than*),

- 3) El movimiento de compensación de backlash de la máquina debe exceder 1 arcmin.

Si las vibraciones son demasiado grandes y el sistema no captura puntos, se debe activar la opción *Manual Capture* en el menú **Measurement**.

b. Observaciones sobre mediciones y análisis y datos

El examen del posicionamiento angular de la máquina consta de al menos 2 ciclos de medición.



FIG.14.35. VENTANA DE POSICIONAMIENTO DESPUÉS DE FINALIZAR UN CICLO DE MEDICIÓN COMPLETO

En cada ciclo, la máquina medida gira el retroreflector para la distancia programada en el sentido de las agujas del reloj y en el sentido contrario a las agujas del reloj.

Después de cada rotación, la máquina debe detenerse por un tiempo breve (al menos un segundo).

El ángulo medido por el sistema láser se guarda en la tabla de resultados.

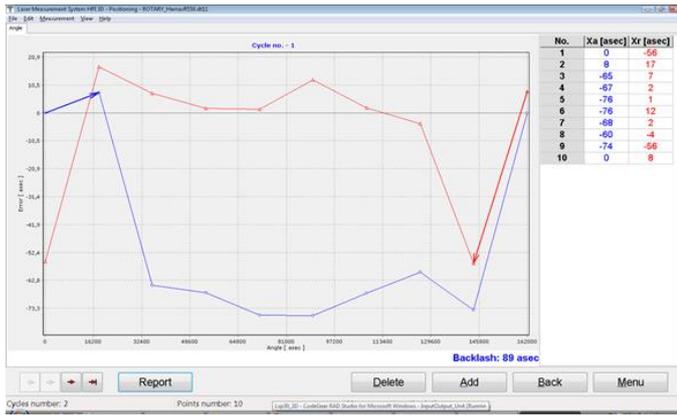


FIG.14.36. VENTANA DE NAVEGACIÓN DE DATOS

Después de un ciclo, si se configura **Stop after each cycle** o después de todo el proceso de medición, aparece la ventana con los resultados (figura 14.35).

Los botones **Remove** y **Add** se pueden usar para eliminar o agregar el ciclo de medición. Es

posible cambiar el ciclo de medición en el que es posible un error accidental.

El botón **Browse** abre la ventana de exploración de datos (figura 14.36) donde se puede ver y analizar cada ciclo de datos.

Tanto desde la ventana principal de posicionamiento como desde la ventana de exploración de datos se puede generar el *informe* de medición. Si se completan al menos dos series de ciclos de medición, se pueden realizar cálculos estadísticos y se puede generar el informe. Para obtener el informe final, se debe presionar el botón **Report**. La pantalla del PC después de presionar el botón **Report** se presenta en la fig. 14.37.

Los resultados de posicionamiento se presentan en el gráfico y en el panel **Results**. Este panel también se utiliza para configurar los parámetros de procesamiento de datos de medición. La norma define un método estadístico utilizado en los cálculos y se puede elegir de una lista desplegable. La selección de la norma provoca el recálculo de los resultados. Los valores límite para

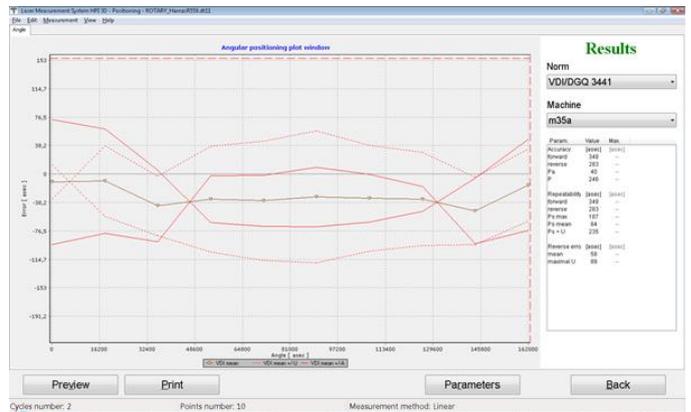


FIG.14.37. VENTANA DE INFORME DE POSICIONAMIENTO ANGULAR

los parámetros medidos de la máquina se presentan en este panel. Se asignan a la máquina eligiéndose de la lista desplegable **Machine**. Si el valor del error supera los límites de la máquina, este error se muestra en rojo.

Debajo del gráfico hay: botones utilizados para la vista previa del informe **Preview**, imprimir el informe **Print**, cambiar los parámetros del gráfico **Parameters** y volver a la ventana anterior.

La escala del eje se puede cambiar usando la opción **Axis Scale** (escala o asignación automática, valores mínimos y máximos) disponible al hacer clic con el botón derecho del ratón en el gráfico.

El informe se puede generar de forma simplificada o ampliada. La ventana de selección se muestra cada vez que se presionan los botones **Preview** o **Print**. La versión simplificada consta de tres páginas: la página del título, la página de resultados y la página del gráfico. El logo en la portada se puede cambiar en **Configuration**. En el Informe ampliado se agregan páginas adicionales con resultados de medición. El número de páginas adicionales depende del número de puntos de medición.

15. MEDICIONES - VELOCIDAD

15.1 General Description

Las mediciones de velocidad se realizan con el uso de óptica lineal. Esta medida se puede utilizar, por ejemplo, para la caracterización del movimiento de un motor. El Sistema permite medir la velocidad en diferentes unidades. Se puede configurar en *Configuration->Velocity*. El valor de la velocidad se muestrea cada 40ms.

15.2 Configuración de medición

Para las mediciones de velocidad se debe utilizar óptica lineal.

Los componentes necesarios son (ver también las figuras 15.1 a 15.4):

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Interferómetro lineal **IL1**
- Retrorreflector lineal **RL1**

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode
- Sensor de temperatura base
- Sensor de temperatura del aire

Las mediciones de velocidad requieren que los elementos ópticos IL1 y RL1 estén alineados a lo largo del rayo láser como se muestra en la figura 15.1. Cada uno de los elementos se puede mover.

Durante las mediciones de velocidad, se recomienda el uso del sensor de temperatura del aire. No es necesario utilizar sensores de temperatura base.

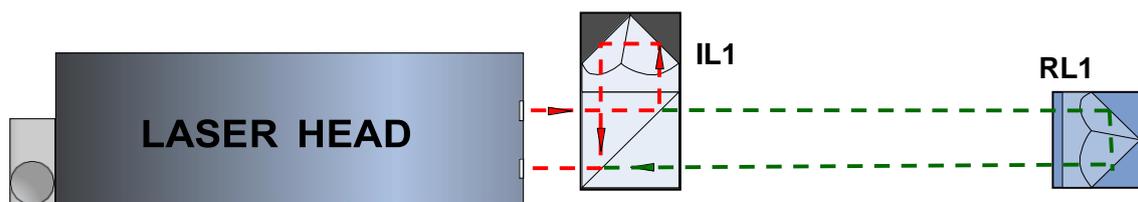


FIG.15.1 CONFIGURACIÓN DE CAMINO ÓPTICO PARA MEDICIONES DE VELOCIDAD

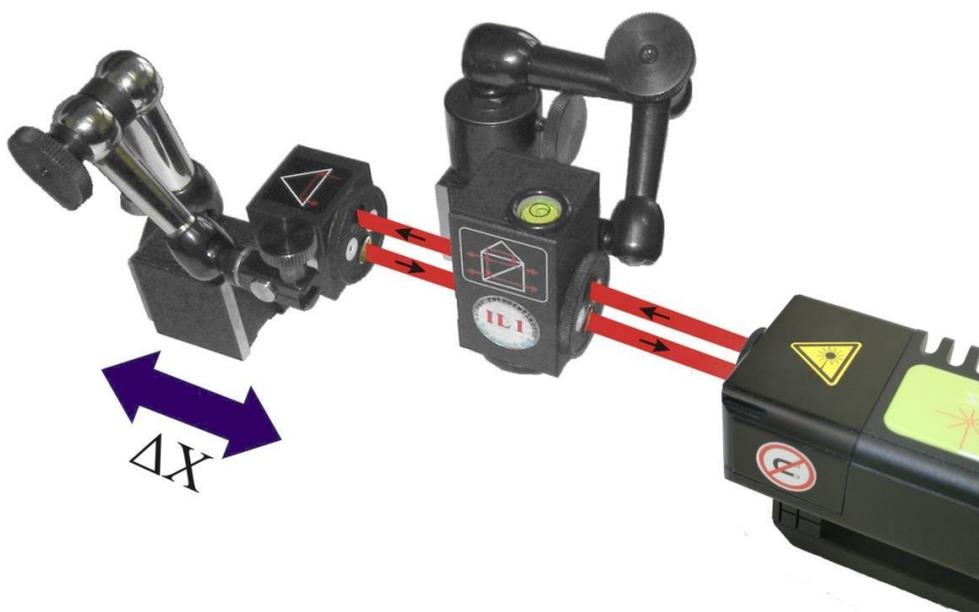


FIG.15.2 CONFIGURACIÓN DE CAMINO ÓPTICO PARA MEDIDAS DE VELOCIDAD EN EL EJE X

Las mediciones de velocidad se pueden realizar no sólo a lo largo del rayo láser (como se muestra en las figuras 15.1 y 15.2), sino también en direcciones perpendiculares al rayo. Estas configuraciones se muestran en las figuras 15.3 y 15.4. En esas dos configuraciones sólo se puede mover el Retroreflector RL1.



FIG.15.3. CONFIGURACIÓN DE RUTA ÓPTICA PARA MEDIDAS DE VELOCIDAD EN EL EJE Z

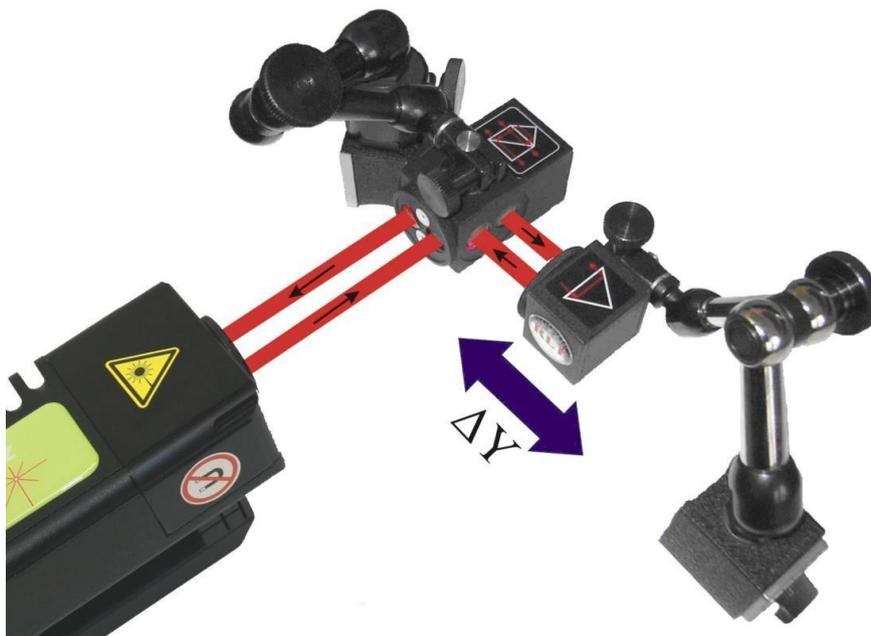


FIG.15.4. CONFIGURACIÓN DE CAMINO ÓPTICO PARA MEDIDAS DE VELOCIDAD EN EL EJE Y

15.3 Descripción de Software

La velocidad se mide en la opción **Velocity**, elegida en el Menú principal.

En la Fig. 15.5. se presenta una ventana principal de la opción **Velocity** en el Software HPI. La ventana consta de cuatro partes principales.:

- Pantalla: presenta la velocidad actual y el nivel de la señal de medición;
- Gráfico de velocidad: la línea azul es un gráfico de la velocidad medida; la línea roja es un gráfico de la velocidad promedio;
- Tabla de valores de velocidad: una tabla que contiene muestras numeradas consecutivamente, el tiempo transcurrido desde el inicio y el valor de velocidad actual;
- Panel con botones.

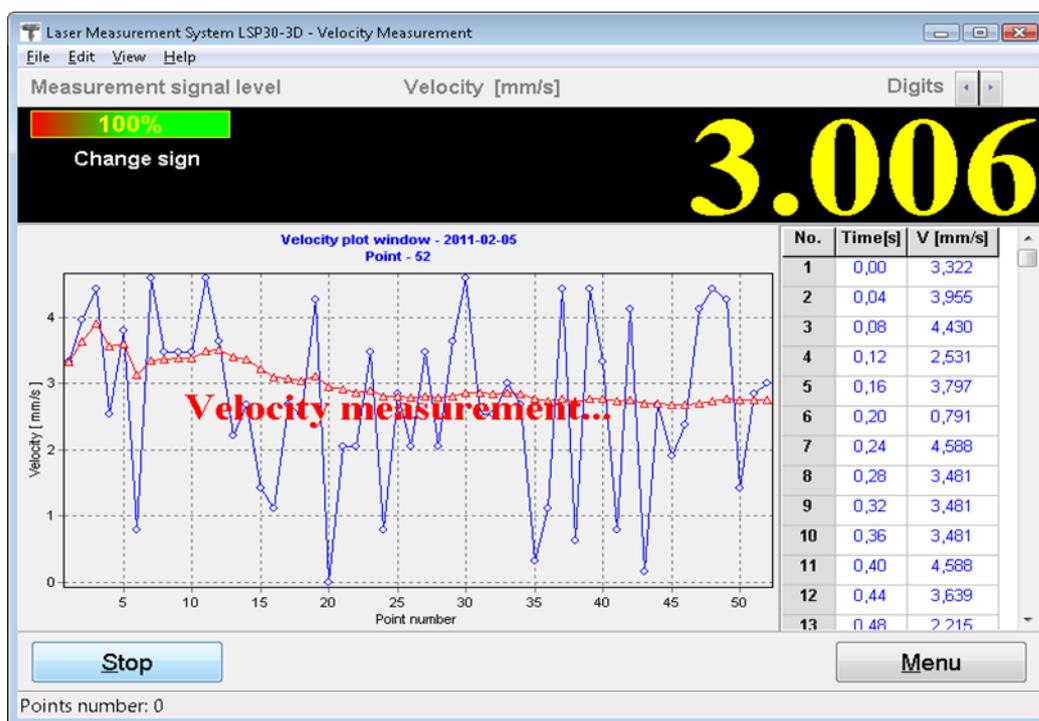


FIG.15.5. VENTANA DE MEDIDA DE VELOCIDAD.

15

La medición de velocidad se inicia con el botón **Start** y el software realiza una adquisición continua de datos de velocidad del objeto medido. La medición finaliza con el botón **Stop**. Durante las mediciones, el gráfico de velocidad se actualizará constantemente en la pantalla. Al hacer clic en una parte del gráfico y mover el ratón hacia la derecha, se puede ampliar el gráfico. Al hacer clic en una parte del gráfico y mover el ratón hacia la izquierda, se cancela el zoom. El gráfico se puede imprimir o guardar en un archivo. Esos comandos están disponibles en el menú **File** (es decir, *Save*, *Save as*, *Print*; consulte la figura 15.6).

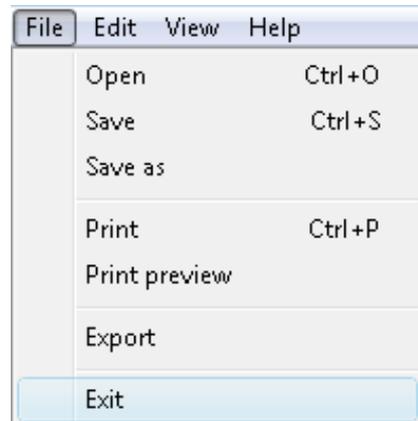


FIG.15.6. MENÚ DESPLEGABLE DE VELOCIDAD *FILE*

Antes de guardar el archivo, el programa pregunta sobre los datos de la máquina (opción disponible en el menú desplegable *Edit->Machine data*), como el tipo de máquina, el número de serie de la máquina, el eje medido o el operador (ver figura 15.7). Esos valores permiten describir la medición realizada para su posterior análisis y también están presentes en el informe impreso.

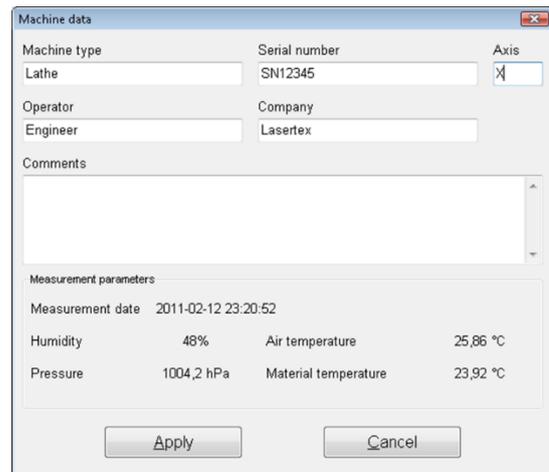


FIG.15.7. VENTANA DE DATOS DE LA MÁQUINA

El informe de medición también se puede generar a partir de los datos obtenidos, ya sea presionando *Print* o *Preview* en la ventana de análisis de

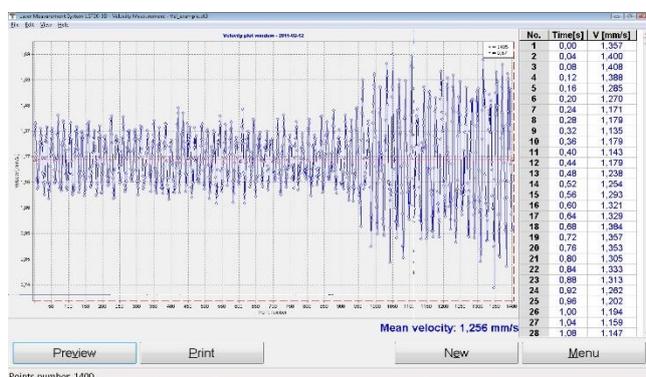


FIG.15.8. VENTANA DE ANÁLISIS DE DATOS MEDIDOS DE VELOCIDAD

medición (fig. 15.8). El informe se puede generar en la forma básica donde sólo se muestra el gráfico de los valores medidos (fig. 15.9) o en la versión extendida, que contiene tablas con los datos medidos.

También es posible copiar el gráfico de velocidad en el portapapeles y

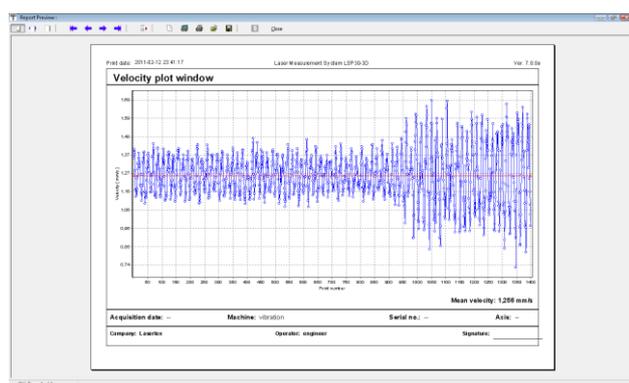


FIG.15.9. INFORME DE VELOCIDAD

luego pegarlo, por ejemplo, en un documento del editor de Word. El comando **Copy to clipboard** está disponible en el menú emergente que aparece después de hacer clic con el botón derecho en el área del gráfico.

La unidad de velocidad se puede configurar en **Configuration**, en la pestaña **Velocity** (ver figura 15.10). La configuración está disponible en el menú **Edit**.

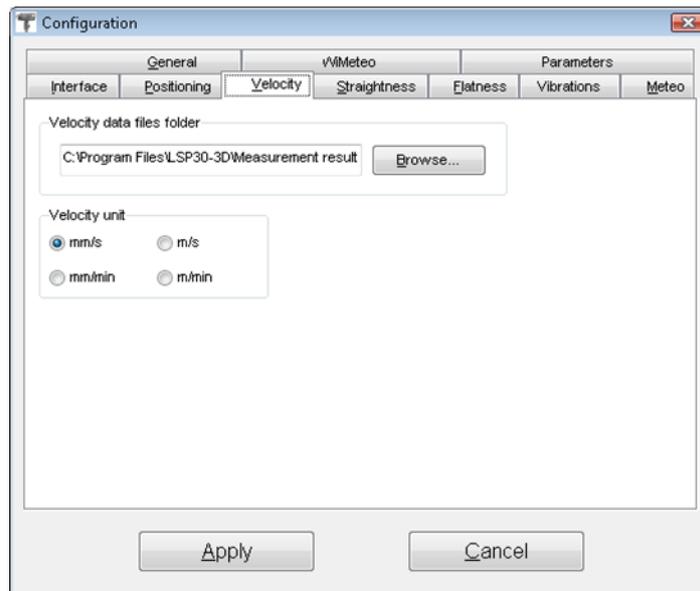


FIG.15.10. OPCIONES DE CONFIGURACIÓN DE VELOCIDAD

15.4 Procedimiento de medición

1. Configure el láser en la máquina medida y alinee la trayectoria óptica,
2. Inicie el software HPI-3D y seleccione la opción **Velocity**,
3. Elija la unidad de velocidad deseada en la ventana **Configuration** (opcional),
4. Presione el botón *Start* y haga funcionar la máquina,
5. Cuando la máquina se detenga, presione el botón *Stop*, guarde los resultados y/o imprima el informe de medición.

16. MEDICIONES – PITCH/YAW

16.1 Descripción General

La medición de Pitch/Yaw permite caracterizar mejor la geometría del eje de la máquina medida. Con esta opción se puede medir la rectitud de la base de la máquina en todas las superficies importantes de la base o se puede comprobar la calidad del movimiento del elemento medido. Estos errores se conocen como errores de Pitch y Yaw. La opción de Pitch/Yaw es muy similar a la opción de rectitud angular que se describe en otro capítulo de este documento, la única diferencia es el método utilizado para el cálculo del resultado de la medición.

16.2 Configuración de medición

Para las mediciones de **Pitch/Yaw** se debe utilizar la óptica angular.

Los componentes necesarios son:

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Interferómetro angular **IK1**
- Retrorreflector angular **RK1**

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM2**

- Trípode
- Sensor de temperatura del aire
- Sensor de temperatura base

Las mediciones de Pitch/Yaw requieren que los elementos ópticos IK1 y RK1 estén alineados a lo largo del rayo láser como se muestra en la figura 16.1. Cada uno de los elementos se puede mover.

Durante las mediciones de Pitch/Yaw, se recomienda el uso del sensor de temperatura del aire. No es necesario utilizar sensores de temperatura base.

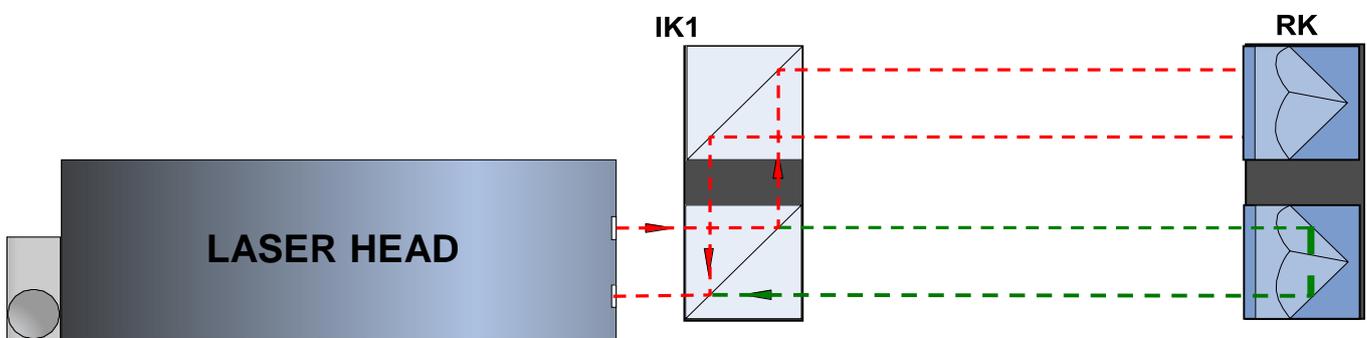


FIG.16.1 CONFIGURACIÓN DEL CAMINO ÓPTICO PARA MEDICIONES DE PITCH/YAW

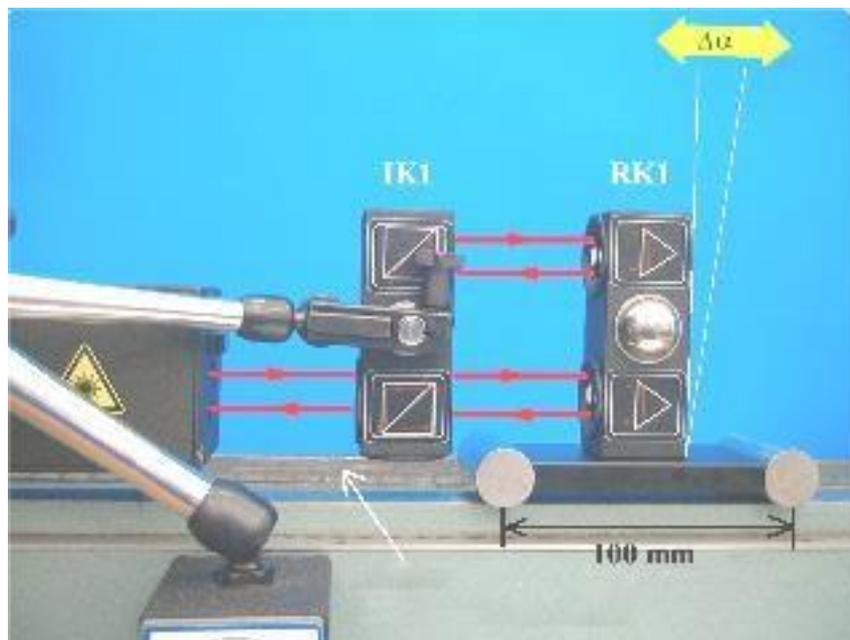


FIG.16.2 CONFIGURACIÓN DEL CAMINO ÓPTICO PARA MEDICIONES DE PITCH/YAW EN EL EJE X

Las mediciones de Pitch/Yaw se pueden realizar no sólo a lo largo del rayo láser (como se muestra en las figuras 16.1 y 16.2) sino también en direcciones perpendiculares al rayo. Estas configuraciones se muestran en las figuras 16.3 y 16.4. En esas dos configuraciones sólo se puede mover el Retroreflector RK1.

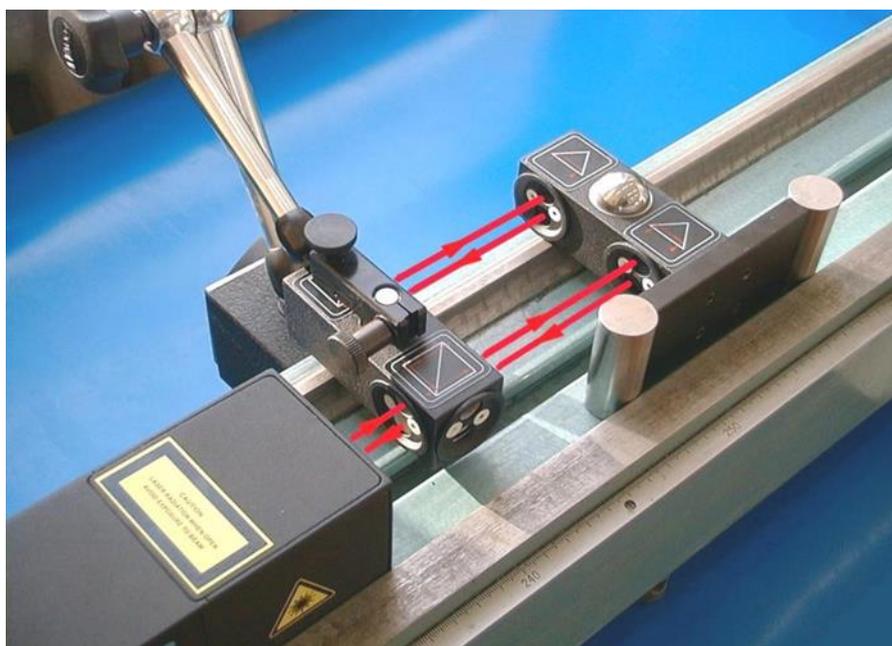


FIG.16.3 CONFIGURACIÓN DE RUTA ÓPTICA PARA MEDIDAS DE PITCH/YAW EN EL EJE Y

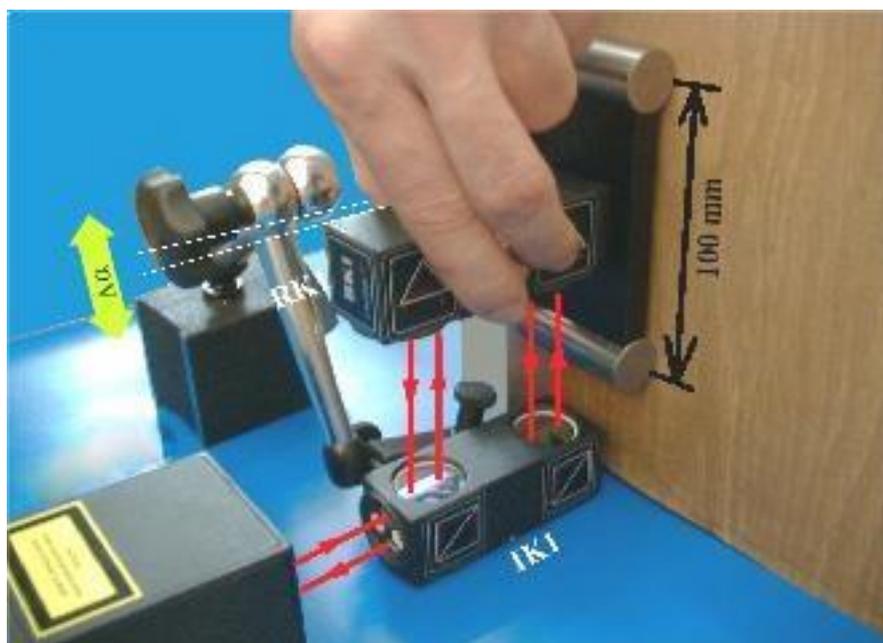


FIG.16.4 CONFIGURACIÓN DE RUTA ÓPTICA PARA MEDIDAS DE PITCH/YAW EN EL EJE Z

16.3 Descripción de Software

Los errores de Cabeceo y Guiñada se pueden medir en la opción **Pitch/Yaw**, elegida en el Menú Principal. La ventana del *software HPI-3D* se ve como se muestra en la Fig. 16.5. La ventana consta de cuatro partes principales:

- Pantalla: presenta el ángulo medido recientemente y el nivel de señal de medición;
- Resultados obtenidos trazados en un gráfico;
- Resultados obtenidos mostrados en la tabla de medidas;
- Panel con botones.



FIG.16.5. VENTANA DE MEDICIÓN DE PITCH/YAW.

Antes de iniciar la medición, se debe elegir el método de captura de puntos correcto del menú *Measurement* (consulte la figura 7.30). Hay dos métodos disponibles:

Time period point capture – los puntos son capturados automáticamente por el software en intervalos de tiempo constantes. El

intervalo de tiempo se configura en el panel con los botones ↓ y ↑.

Manual point capture – los puntos se capturan cuando se presiona el botón de captura de puntos en el panel *Point capture*, la tecla de *espacio* en el teclado o el botón del disparador manual.

La medición se inicia con el botón **Start**. Según el método de captura de puntos elegido, los puntos se capturan automáticamente o por el usuario. Durante la medición, el gráfico en la pantalla se actualiza constantemente. La medición finaliza con el botón **Stop**.

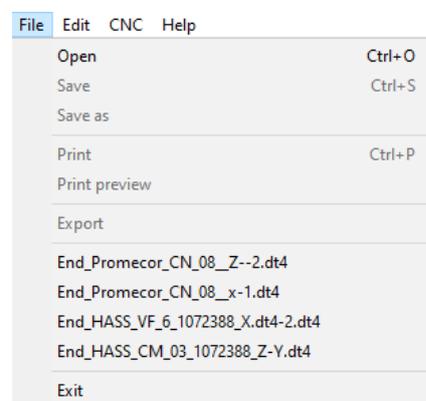


FIG.16.6. MENÚ DESPLEGABLE DE PITCH/YAW FILE

Los resultados obtenidos se pueden guardar, imprimir o exportar (menú *File*). Antes de guardar el archivo, el programa pregunta si se modifican los datos de la máquina (opción disponible en el menú desplegable *Edit->Machine data*), como el tipo de máquina, el número de serie de la máquina, el eje medido o el operador (figura 16.7). Esos valores permiten describir la medición realizada para su posterior análisis, y también están presentes en el informe impreso.

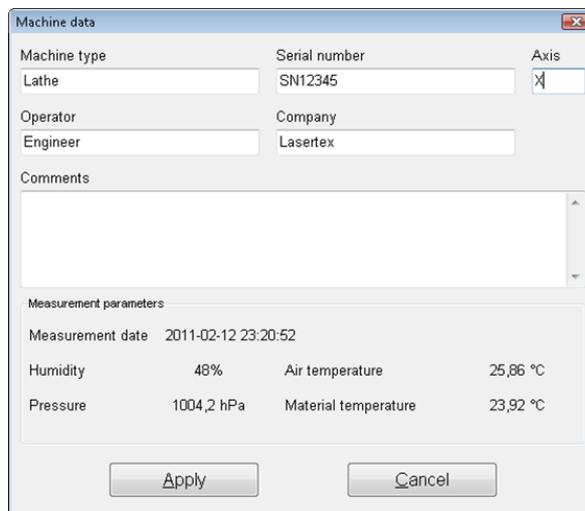


FIG.16.7. VENTANA DE DATOS DE LA MÁQUINA

El informe de medición también se puede generar a partir de los datos obtenidos, ya sea presionando *Print* o *Preview* en la ventana de análisis de

medición (fig. 16.8). El informe se puede generar en la forma básica donde sólo se muestra el gráfico de los valores medidos, o en la versión extendida, que contiene tablas con los datos medidos.

También es posible copiar el gráfico de rectitud en el portapapeles y luego pegarlo, por ejemplo, en un documento del editor de Word. El comando **Copy to clipboard** está disponible en el menú emergente que aparece después de hacer clic con el botón derecho en el área del gráfico.



FIG.16.8. VENTANA DE ANÁLISIS DE DATOS MEDIDOS DE PITCH/YAW

La configuración de la opción de medición de Pitch/Yaw está disponible en la ventana *Configuration->Straightness*. Se realiza una configuración del

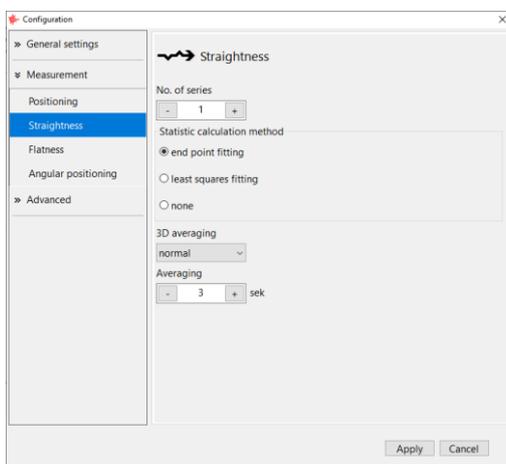


FIG. 16.9. OPCIONES DE CONFIGURACIÓN DE PITCH/YAW

método de cálculo estadístico (fig. 16.9) que se utiliza para el procesamiento de datos de medición. Se puede elegir el ajuste de punto final *End point fit* o el ajuste de mínimos cuadrados *Least squareness fit* para usar métodos estadísticos. La opción *None* permite realizar un análisis de los resultados sin procesar.

16.4 Procedimiento de medición

1. Configure el láser en la máquina medida y alinee la trayectoria óptica,
2. Inicie el software HPI-3D y seleccione la opción *Pitch/Yaw*,
3. Elija el método de captura de puntos deseado,
4. Presione el botón *Start* y haga funcionar la máquina,
5. Para el modo manual pulsar *point capture* usando el método más apropiado; en el modo automático los puntos son capturados por el software en intervalos de tiempo constantes,
6. Detenga la medición,
7. Guarde los resultados y/o imprima el informe de medición.

17. MEDICIONES – DIAGONAL DINÁMICA

17.1 Descripción General

La medición diagonal dinámica brinda información sobre los parámetros de geometría avanzada de la máquina, principalmente sobre la perpendicularidad de dos ejes elegidos y la calidad de la interpolación lineal. El tiempo de medición se reduce ya que no se requiere que la máquina se detenga durante el proceso de prueba.

Durante las mediciones Diagonales, la máquina debe moverse estrictamente de acuerdo con el programa de código G generado por el software HPI. Durante el ciclo de medición, la máquina se mueve primero a lo largo de dos ejes lineales de la máquina y luego, en el tercer movimiento, en la diagonal entre los ejes. El cabezal láser recopila dinámicamente los datos de medición y, con el uso de algoritmos de software avanzados, calcula los errores diagonales de acuerdo con la norma internacional ISO230-6.

Los resultados obtenidos durante medición diagonal dinámica brindan información sobre la calidad de la interpolación lineal, sobre el juego de la máquina (backlash) y sobre la rectitud de los ejes. **Los datos no se confunden con los valores de la escala de la máquina.**

17.2 Configuración de medición

Para mediciones de **Diagonal Dinámica** se debe utilizar la óptica estándar con **dobrador de haz**. Los componentes necesarios son:

- Cabezal láser
- Fuente de alimentación
- Interferómetro lineal **IL1**
- Reflector lineal **RL1**
- Doblador de haz **BB01**

Los elementos opcionales son:

- Cable USB
- Disparador inalámbrico
- Soporte magnético **UM2**
- Trípode
- Sensor de temperatura del aire
- Sensor de temperatura base

Las medidas diagonales dinámicas consisten en tres medidas lineales separadas. Dos de ellas se realizan a lo largo de los ejes principales de la máquina y el tercero a lo largo de la diagonal. Las mediciones a lo largo de todos los ejes deben realizarse con el uso de la opción **Dynamic Positioning** o **Dynamic Positioning 3D** (preferiblemente). Se requieren elementos ópticos **IL1** y **RL1** que deben alinearse a lo largo del rayo láser durante las mediciones lineales estándar. Para una alineación más simple del haz, se puede usar el doblador de haz **BB01** como se muestra en la Figura 17.1.

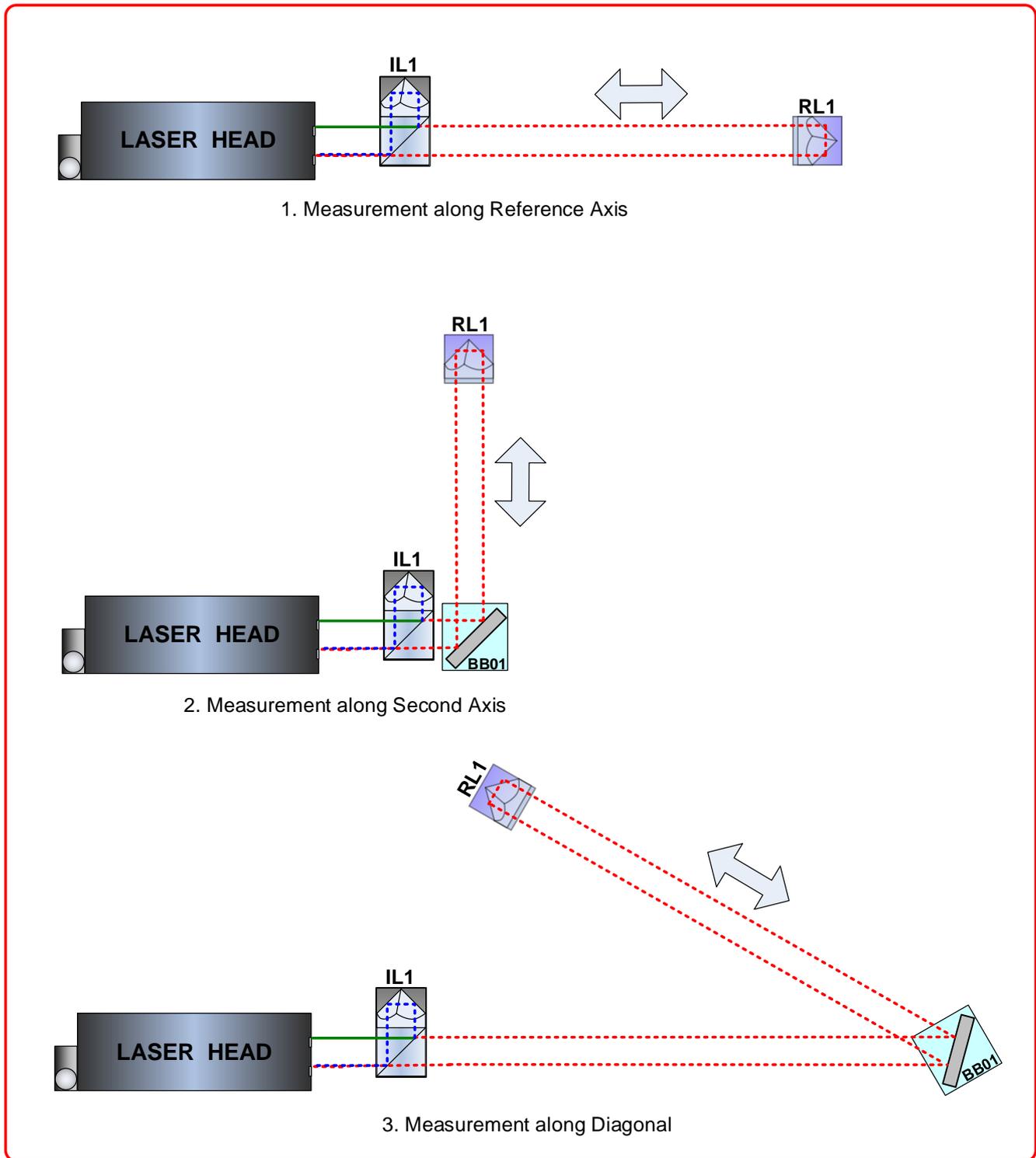


FIG.17.1 CONFIGURACIÓN DE RUTA ÓPTICA PARA MEDICIONES DIAGONALES DINÁMICAS

Durante las mediciones diagonales dinámicas, se requiere el uso del sensor de temperatura del aire. También **se deben usar** sensores de temperatura base.

La medición diagonal se compone de cuatro fases:

- 1) Medición del posicionamiento dinámico a lo largo del primer eje (referencia)
- 2) Medición del posicionamiento dinámico a lo largo del segundo eje
- 3) Medición del posicionamiento dinámico a lo largo de la diagonal entre el primer y segundo eje
- 4) Análisis de los datos recibidos en la opción **Diagonal** en el software HPI

Las primeras tres fases de medición se muestran esquemáticamente en la Figura 17.1. El cabezal láser se puede mover entre mediciones, pero generalmente es más conveniente usar BB01 para dirigir el haz a lo largo del segundo eje y el diagonal. Este método es particularmente ventajoso cuando cualquiera de los ejes es vertical y/o cuando el plano de medición involucra mediciones diagonales en dos o más planos de la máquina.

Al alinear con el elemento BB01, primero se debe cambiar la posición del doblador para dirigir el haz aproximadamente a lo largo del eje de la máquina. La alineación exacta final se debe realizar con la herramienta electrónica de alineación del haz, cambiando la posición angular del cabezal del láser con las ruedas de ajuste. Desde el punto de vista práctico, la parte más problemática de la operación es establecer la posición adecuada, es decir, perpendicular al rayo láser, del elemento RL1 durante la alineación en la fase 3.

17.3 Descripción de Software

Los errores de Diagonal Dinámica se pueden calcular y visualizar en la opción **Diagonal**, elegida en el Menú Principal. Esta es la *fase cuatro* de las medidas de Diagonal. La ventana del programa *HPI-3D* se ve como se

muestra en la Fig. 17.2. La ventana del lado izquierdo consta de tres paneles para leer los resultados de las mediciones de las fases 1-3. Los resultados se pueden dirigir arrastrando y soltando desde *File manager*. Después de abrir los tres resultados intermedios, el software calcula el error de ángulo entre los ejes. El resultado se muestra en la parte inferior derecha de la ventana.

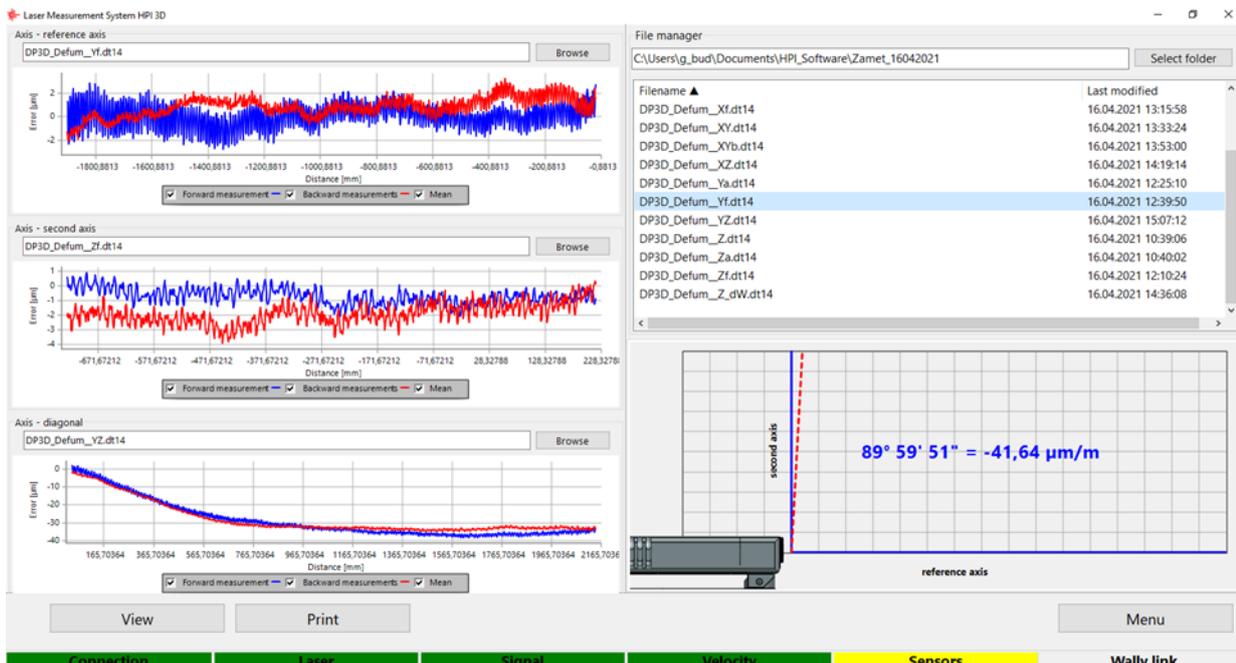


FIG.17.2. VENTANA DE MEDICIÓN DIAGONAL DINÁMICA.

El informe de medición también se puede generar a partir de los datos obtenidos, ya sea presionando *Print* o *View* en la ventana de análisis de medición (fig. 17.2).

Para mediciones adecuadas, es muy importante utilizar el programa de códigos G generado por el *software HPI*. Se puede hacer en la opción **Dynamic Positioning 3D** después de elegir *Generate CNC path*. Debería aparecer la ventana que se muestra en la Figura 17.3. El código se puede generar para movimientos 1D o 2D. La última opción está relacionada a los ejes diagonales. El código se puede guardar o imprimir.

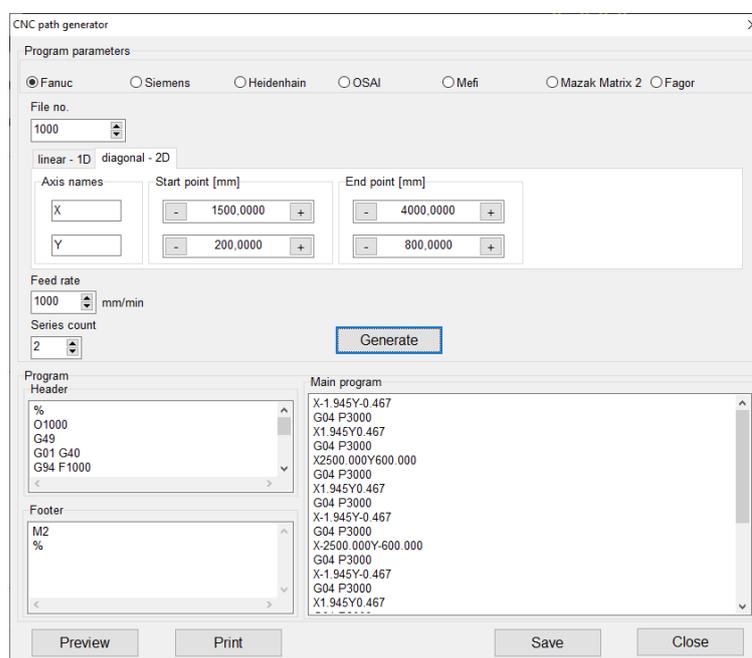


FIG.17.3. GENERACIÓN DE TRAYECTORIA CNC

17.4 Procedimiento de medición

1. Instale el láser en la máquina medida y alinee la trayectoria óptica a lo largo del *eje de referencia* (consulte el Capítulo 4),
2. Inicie el software HPI-3D y seleccione la opción **Dynamic Positioning 3D**,
3. Genere la ruta CNC para el eje de referencia en modo 1D,
4. Cargue en la máquina el programa de código G generado,
5. Presione el botón **Start** y haga funcionar la máquina,
6. Espere a que finalice la medición. **No altere la velocidad de avance de la máquina durante las mediciones**,
7. Guarde los resultados,
8. Alinee la trayectoria óptica a lo largo del *segundo eje*: utilice el elemento **BB01** o cambie la posición del cabezal láser,

9. Seleccione la opción **Dynamic Positioning 3D**,
10. Generar ruta CNC para el segundo eje en 1D,
11. Cargue en la máquina el programa de código G generado,
12. Presione el botón **Start** y haga funcionar la máquina,
13. Espere a que finalice la medición. **No altere la velocidad de avance de la máquina durante las mediciones**,
14. Guarde los resultados,
15. Alinee la trayectoria óptica a lo largo del *eje diagonal*: utilice el elemento **BB01** o cambie la posición del cabezal del láser,
16. Seleccione la opción **Dynamic Positioning 3D**,
17. Genere la ruta CNC para el eje diagonal en modo 2D,
18. Cargue en la máquina el programa de código G generado,
19. Presione el botón **Start** y haga funcionar la máquina,
20. Espere a que termine la medición. **No altere la velocidad de avance de la máquina durante las mediciones**,
21. Guarde los resultados,
22. Seleccione la opción **Diagonal** del menú principal,
23. Abra los resultados de las mediciones realizadas,
24. Ver o imprimir los resultados obtenidos.

18. CONEXIÓN DEL CABEZAL A LA MÁQUINA

18

18.1 Descripción General

La funcionalidad principal del HPI-3D son las mediciones de la geometría de la máquina con el uso de un PC conectado a través de interfaz BT o USB. La funcionalidad se puede mejorar significativamente con el **conector de extensión** disponible en la parte posterior del láser, como se muestra en la figura 18.1.

Con el uso de señales disponibles en este conector, es posible usar el láser como un dispositivo independiente. Las principales aplicaciones son:

- Control del desplazamiento medido con un contador externo;
- Usar el láser como parte de retroalimentación de un lazo de control de la máquina;
- Supervisión de un motor con el láser a través de un controlador de motor externo;
- Cambiar el comportamiento del láser conectando diferentes sensores (como sensor final o sensor de cruce por cero).

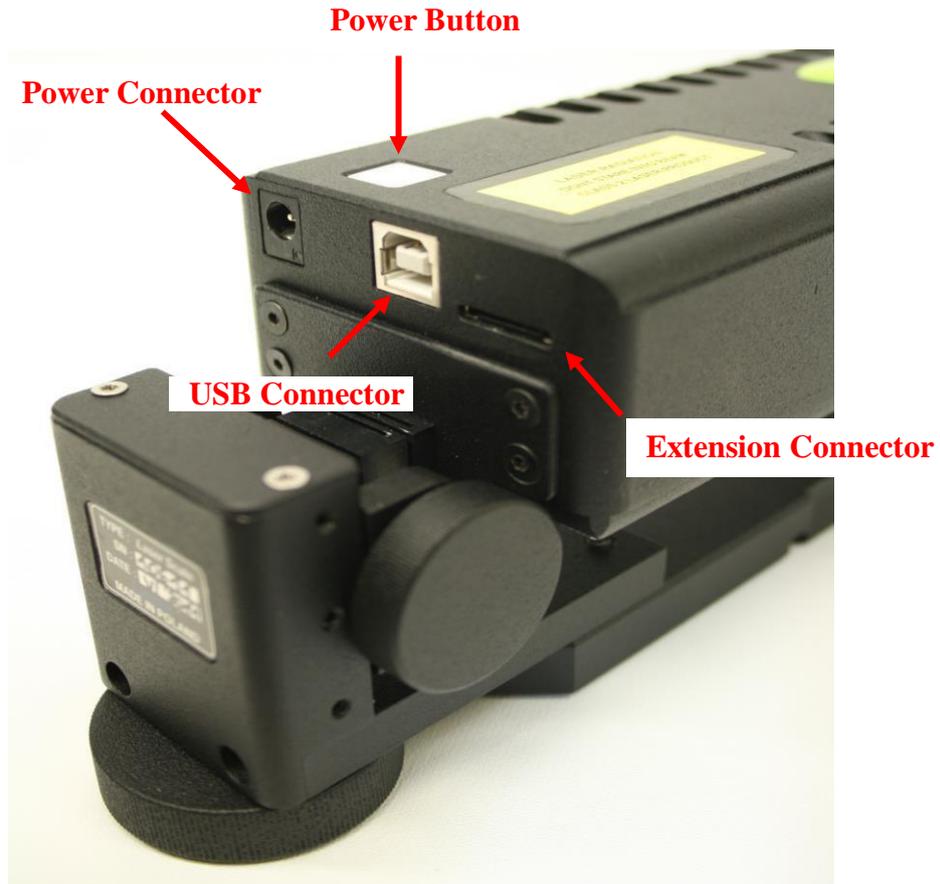


FIG.18.1. CONEXIONES DEL HPI-3D

18.2 Conector de Extensión

a. Configuración de pines del Conector de Extensión

El **conector de extensión** disponible en la parte posterior del cabezal láser es un conector Hirose en miniatura LX40-20P CL No. CL245-0017-0. El pinout de este conector se muestra en la tabla 18.1.

Pin number	Function
1	24V / 100mA Supply
2-7	Digital IO Software configurable Input/Output
8	Digital Output <ul style="list-style-type: none"> Negative output of Differential B signal pair (Digital AquadB Output) Negative output of Differential Sign signal pair (Shift/Sign Output)
9	Digital Output <ul style="list-style-type: none"> Negative output of Differential A signal pair (Digital AquadB

		Output) <ul style="list-style-type: none"> Negative output of Differential Module signal pair (Shift/Sign Output)
10	Digital Output	<ul style="list-style-type: none"> Positive output of Differential B signal pair (Digital AquadB Output) Positive output of Differential Sign signal pair (Shift/Sign Output)
11	Digital Output	<ul style="list-style-type: none"> Positive output of Differential A signal pair (Digital AquadB Output) Positive output of Differential Module signal pair (Shift/Sign Output)
12		5V /150 mA Power Supply
13	Analog Output	Negative output of Differential Cosine signal pair (Sine/Cosine Output)
14	Analog Output	Negative output of Differential Sine signal pair (Sine/Cosine Output)
15	Analog Output	Positive output of Differential Cosine signal pair (Sine/Cosine Output)
16	Analog Output	Positive output of Differential Sine signal pair (Sine/Cosine Output)
17-20		Ground

TAB.18.1. DISPOSICIÓN DE PINES DEL CONECTOR DE EXTENSIÓN

Hay cuatro grupos de señales disponibles en el conector de extensión:

- Power supply pins - Los pines +24 VCC, +5 VCC y GND están disponibles para la aplicación del usuario;
- Digital IO pins – funcionalidad configurable a través del software HPI; consulte más adelante en este capítulo;
- Encoder type Digital Output pins – funcionalidad parcialmente configurable a través del software HPI; se utiliza para la salida digital de salida A-Quad-B o Shift/Sign;
- Encoder type Analog Output pins – salida analógica en formato SinA/CosB (ver más adelante en este Capítulo).

b. Cable de Extensión EX1



FIG.18.2. CABLE DE EXTENSIÓN EX1

Debido a que la conexión de extensión tiene una escala de integración alta, se recomienda utilizar el cable de extensión EX1 – figura 18.2.

El cable tiene en un extremo el conector Hirose apropiado en miniatura, que debe insertarse en el conector de extensión, mientras que en el otro extremo hay un conector DSUB15 hembra estándar de tres filas. Las señales disponibles en el conector DSUB se describen y se pueden configurar en el software HPI en el panel *Configuration->Extension Connector*.

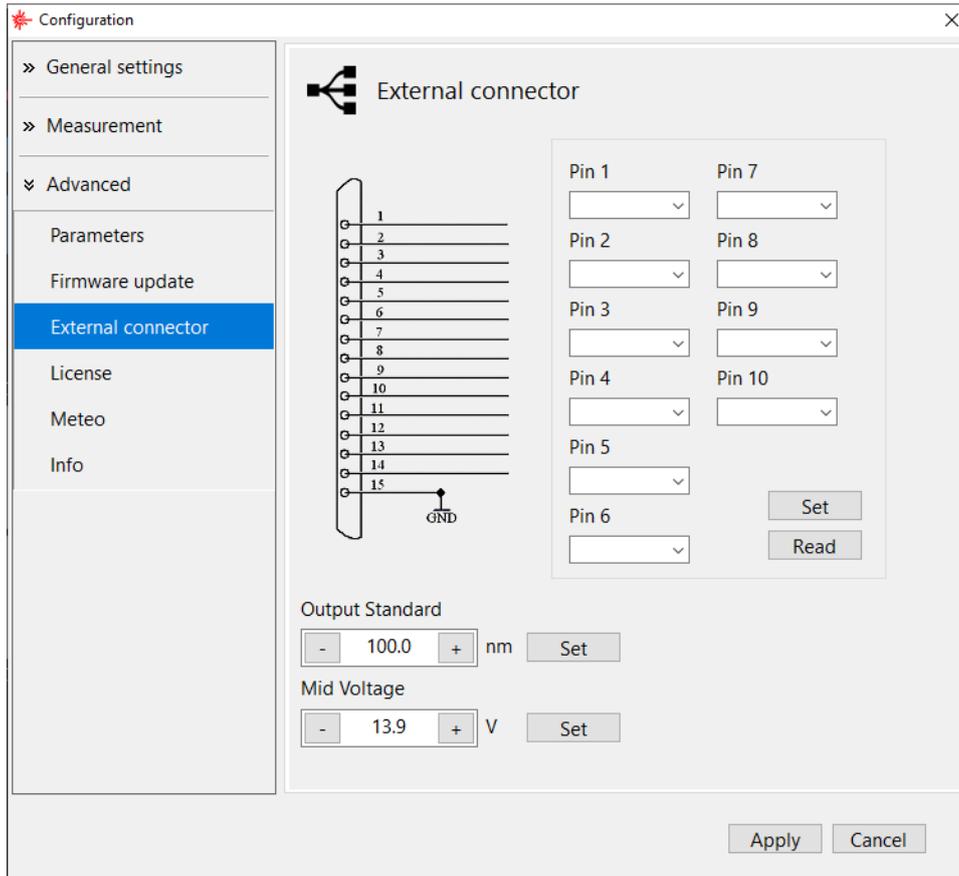


FIG. 18.3. VENTANA DE CONFIGURACIÓN – PANEL DE CONECTORES DE EXTENSIÓN

Pin number	Function
1-6	Digital IO Software configurable Input/Output
7	Digital Output <ul style="list-style-type: none"> Negative output of Differential B signal pair (Digital AquadB Output) Negative output of Differential Sign signal pair (Shift/Sign Output)
8	Digital Output <ul style="list-style-type: none"> Negative output of Differential A signal pair (Digital AquadB Output) Negative output of Differential Module signal pair (Shift/Sign Output)
9	Digital Output <ul style="list-style-type: none"> Positive output of Differential B signal pair (Digital AquadB Output) Positive output of Differential Sign signal pair (Shift/Sign Output)

10	Digital Output	<ul style="list-style-type: none"> • Positive output of Differential A signal pair (Digital AquadB Output) • Positive output of Differential Module signal pair (Shift/Sign Output)
11	Analog Output	Negative output of Differential Cosine signal pair (Sine/Cosine Output)
12	Analog Output	Negative output of Differential Sine signal pair (Sine/Cosine Output)
13	Analog Output	Positive output of Differential Cosine signal pair (Sine/Cosine Output)
14	Analog Output	Positive output of Differential Sine signal pair (Sine/Cosine Output)
15		Ground

TAB.18.2. CLAVIJAS DEL CABLE DE EXTENSIÓN EX1

En la Tabla 18.2 se muestra el pinout por defecto del Cable de Extensión EX1. Comparando esta tabla con la Tabla 18.1, se puede ver que lo único que falta en el EX1 son los pines de alimentación. Todos los pines de señal visibles en el conector de extensión también son accesibles en el cable de extensión.

c. Salidas de tipo codificador

En la salida del HPI-3D están disponibles dos tipos de salidas de codificador: digital (formato A-Quad-B, TTL) y analógica (formato SinA/cosB, 1Vpp). Ambos tipos están disponibles al mismo tiempo en el conector de extensión y el cable EX1; figura 18.4.

Los bordes de las señales digitales y la onda sinusoidal de la salida analógica aparecen en el conector en tiempo real después de que el cabezal láser detecte el movimiento de un elemento óptico. El retraso entre el movimiento medido y las señales de salida no es superior a 10 μ s.

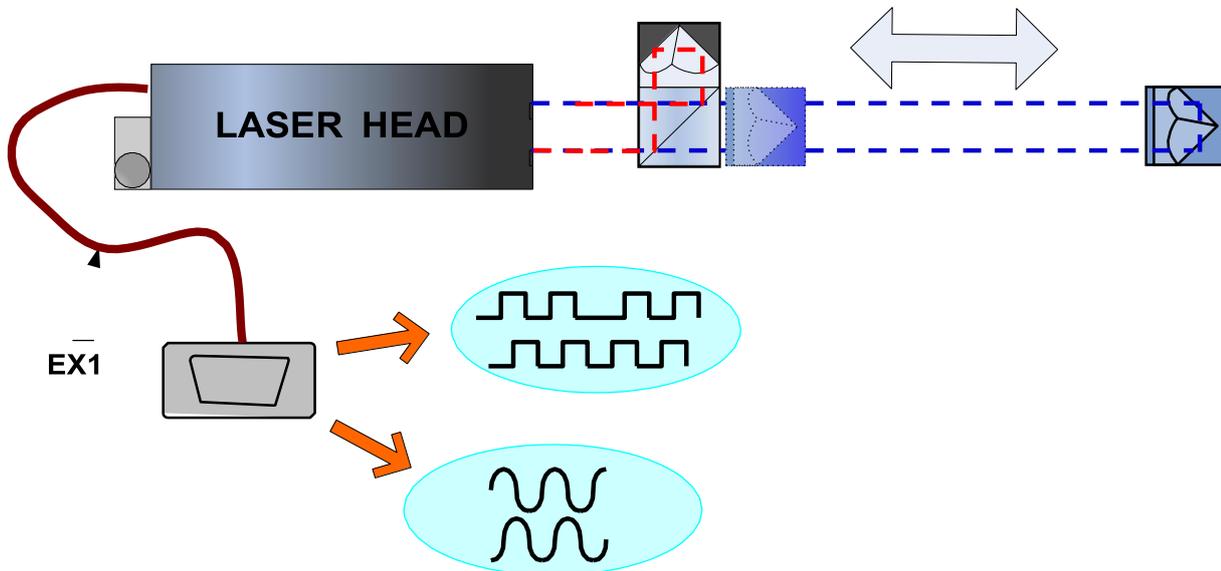


FIG. 18.4. GENERACIÓN DE SEÑAL DE CODIFICADOR

Las señales de salida se compensan en tiempo real frente al cambio de parámetros ambientales. El proceso se muestra esquemáticamente en la figura 18.5.

El usuario puede cambiar el estándar de las señales de tipo codificador de salida en *Configuration->Extension Connector->Output Standard*

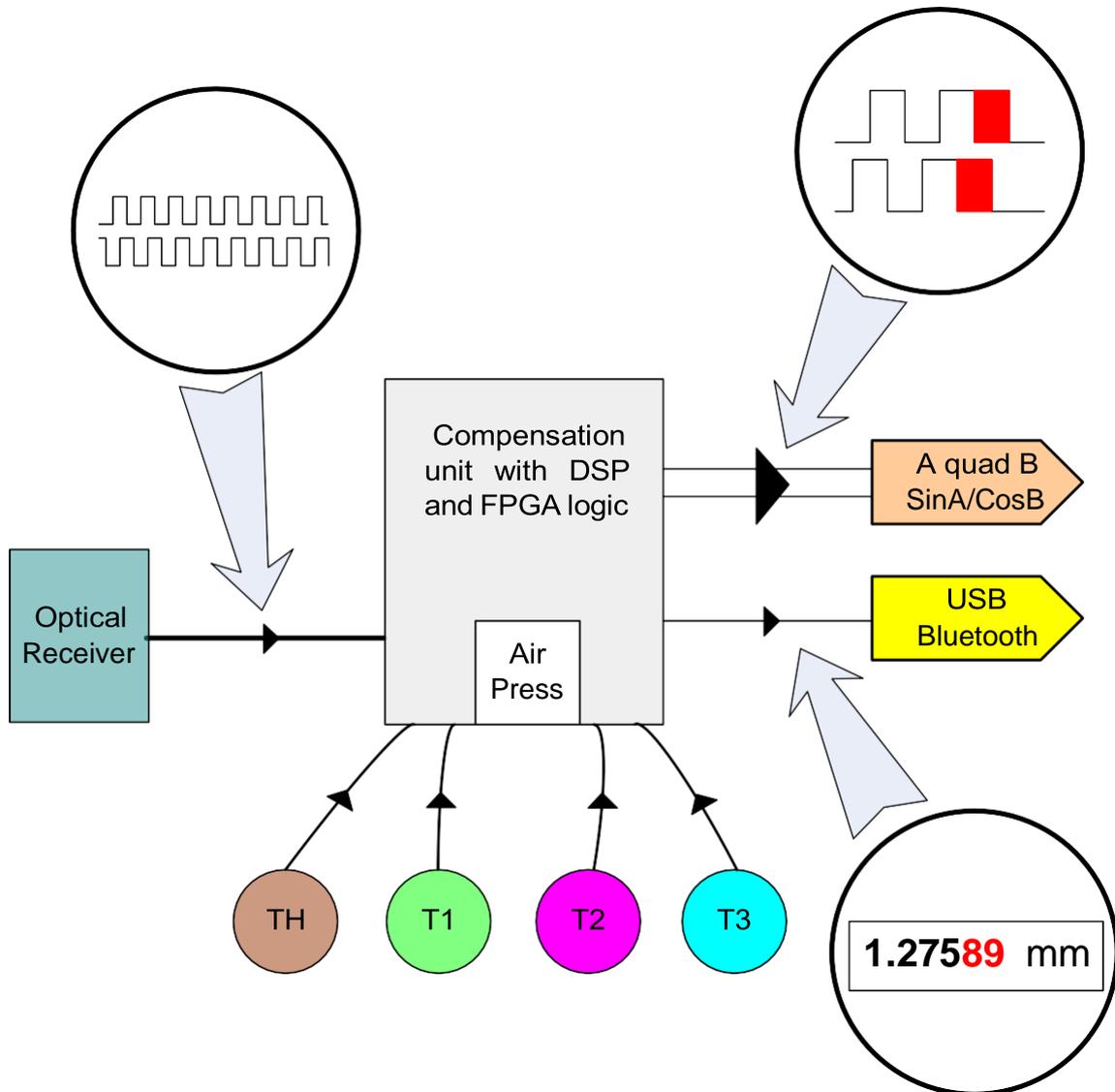


FIG. 18.5. MECANISMO DE COMPENSACIÓN EN TIEMPO REAL

La señal óptica detectada es leída por el procesador principal dentro del cabezal láser. El procesador también recibe datos de sensores ambientales (TH, T1, T2 y T3) y utiliza algoritmos avanzados para calcular las correcciones de la señal de entrada. Los cálculos se realizan cada 10 μ s. Los datos de cada sensor se reciben cada segundo.

Luego, el valor de distancia corregido se envía a través de interfaces USB o Bluetooth al PC. Al mismo tiempo, el procesador principal se comunica con un coprocesador especial para generar señales de tipo codificador. El coprocesador es responsable de agregar correcciones a la señal óptica original y de generar la señal de salida en el estándar deseado.

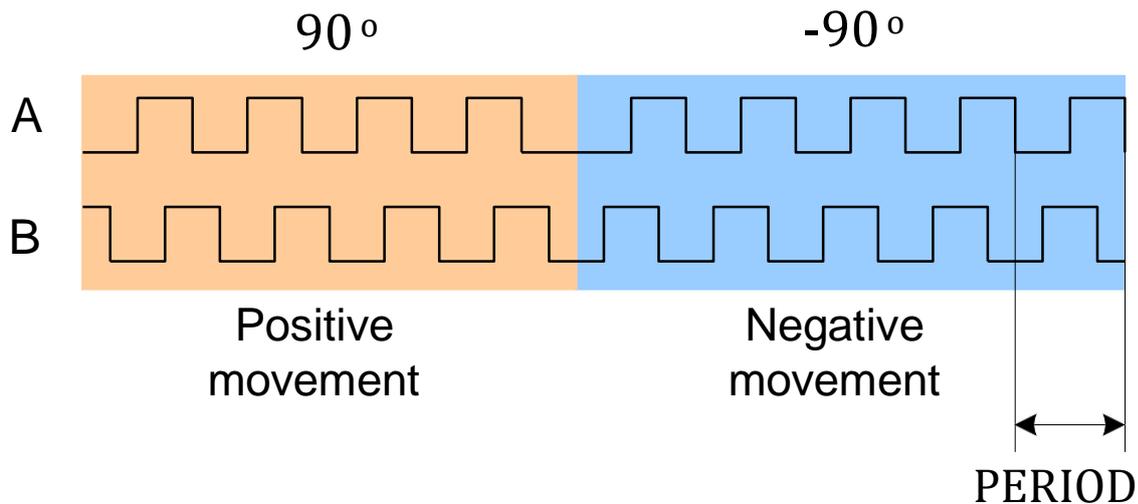


FIG. 18.6. SEÑAL DE SALIDA – FORMATO A-QUAD-B

La señal digital A-Quad-B consiste en dos señales digitales A y B desfasadas $+90^\circ$ o -90° , dependiendo de la dirección del movimiento (figura 18.6). Las señales están en el estándar CMOS de 5 V y en el conector también hay disponibles señales A negativas y B negativas, por lo que se puede usar un cable diferencial. El PERÍODO de la señal, como se muestra en la figura 18.6, es **cuatro veces mayor** que *Output Standard* establecido en *Configuration*.

Por ejemplo, si el estándar de salida *Output Standard* se establece en 100 nm, se generará el ciclo completo en las salidas A y B después de que se detecte el desplazamiento de 400 nm del objeto medido.

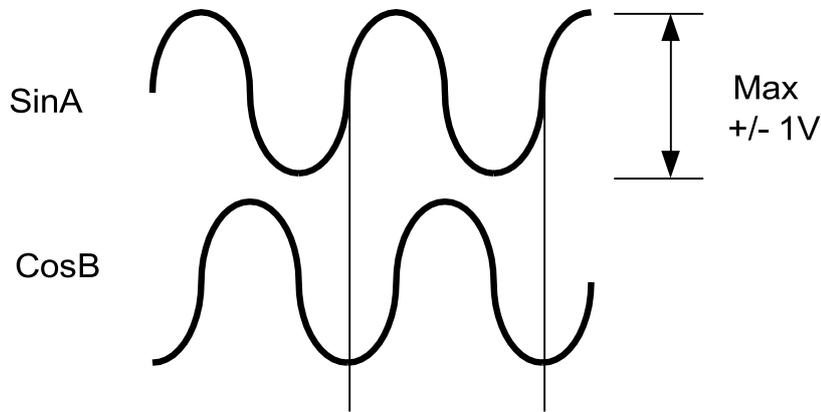


FIG. 18.7. SEÑAL DE SALIDA – FORMATO SINA/COSB

La señal analógica sinA/cosB consta de dos señales analógicas sinA y cosB desfasadas $+90^\circ$ o -90° dependiendo de la dirección del movimiento (figura 18.7). La amplitud de las señales es de 1Vpp unipolar y 2Vpp diferencial. Las señales diferenciales están disponibles como una combinación de señales sinA - /sinA y cosB - /cosB. La RESOLUCIÓN de la señal, que se muestra en la figura 18.7, es **cuarenta veces mayor** que el *Output Standar* establecido en la *Configuration*.

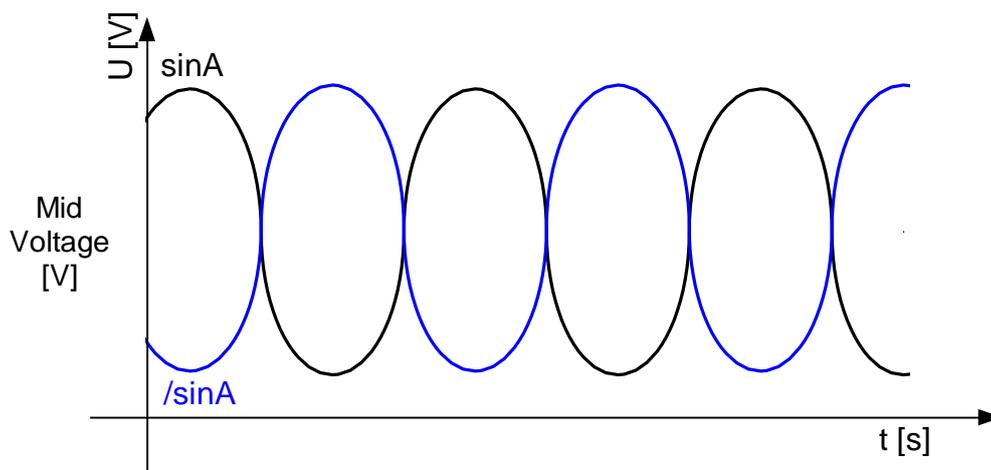


FIG. 18.8. SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA

Por ejemplo, si *Output Standard* se establece en 100 nm, se generará el ciclo completo en las salidas sinA y cosB después de que se detecte el desplazamiento del objeto medido de 4 μm .

Los controladores de salida entregan sólo voltajes positivos, por lo que el valor del voltaje medio de ambas señales de salida es importante. Este voltaje se puede configurar en *Configuration->Extension Connector->Mid Voltage* como se muestra en la figura. 18.3, y debe exceder 1V.

18



La frecuencia máxima de las señales de salida analógicas (sinA, cosB) está limitada a 2,4 MHz.

La frecuencia máxima de las señales de salida digital (A, B) está limitada a 24 MHz.

18.3 HPI-3D en un bucle de control de la máquina

Debido a las señales de tipo codificador disponibles en el conector de extensión, es posible utilizar el HPI-3D en un bucle de control de máquina. El láser configurado con la óptica lineal se puede utilizar como codificador de posición de muy alta precisión.

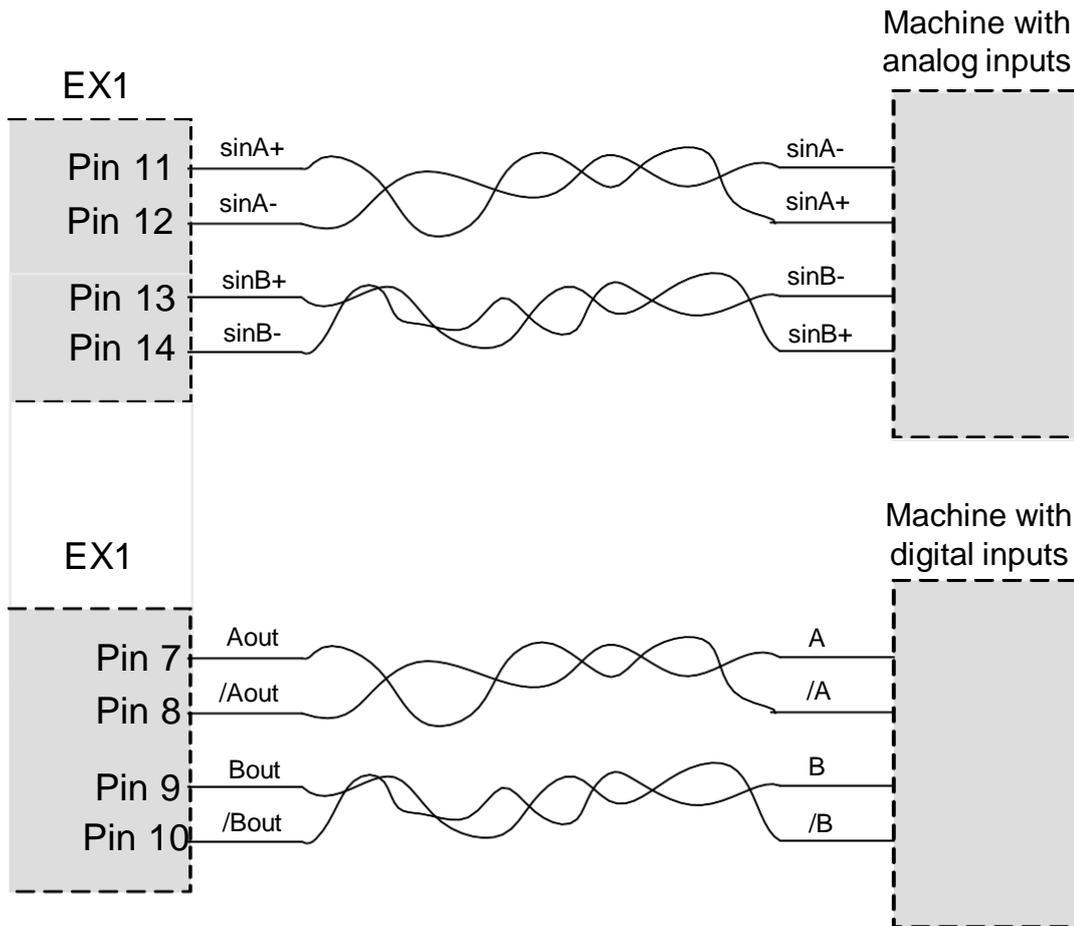


FIG. 18.9. CONEXIÓN DEL CABEZAL LÁSER A UNA MÁQUINA

El método de conexión depende del tipo de entradas de la máquina, como se muestra en la figura 18.9.

19. CONFIGURACIÓN

19.1 Descripción General

Todas las opciones de configuración del interferómetro están disponibles en **Configuration** ubicada en el Menú Principal o en cada opción de medición en el menú desplegable *Edit->Configuration*.

En **Configuration** (Fig. 19.1) el usuario puede configurar el comportamiento del HPI-3D durante las mediciones y la apariencia del *Software HPI*. Por ejemplo, se puede cambiar el idioma del programa: después de la instalación, el programa se abre en el idioma del sistema Windows instalado. Otros paneles se utilizan para configurar los parámetros de todos los tipos de medidas disponibles con el sistema.

19.1 Panel Interfaz

En el panel *Interface* (fig. 19.1), el usuario puede obligar al software a conectarse o reconectarse con el láser a través de la interfaz elegida. Para hacer esto, el usuario debe elegir la interfaz de comunicación adecuada (USB, Bluetooth o Simulador) y presionar *Reconnect*. Después de un tiempo, se mostrará un mensaje apropiado (con comunicación exitosa o fallida).

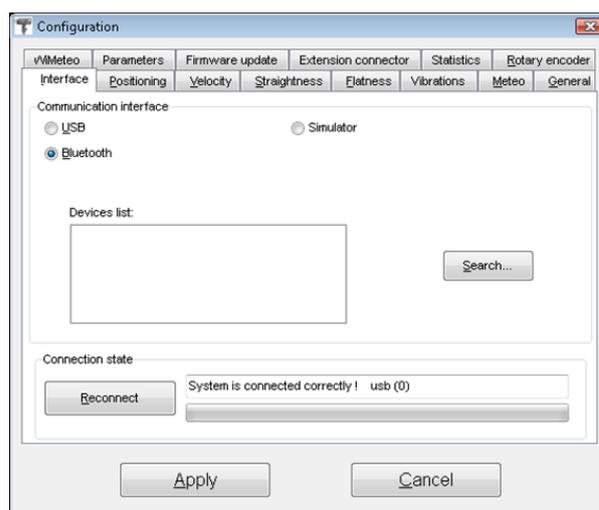


FIG. 19.1. VENTANA DE CONFIGURACIÓN
- PANEL DE INTERFAZ

19.2 Panel WiMeteo

Las opciones disponibles en el panel de WiMeteo (fig. 19.2) se utilizan para controlar el funcionamiento del módulo inalámbrico. Es responsable de la comunicación con sensores ambientales y codificador rotatorio.

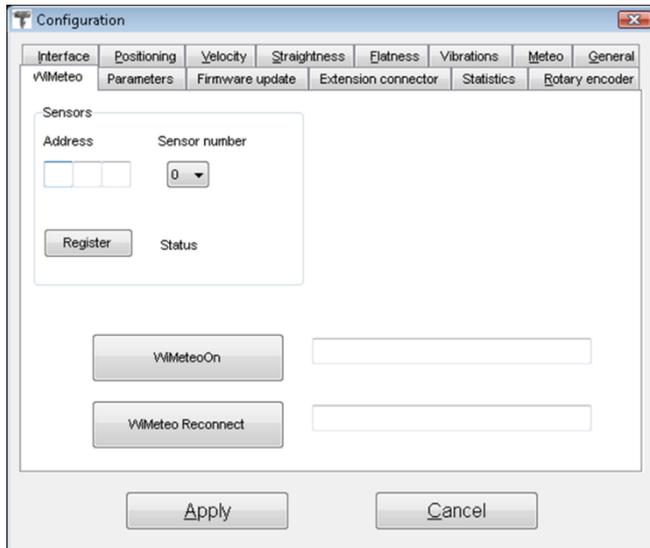


FIG. 19.2. VENTANA DE CONFIGURACIÓN
- PANEL WIMETEO

Es posible encender todo el módulo (si se apagó accidentalmente) presionando el botón **WiMeteoOn** o forzar a los sensores a buscar el nuevo canal de conexión con el botón **WiMeteo Reconnect**.

19



The reconnection takes usually between 2 and 3 minutes.

En la parte *Sensors* del panel de WiMeteo, el usuario puede registrar un nuevo sensor. Se debe colocar la dirección del sensor registrado en el campo *Address*, se debe elegir el número del sensor y luego se debe presionar el botón *Register*. El sensor número 0 es el sensor TH, mientras que los sensores numerados del 1 al 3 son sensores T1-T3, respectivamente.



Esta operación debe hacerse con cuidado. Poner una dirección incorrecta en el campo *Address* da como resultado la pérdida de la lectura adecuada del sensor cambiado

19.3 Panel de parámetros

En el Panel de Parámetros *Parameters* (fig. 19.3) es posible configurar los parámetros de los componentes ópticos utilizados. La longitud de la base *Base length* es el tamaño del carro del Retrorreflector Angular **RK1**. El tamaño estándar es de 10 cm.

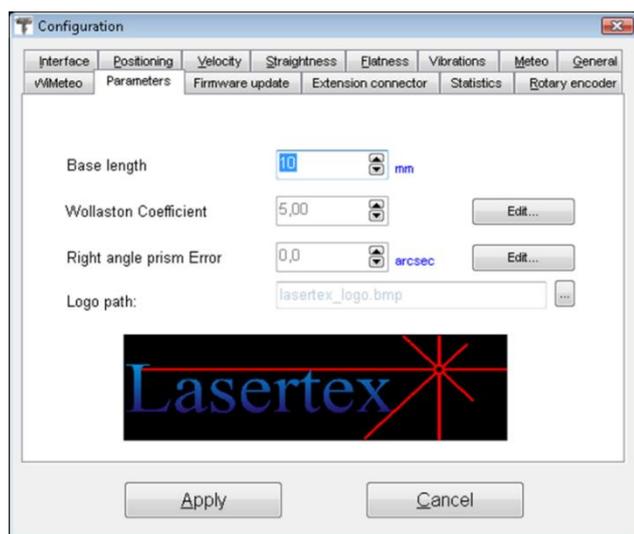


FIG. 19.3. VENTANA DE CONFIGURACIÓN
– PANEL *PARAMETERS*

Wollaston Coefficient es un parámetro del elemento Wollaston Prism **WP2**. El coeficiente se entrega con cada elemento WP2. Este campo está protegido con contraseña para evitar la modificación accidental del parámetro. La **contraseña** es: “54321”.

Right angle prism Error es el parámetro del elemento Etalon **REW** de ángulo recto. El coeficiente se entrega con cada elemento REW. Este campo está protegido con contraseña para evitar la modificación accidental del parámetro. La **contraseña** es: “54321”.

En la primera página de cada informe generado por el Software HPI se coloca el logotipo. Su ruta se establece en el campo **Logo path**. El archivo debe tener formato de archivo *bmp*.



Parámetros: **Base length**, **Wollaston Coefficient** y **Right angle prism Error** deben establecerse en los valores adecuados después de CADA INSTALACIÓN del software HPI en el nuevo PC o en la nueva carpeta.

19.4 Panel General

El software HPI se puede adaptar fácilmente a diferentes idiomas. Esto se puede hacer cambiando el idioma en el cuadro **Language** en el Panel General (fig. 19.4).

Todos los archivos de idioma se almacenan en el catálogo HPI_Software/Languages en el disco duro y se pueden modificar con el uso de la aplicación *Ingeditor.exe* que está presente en el mismo catálogo.

La resolución de las medidas se puede modificar en la casilla **Precision**. Para uso en laboratorio, se debe elegir la precisión extendida *Extended*. En este caso, todos los resultados se muestran con la mayor precisión posible. Para un uso normal se debe elegir la opción *Normal*. La opción de doble paso *double-pass* en el cuadro **Interferometer type** debe elegirse cuando se utiliza el interferómetro de tipo de espejo plano (llamado de doble paso) en la ruta óptica. En todos los demás casos, es decir, para todos los demás tipos de componentes ópticos, se debe seleccionar la opción de paso único *single-pass*.

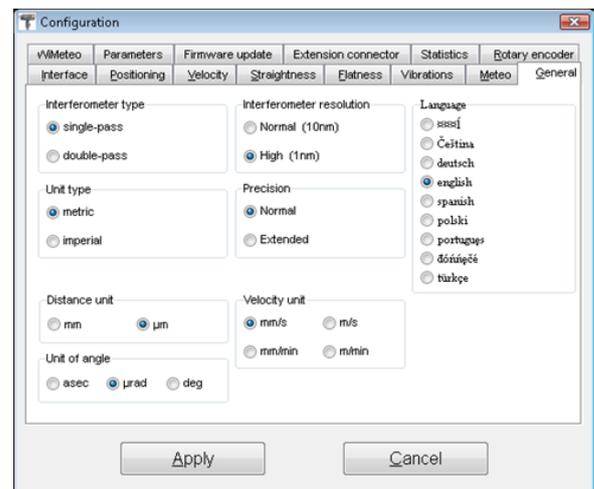


FIG. 19.4. VENTANA DE CONFIGURACIÓN – PANEL GENERAL



¡La elección incorrecta del tipo de interferómetro da como resultado un gran error de medición!

Otras opciones presentes en el Panel General se utilizan para cambiar unidades de diferentes tipos de medidas.

19.5 Panel Meteo

Las opciones disponibles en el panel *Meteo* (fig. 19.5) se utilizan para la configuración adicional de los parámetros ambientales. Es posible cambiar las unidades de temperatura y presión (cuadros *Temperature unit* y *Pressure unit*).

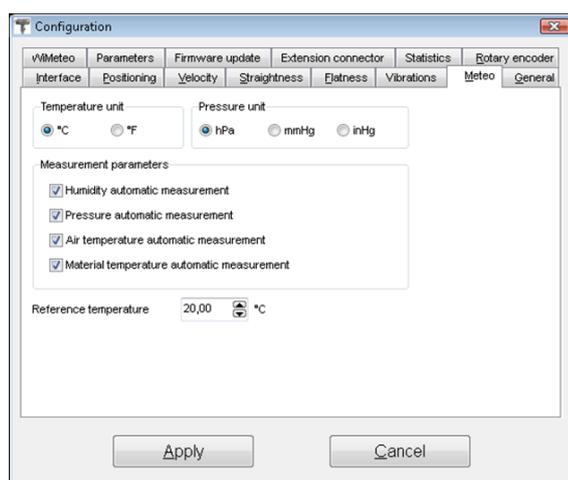


FIG. 19.5. VENTANA DE CONFIGURACIÓN – PANEL *METEО*

Las mediciones automáticas de los parámetros seleccionados se pueden activar o desactivar en el cuadro **Measurement parameters**.

Es posible cambiar la temperatura de referencia **Reference temperature**, que es la temperatura a la que se corrige la máquina medida. Por lo general, se establece 20.00 °C.

19.6 Panel del Conector de extensión

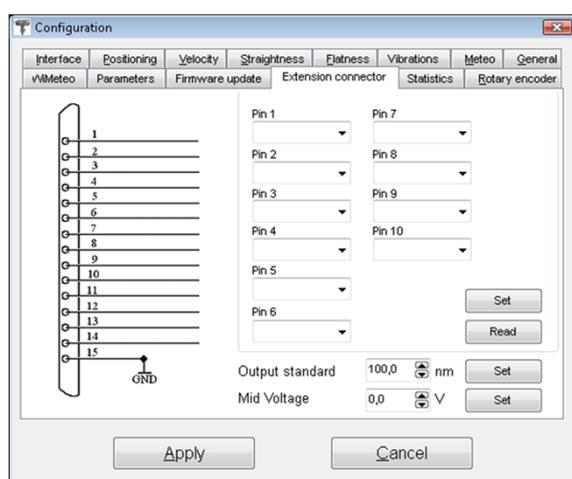


FIG. 19.6. VENTANA DE CONFIGURACIÓN – PANEL DE CONECTORES DE EXTENSIÓN

Las opciones agrupadas en el panel *Extension Connector* (fig. 19.6) se utilizan para controlar el funcionamiento del conector de extensión disponible en la parte posterior del láser.



Las señales descritas en el panel *Extension Connector* están disponibles en el conector DB15 del cable de extensión (no presente en la entrega estándar). La asignación de pines del conector de extensión se describe en el capítulo *Technical Data*.

En el lado izquierdo del panel es visible el dibujo esquemático del conector con la descripción de la funcionalidad de los pines. La funcionalidad se puede modificar con los botones de lista en la parte derecha del panel. Cada modificación debe ser aprobada presionando el botón **Set**.

En la parte inferior del panel hay dos parámetros que modifican las señales analógicas y digitales de salida (es decir, **A**, **B**, **sinA** y **sinB**). La opción **Output standard** define la resolución de las señales digitales (A, B): cada borde de la señal digital significa el movimiento medido del valor estándar de salida.



La resolución de las salidas analógicas es de $40 \times$ **Output standard**, es decir, un período completo de la señal **sinA** o **sinB** significa el movimiento medido de $40 \times$ Output standard.

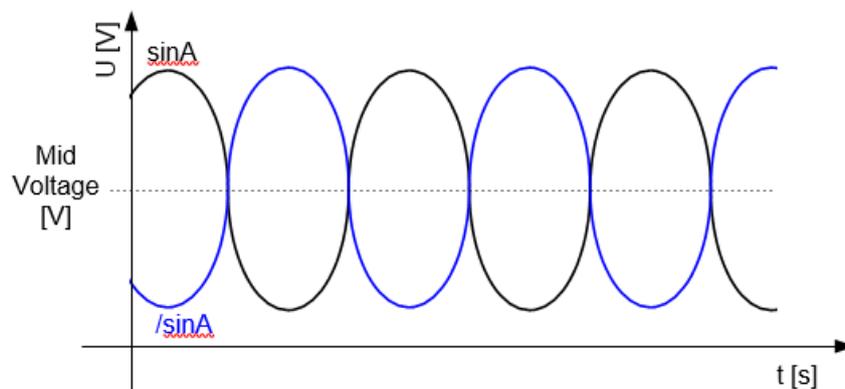


FIG. 19.7. SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA

El valor configurado como **Mid voltage** debe ser superior a 1V e inferior a 4V.

La opción **Mid voltage** define el valor medio de las salidas analógicas como se muestra en la figura 19.7.

19.7 Panel de estadísticas

Los datos visibles en el panel *Statistics* (fig. 19.8) son sólo para

información. **Laser work time** muestra cuánto tiempo estuvo encendido el tubo láser durante su vida útil. Después de 20000 horas, el láser debe enviarse a la fábrica para su prueba y calibración, a menos que se utilicen los tiempos de calibración recomendados.

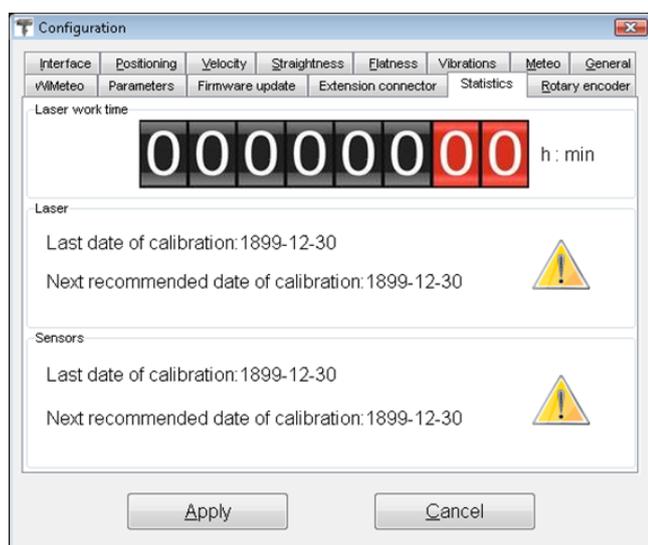


FIG. 19.8. VENTANA DE CONFIGURACIÓN –
PANEL *STATISTICS*

19.8 Actualización del Firmware del panel

El dispositivo HPI-3D está completamente definido por software, lo que

significa que el procesamiento digital de las señales es una parte muy importante del dispositivo. Todos los módulos digitales internos están disponibles a través de la interfaz USB y su firmware se puede modificar fácilmente en el panel **Firmware update**.

19

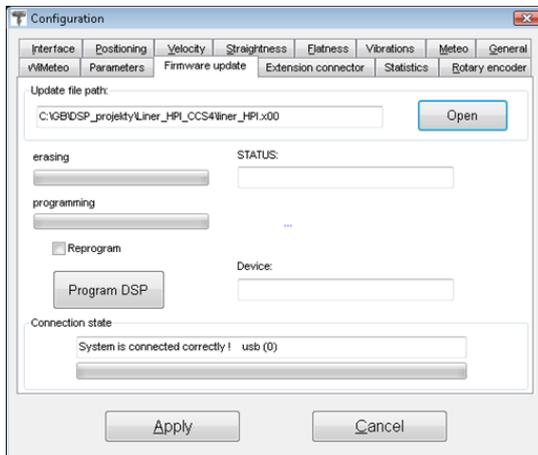


FIG. 19.9. VENTANA DE CONFIGURACIÓN – PANEL *FIRMWARE UPDATE*

Si el firmware está disponible, se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Conecte el cabezal láser mediante la interfaz USB,
2. Inicie el software HPI,
3. Ingrese a *Configuration->Firmware update*,
4. Presione el botón **Open** y elija el archivo de firmware (con extensión .x00, mcs, zig o .hex),
5. Presione el botón **Program**,
6. Espere a que se programe el dispositivo, hasta 10 minutos.

19.9 Otros paneles

Otros paneles disponibles en la Configuración se describen en los capítulos respectivos:

- Panel de *Posicionamiento* en el Capítulo 5;
- Panel de *Velocidad* en el Capítulo 6;
- Panel de *Rectitud* en el Capítulo 7;

- Panel de *Planitud* en el Capítulo 8;
- Panel de *Vibraciones* en el Capítulo 12;
- Panel de *Posicionamiento angular* en el Capítulo 14.

20. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

20.1 Reglas de las mediciones del desplazamiento láser

Las mediciones de desplazamiento con el uso de un interferómetro láser permiten obtener la precisión de una medición de desplazamiento de 0,4 ppm en aire y 0,02 ppm en vacío. El interferómetro fue construido por primera vez por A.A. Michelson en 1881. El esquema simplificado del interferómetro se muestra en la fig. 20.1.

El haz de luz coherente cae sobre un espejo semitransparente. Este espejo divide la luz en dos haces. El primero va al brazo de referencia y se refleja en el reflector Z1; el segundo va al brazo de medición y se refleja desde el reflector Z2. Los haces reflejados se encuentran de nuevo en el detector. Debido a que estos rayos provienen de la misma fuente coherente, interferirán. Cuando el reflector móvil se desplace, la frecuencia del haz reflejado en el brazo de medición cambia. El detector cuenta la diferencia de frecuencia entre los rayos reflejados - f_D (ver fig. 20.1). El valor medido del desplazamiento se calcula de acuerdo con

$$L = f_D * \frac{\lambda}{2} = N * \frac{\lambda}{2}$$

Donde: N – número de pulsos,

λ - longitud de onda de la luz

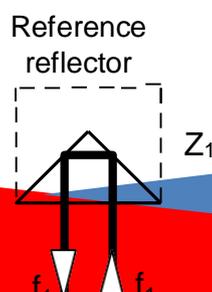


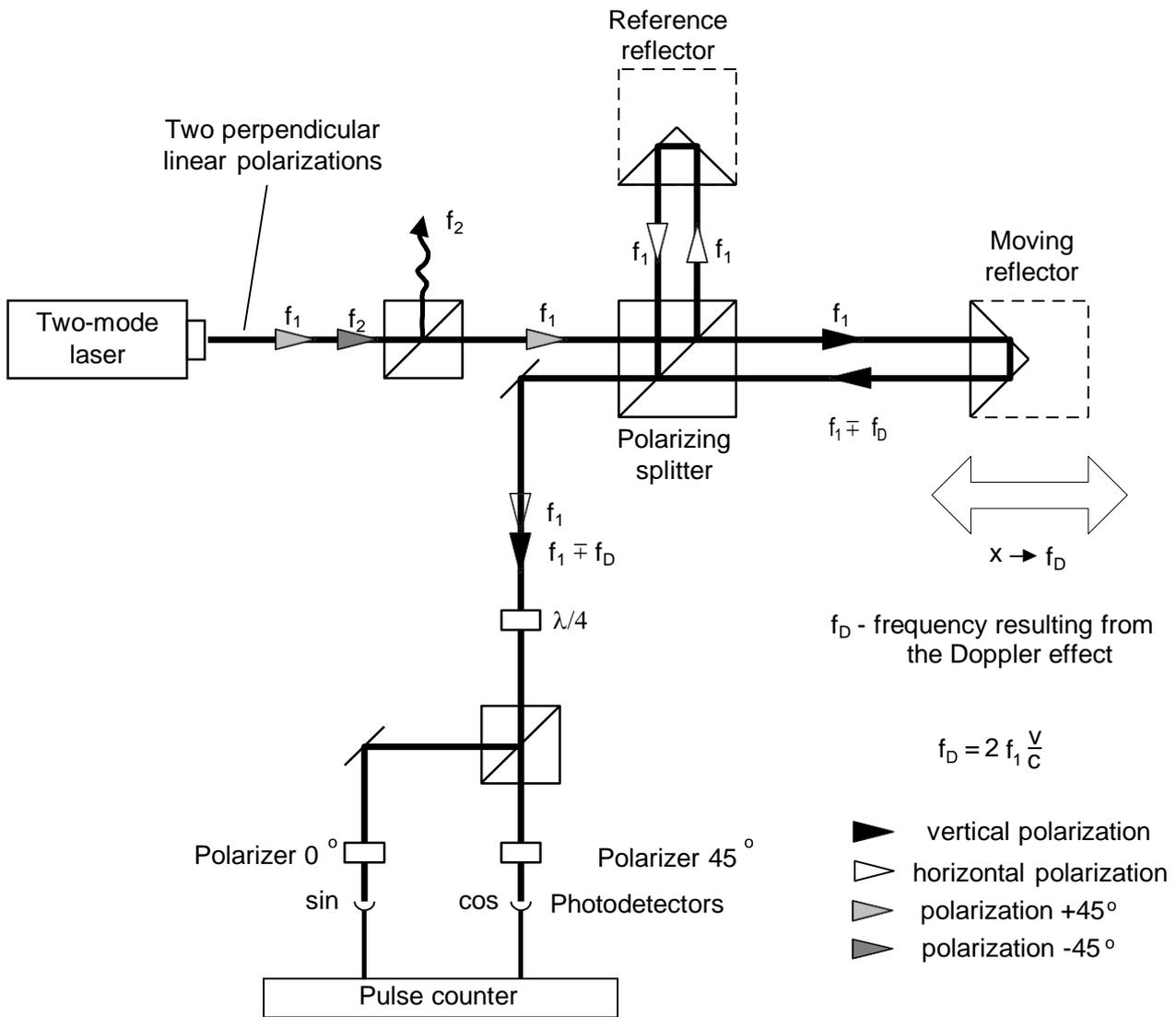
FIG.20.1. EL INTERFEROMETRO DE MICHELSON

20.2 Construcción de interferómetros reales

La principal desventaja del interferómetro de Michelson resulta del hecho de que el detector no puede determinar si f_D es negativa o positiva, por lo que a partir de las mediciones se obtiene el desplazamiento del reflector en movimiento sin el signo. Actualmente existen dos métodos muy utilizados que permiten obtener también la dirección del movimiento. Dependiendo del número de frecuencias de luz (longitudes de onda) utilizadas en el interferómetro, la primera se denomina método *homodino* (una frecuencia) y el segundo *heterodino* (dos frecuencias).

En el método homodino, que se muestra en la figura 20.2, se utiliza como fuente de luz coherente un láser polarizado linealmente. Si es un láser de dos modos (es decir, genera dos longitudes de onda), se debe cortar un modo con el uso de un polarizador correctamente configurado. El divisor polarizador divide el haz de luz del láser en dos haces

polarizados verticalmente (90°) y horizontalmente (0°). El primero va dirigido al brazo de medida y el segundo al de referencia. La frecuencia del haz en el brazo de medición cambia con el movimiento del reflector móvil. La polarización de los haces reflejados se cambia a circular con el uso de una placa de ondas de $\lambda/4$. Después, con polarizadores de 0° y 45° , se obtienen dos señales desfasadas. El cambio de fase es de $+90^\circ$ cuando el brazo de medición se mueve hacia el láser y -90° cuando se aleja de él.



20

FIG.20.2. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN INTERFERÓMETRO TRABAJANDO SEGÚN EL MÉTODO HOMODINO

En el método heterodino, que se muestra en la figura 20.3, se utilizan dos

frecuencias de láser. Por lo tanto, se necesita un láser de dos frecuencias, p. un láser Zeeman. Un láser de dos modos no es adecuado para el interferómetro de método heterodino, porque la diferencia entre f_1 y f_2 suele ser demasiado alta para un contador electrónico. El haz de salida de un láser Zeeman consta de dos haces polarizados circularmente, uno polarizado hacia la izquierda y el segundo hacia la derecha. Una placa de onda de $\lambda/4$ cambia la polarización circular a lineal. La principal diferencia entre los dos métodos descritos es que en el heterodino la frecuencia del haz en el brazo de referencia difiere de la frecuencia del haz en el brazo de medición. La ruta de detección también es diferente: restando las frecuencias diferenciales de referencia y los brazos de medición se obtiene la medición.

El método heterodino da resultados correctos sólo cuando f_D no excede la diferencia entre las frecuencias del láser, es decir: $f_2 - f_1$. En realidad, esa diferencia, resultante del efecto Zeeman, es de aproximadamente 1 MHz. Esto limita la velocidad máxima disponible del brazo de medición a 0,3 m/s en una dirección. La siguiente desventaja del método heterodino es que se deben usar dos frecuencias para las mediciones, mientras que en el método homodino se puede usar la segunda para medir, p. un segundo eje.

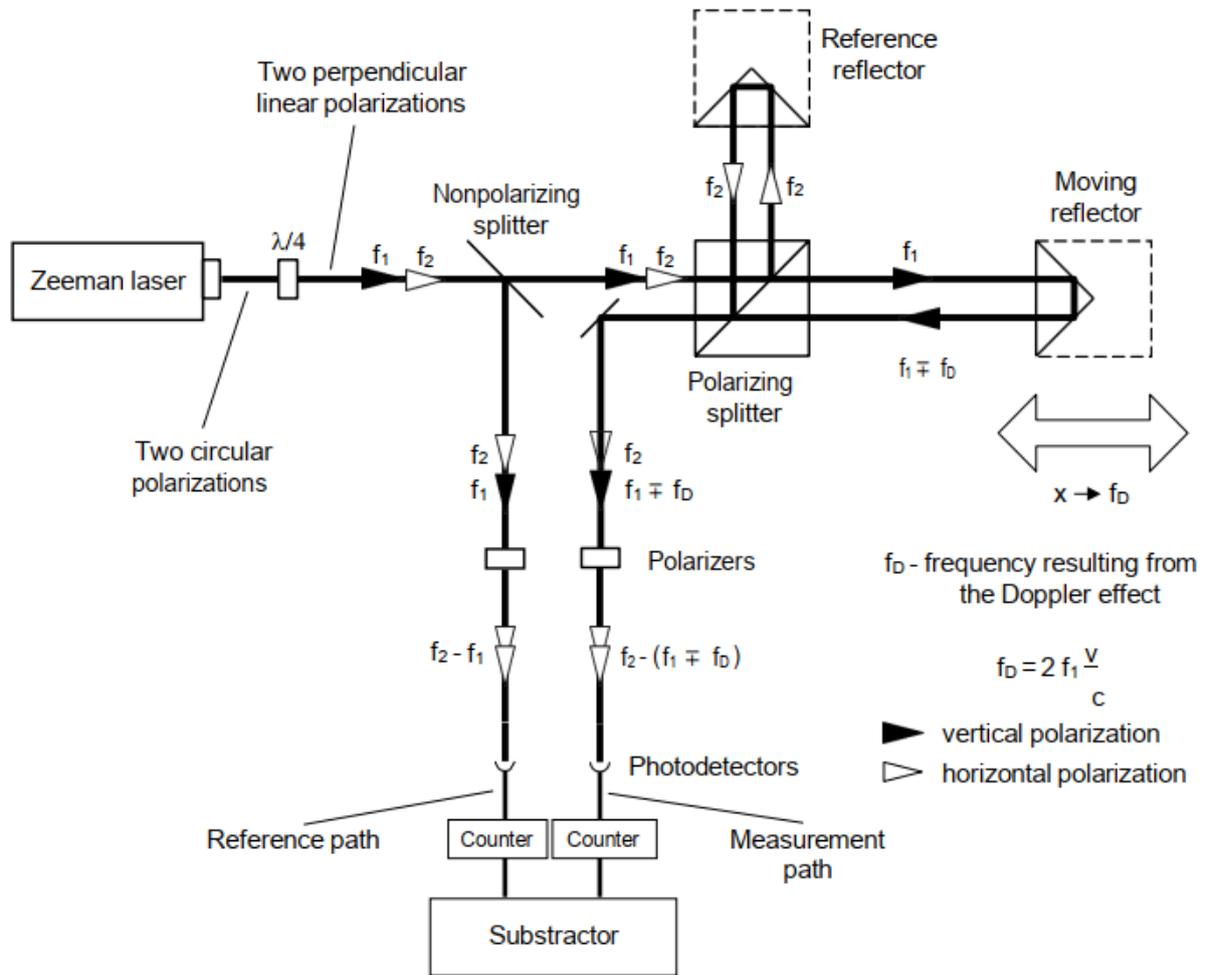


FIG.20.3. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN INTERFERÓMETRO, FUNCIONANDO SEGÚN EL MÉTODO HETERODINO

20.3 Influencia de las condiciones externas en la precisión de la medición

De acuerdo con la ecuación (1), la unidad de medida de un interferómetro en la medición de longitud es la *longitud de onda* del láser. De la definición

$$\lambda = \frac{v}{f} \tag{2}$$

la longitud de onda depende de la frecuencia f del láser y de la velocidad de la luz v en la ruta de medición. Si la medida se hace en el vacío, entonces $v =$

$c = 3 \cdot 10^8$ m/s. La velocidad de la luz en un medio que no sea el vacío (por ejemplo, aire, agua) es menor y se describe como

$$v = \frac{c}{n} \quad (3)$$

Donde: n – coeficiente de refracción.

Normalmente, el coeficiente de refracción n es una variable compleja o incluso un tensor, pero para cálculos menos precisos se simplifica a una constante. El coeficiente del aire depende principalmente de la presión P , la temperatura T y la humedad H . La dependencia de $n_{T,P,H}$ para el aire fue determinada empíricamente por Edlen y se describe como

$$n_{T,P,H} - 1 = 2,8775 \cdot 10^{-7} * P \frac{1+10^{-6}*P*(0,613-0,00997*T)}{1+0,003661*T} + \Delta n \quad (4)$$

$$\Delta n = -3,033 \cdot 10^{-9} * H * e^{-0,057627*T} \quad (5)$$

De las ecuaciones anteriores se pueden obtener las dependencias del coeficiente de refracción de T , P y H en condiciones habituales ($T=293K$, $P=1000hPa$, $H=50\%$):

$$\frac{\partial n}{\partial T} = -0,93 \cdot 10^{-6} \left[\frac{1}{K} \right]$$

$$\frac{\partial n}{\partial P} = +0,27 \cdot 10^{-6} \left[\frac{1}{hPa} \right]$$

$$\frac{\partial n}{\partial H} = -0,96 \cdot 10^{-8} \left[\frac{1}{\%} \right]$$

Cabe resaltar que el parámetro más crítico es la temperatura, porque su cambio influye en el coeficiente n más que los cambios en la presión y mucho más que los cambios en la humedad.

20.4 Precisión de los interferómetros láser

a. Errores causados por el entorno

La fuente más importante de errores en las mediciones de la geometría de la máquina es la temperatura (o más exactamente, el cambio de temperatura) de la máquina medida. Por ejemplo, si la base de la máquina está hecha de acero, entonces la longitud de la base aumenta $11.7\mu\text{m}$ cuando su temperatura cambia 1K . Muestra lo importante que es para mediciones muy precisas medir la temperatura de la parte controlada de la máquina y usarla en correcciones de lectura. Esta no es una tarea sencilla por varias razones, pero la más importante es que, cuando la máquina funciona, hay gradientes de temperatura en ella. Eso significa que se necesita más de un sensor de temperatura y que cuantos más sensores se utilicen, mayor precisión se puede lograr. Además, la forma de la parte medida de la máquina puede "absorber" una parte de la expansión del material, o tal parte puede estar construida con materiales de diferente capacidad de expansión.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la temperatura también influye en la precisión, ya que cambia el coeficiente de refracción del medio en el que se realizan las mediciones (generalmente es aire, pero puede ser, por ejemplo, agua). Se presentó una ecuación de Edlen que mostraba cómo cambia el coeficiente de refracción del aire con el cambio de la temperatura, la presión y la humedad del aire. Los errores causados por el cambio de la longitud de onda son menos importantes que los mencionados anteriormente, pero no se

pueden ignorar. Aproximadamente, un error de 1ppm (es decir, $1\mu\text{m}/\text{m}$) es causado por: los cambios de temperatura del aire de 1K, el cambio de presión del aire de 4hPa y el cambio de humedad del aire del 30%.

b. Error death path

Un error de ruta muerta *dead path* es un error asociado con el cambio en los parámetros ambientales durante una medición. Este error ocurre cuando alguna parte del camino de la luz (*dead path*) no está incluido en la compensación de temperatura (tanto del aire como de la base), presión y humedad.

El *dead path* de la trayectoria de la luz es una distancia entre el interferómetro óptico y la base (o el punto nulo) de la posición de medición (L1 en la figura 20.4). Deje que la posición del interferómetro y el retroreflector no cambie. Cuando hay un cambio en la temperatura, presión o humedad del aire, la longitud de onda cambia en toda la longitud del trayecto (L1 + L2). La longitud del camino cambia también cuando cambia la temperatura de la base. Pero el sistema de corrección utilizará la longitud de onda correcta sólo en la longitud L2 y corregirá sólo esta longitud. La corrección no se realizará en un camino muerto L1. De esta forma, el sistema láser “moverá” el punto base.

Un error *dead path* es tanto más grave cuanto mayor es la distancia entre el interferómetro y el punto base. Este error es especialmente importante en los interferómetros láser donde el interferómetro se construye en una carcasa común con un cabezal láser, ya que es muy difícil reducir su *dead path*.

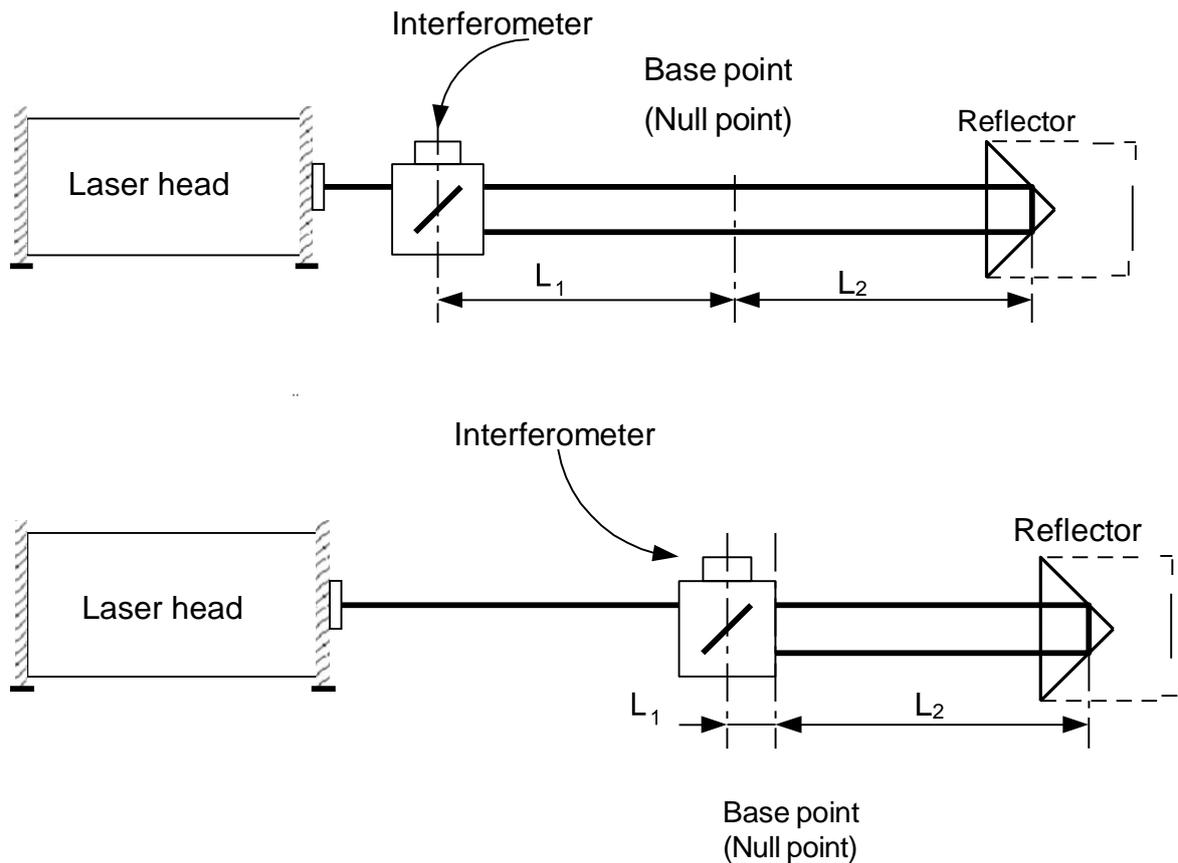


FIG.20.4. ILUSTRACIÓN DE UN ERROR DE DEAD PATH

Para reducir un error de dead path es conveniente un despliegue correcto de los componentes ópticos.

c. Error de coseno

Si el rayo láser no es paralelo a un eje medido de una máquina (es decir, la trayectoria óptica no está correctamente ajustada), se produce una diferencia entre la distancia real y la distancia medida. Este error de desalineación se conoce como *error coseno*, porque su magnitud depende del ángulo entre el rayo láser y el eje de la máquina (fig. 20.5).

Si, como reflector, se utiliza un espejo plano, entonces el haz debe ser perpendicular a él. Si la máquina cambia su posición del punto A al punto B, entonces el rayo permanece perpendicular al espejo, pero se mueve

sobre su superficie. La distancia medida por el interferómetro láser LLMS, será menor que la distancia real L_M de acuerdo a:

$$L_{LMS} = L_M * \cos\Theta \tag{6}$$

La ecuación anterior es válida también cuando se utiliza como reflector un cubo.

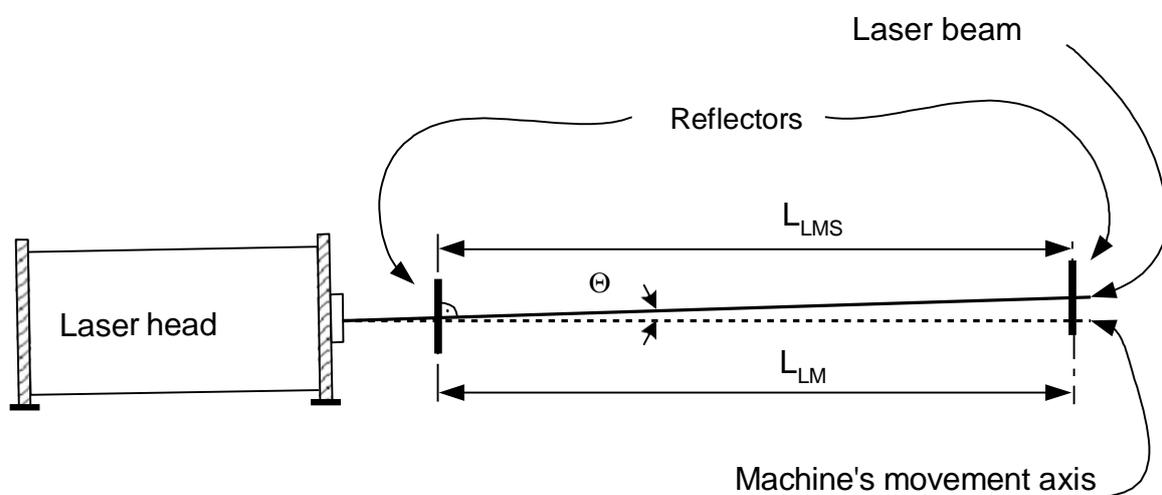


FIG.20.5. DESALINEACIÓN DEL HAZ COMO CAUSA DE UN ERROR DE COSENO

El único método para eliminar el error de coseno es una alineación adecuada del rayo láser realizada antes de una medición.

d. Error de Abbe

Un error de Abbe ocurre cuando, durante las mediciones, la parte medida no se mueve perfectamente recta y aparecen movimientos angulares, que provocan la inclinación del retroreflector. La inclinación del reflector es mayor cuanto mayor es la distancia entre el eje de medida y el eje de movimiento. Esta distancia se denomina *compensación de Abbe*. Sólo son importantes los movimientos en el eje de la medida (ver fig. 20.6).

Un error de Abbe puede evitarse sólo cuando no hay movimientos angulares del retroreflector en el eje de las medidas.

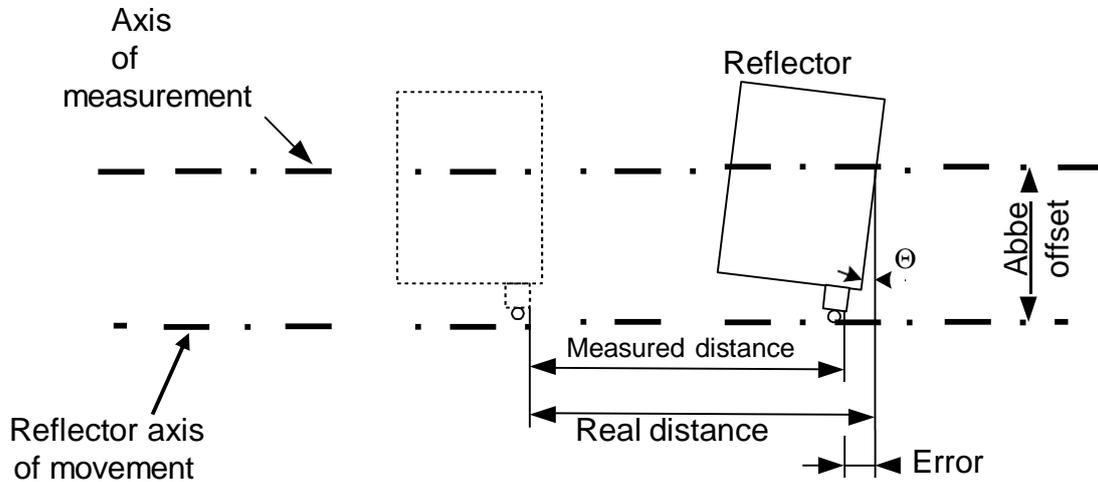


FIG.20.6. ILUSTRACIÓN DE ERROR ABBE

20

e. Error de estabilidad del láser

Como ya se mencionó, en las mediciones con láser, la inestabilidad de la longitud de onda del láser cambia directamente la lectura del interferómetro, p. ej, una inestabilidad relativa del láser en el rango de 1ppm (10^{-6}), provoca un error de $1\mu\text{m}$ por cada 1m de distancia medida. Por lo tanto, el error de inestabilidad del láser es importante principalmente en mediciones en el vacío (donde el coeficiente de refracción es constante) y cuando se utiliza un láser de baja estabilidad (por ejemplo, un láser semiconductor). La estabilidad de los láseres de gas HeNe que se utilizan normalmente en los sistemas de medición láser es de 0,02 ppm, por lo que el error de estabilidad puede despreciarse.

f. Otros errores

En algunas condiciones, la parte electrónica del interferómetro puede

causar un error notable. Como la electrónica se usa principalmente para contar, los errores pueden estar asociados con errores de conteo (algunos pulsos no se cuentan) o con errores de cálculo (los cálculos se realizan con precisión finita).

g. Resumen de errores de sistemas de medición láser

Para mostrar cuál de los errores influye más en la precisión de un sistema de medición láser, en las figuras 20.7 y 20.8 se muestra un ejemplo de cálculo de errores en una máquina de acero de 1 m de largo. Se deben tener en cuenta las diferentes escalas de los gráficos.

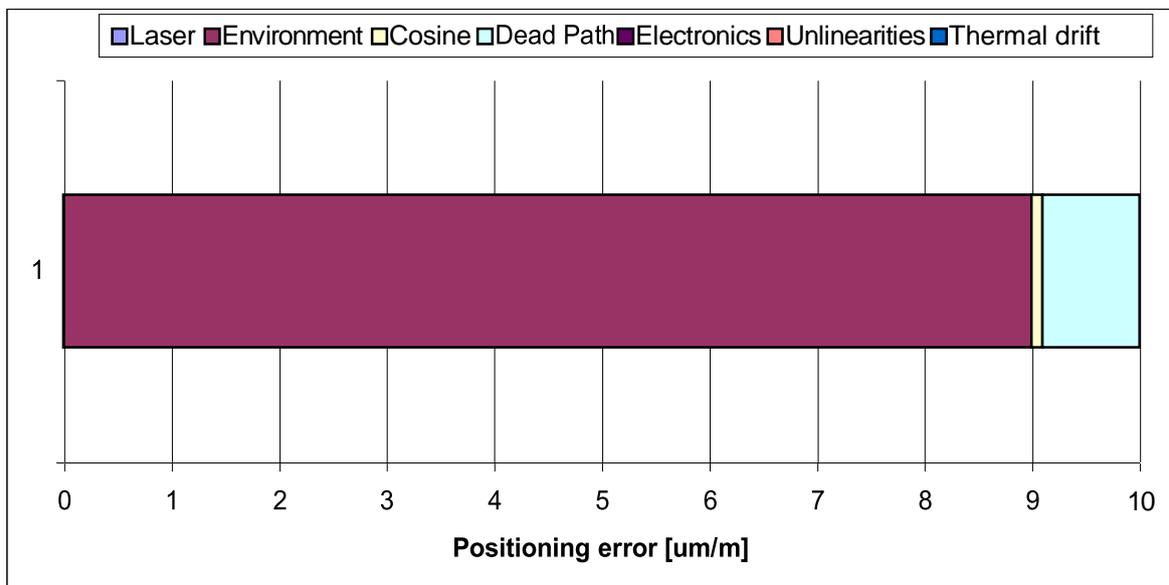


FIG.20.7. CÁLCULO DE ERRORES PARA UN SISTEMA DE MEDICIÓN LÁSER SIN COMPENSACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

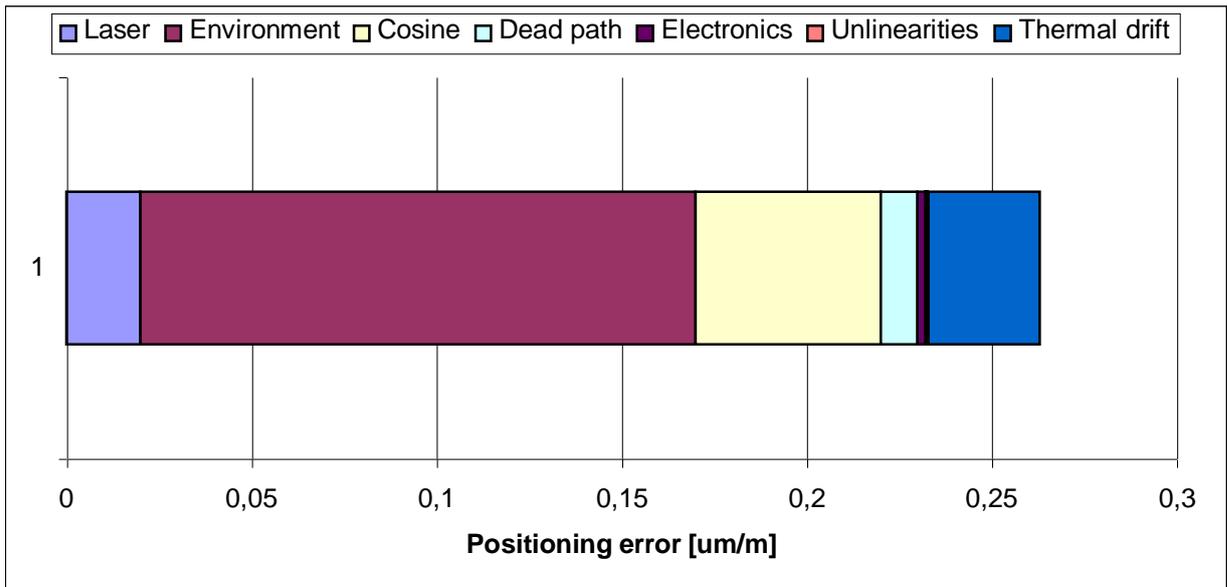


FIG.20.8. CÁLCULO DE ERRORES PARA UN SISTEMA DE MEDICIÓN LÁSER CON COMPENSACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

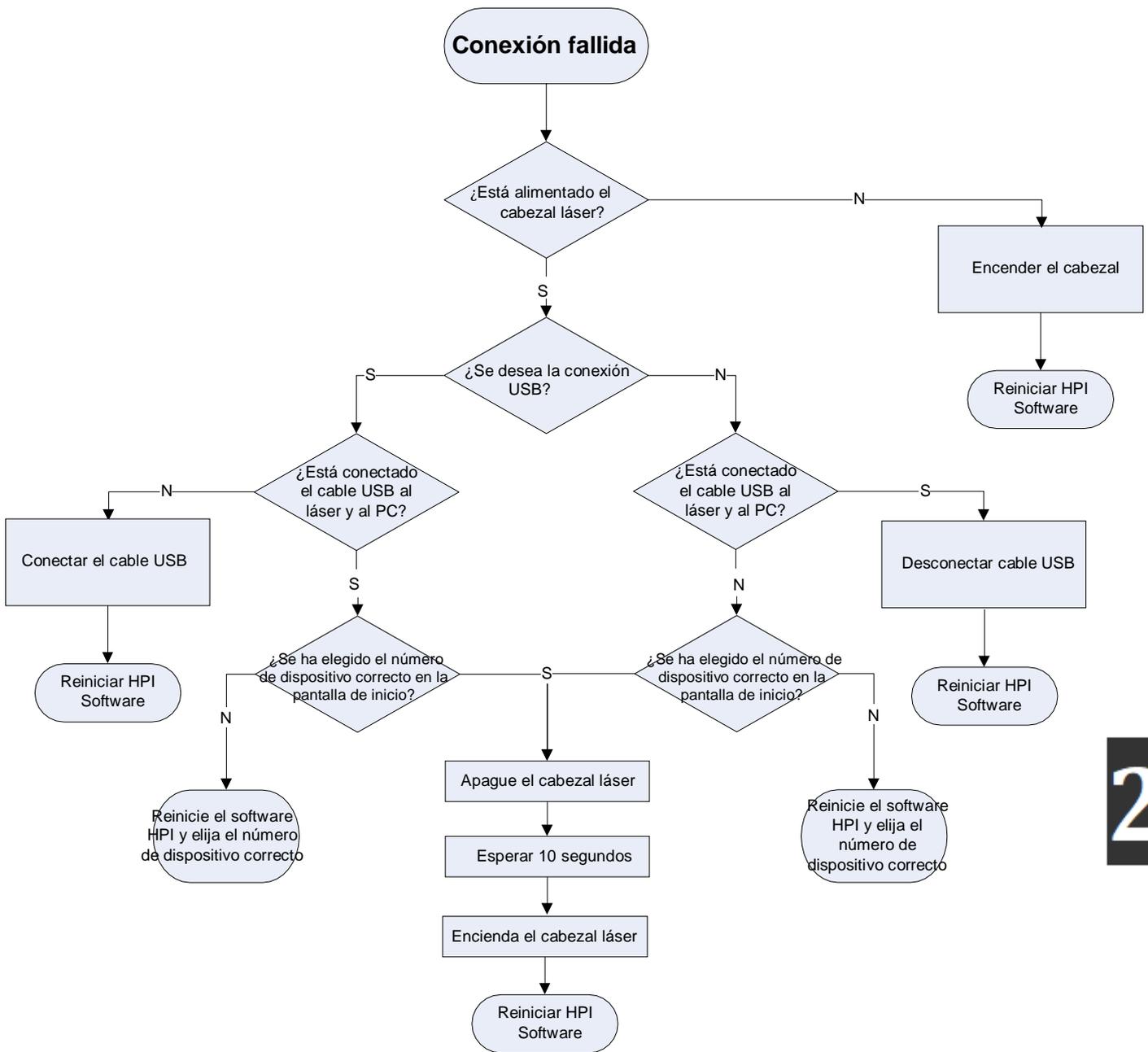
21. PROBLEMAS GENERALES

21.1 Descripción General

La solución de posibles problemas con el HPI-3D se muestra en este capítulo mediante diagramas de bloques. En cada diagrama, el primer bloque en la parte superior nombra el problema que trata el diagrama.

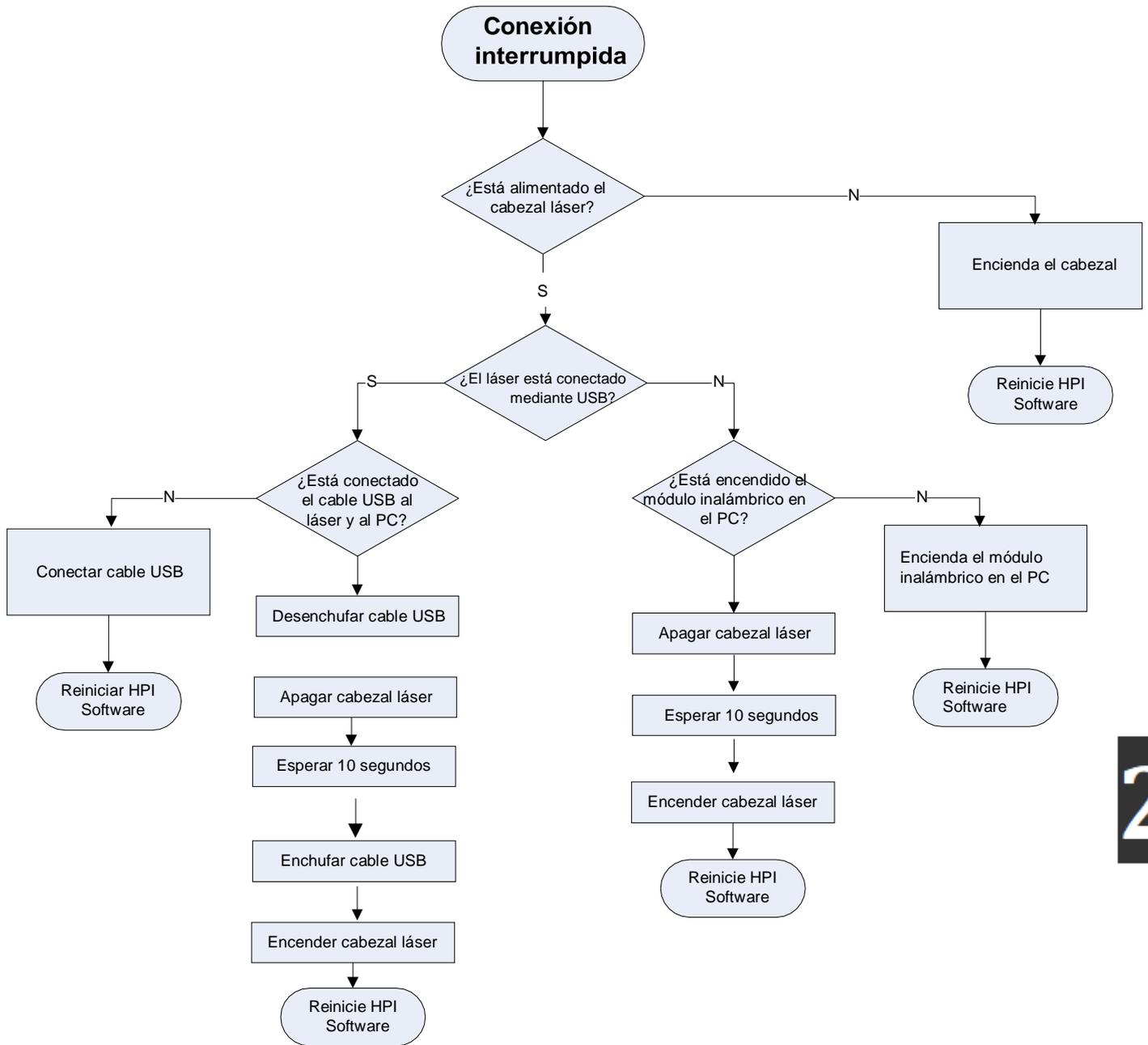
21.2 Problemas de conexión USB o Bluetooth

Los diagramas para resolver problemas de conexión se muestran en la figura 21.1 - problema de conexión fallida y en la figura 21.2 - problema de conexión interrumpida.



21

FIG.21.1. TABLA DE FALLOS DE CONEXIÓN

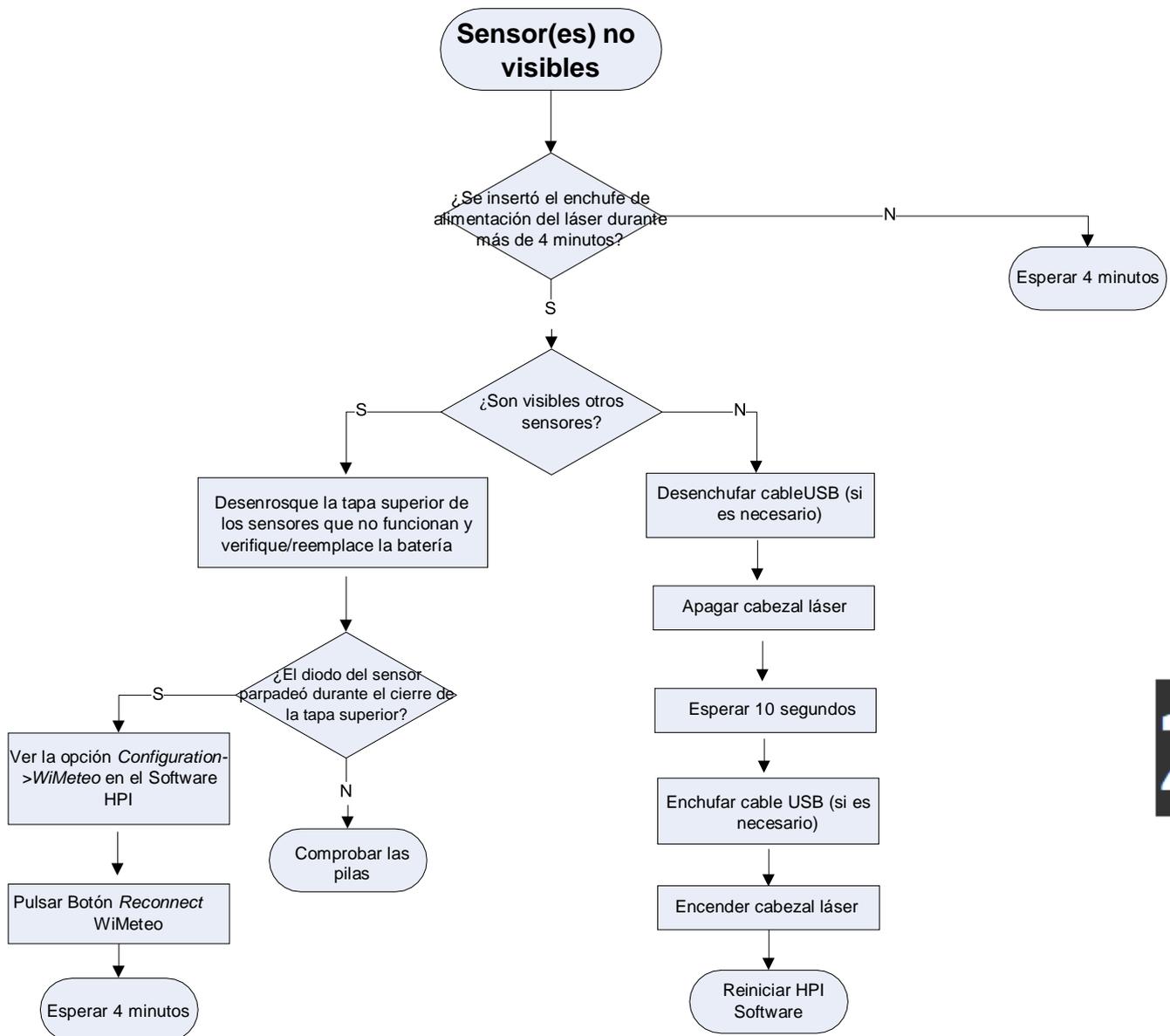


21

FIG.21.2. TABLA DE CONEXIONES INTERRUMPIDAS

21.3 Problemas de conexión con los sensores inalámbricos

Los diagramas para la solución de problemas de conexión con uno o más sensores se muestran en la figura 21.3.

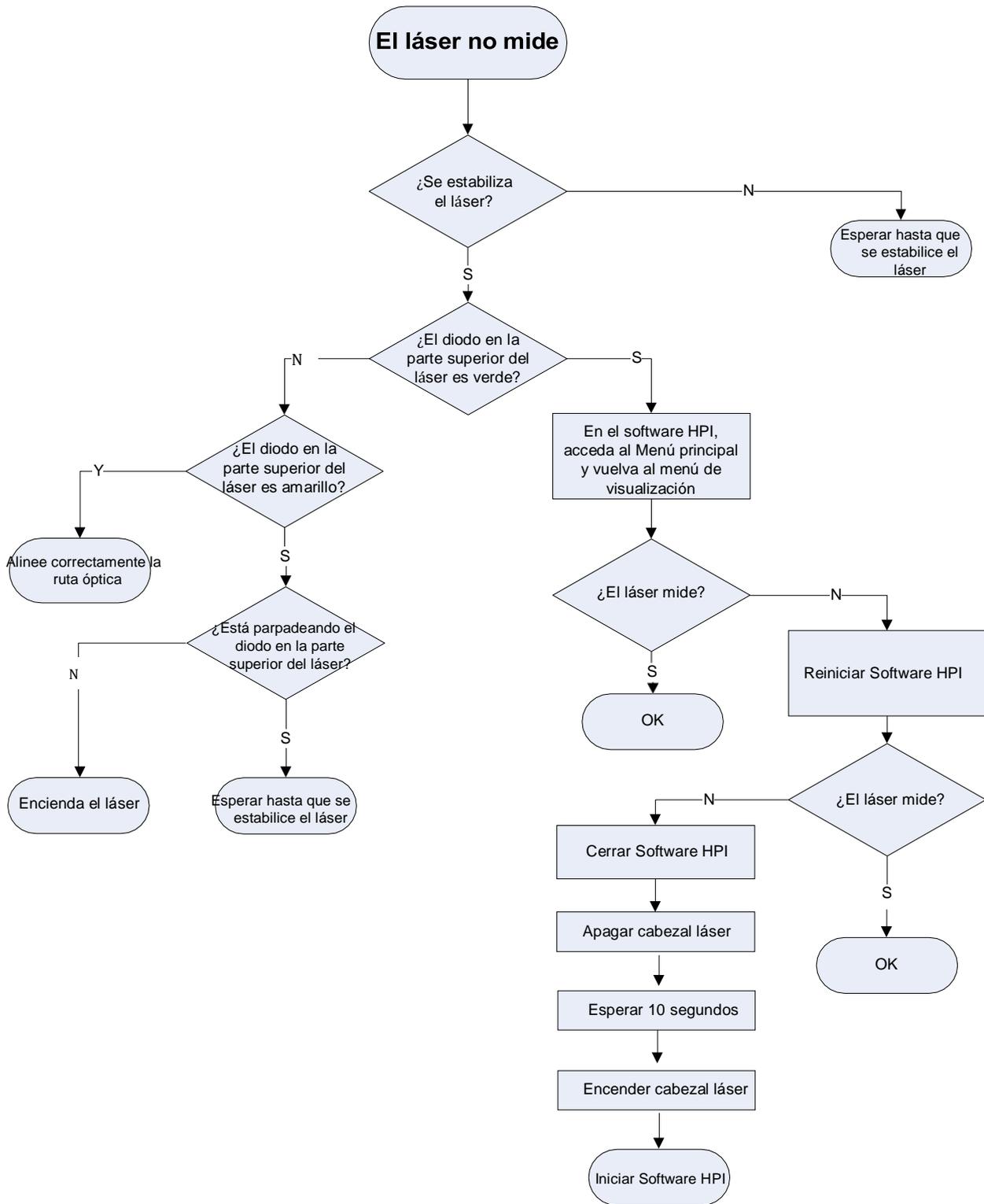


21

FIG.21.3. TABLA DE PROBLEMAS DE CONEXIÓN DE SENSOR(ES)

21.4 Problemas con mediciones lineales

En las figuras 21.4 y 21.5 se presentan los diagramas para la resolución de problemas con mediciones y estabilización láser.



21

FIG.21.4. CUADRO DE PROBLEMAS DE LÁSER SIN MEDIR

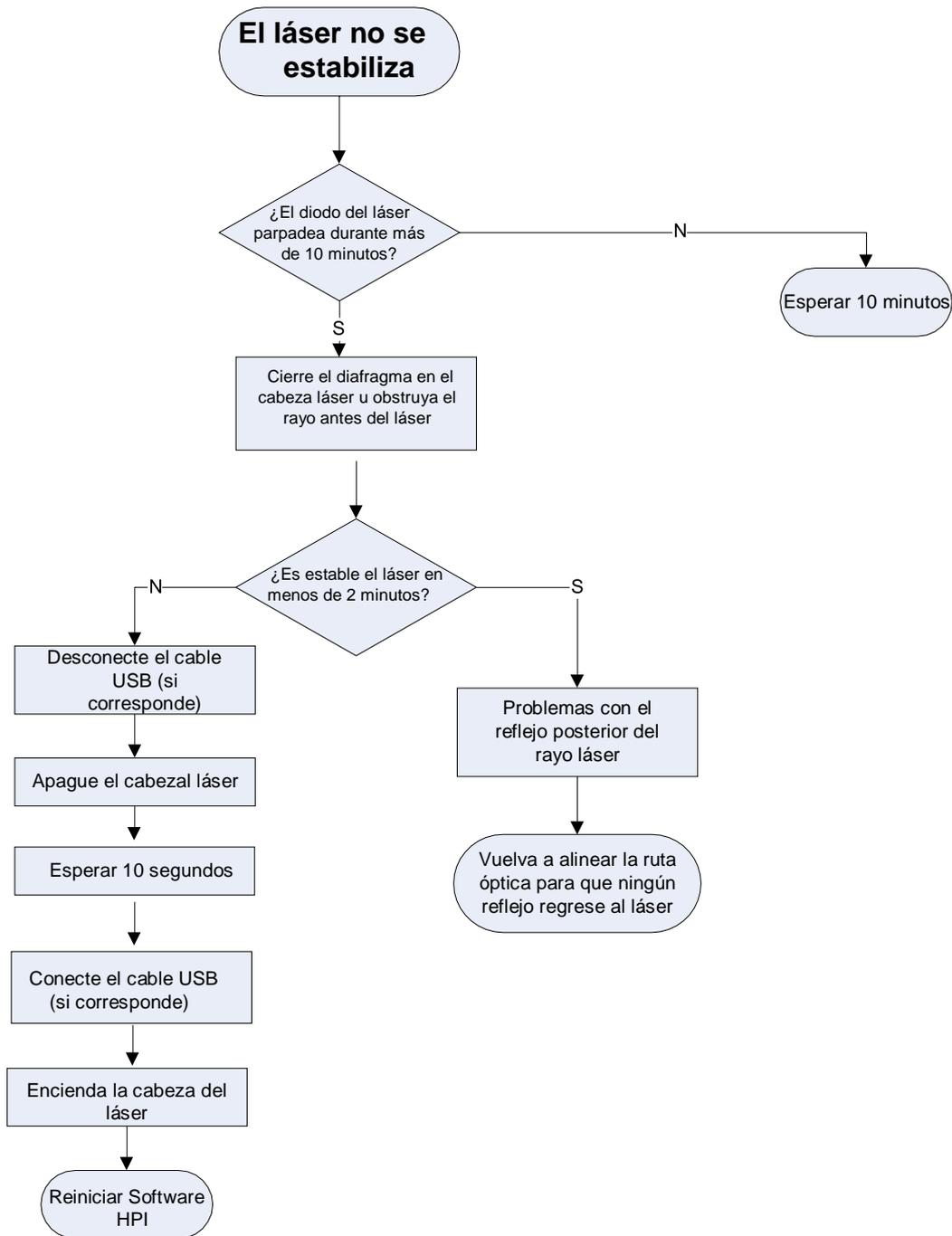


FIG.21.5. TABLA DE PROBLEMAS DE LÁSER NO ESTABILIZADO

22. DATOS TÉCNICOS

22.1 Especificaciones del sistema

Measurement	Range	Resolution	Accuracy
Distance	0 – 30 m	100 pm	0,4 μm/m
Velocity	0 – 7 m/s	0.25 μm/s	0,1 %
Angular	0 – 3600 arcsec	0,001 arcsec	± 0,1 ppm
Straightness measurement (with angular optics)	0 – 15 m	0,01 μm (for 100 mm base)	± 0,2 %
Straightness measurement (with 3D optics)	0 – 6 m	0.1 μm	±(10+10*L)μm
Flatness	0 – 15 m	0,01 μrad (for 100 mm base)	± 0,2 % x L
	Vertical range ±2 mm		
Straightness measurement (with Wollaston prism)	0.3 – 9 m	0.01 μm	±0.5% x L μm
	Vertical range up to ±30mm		
Squareness	± 1000 arcsec	0.01 μm	± 0,5 arcsec
Rotary measurements	± 720 °	0,04 arcsec	± 0,2 %

L = axis length in meters

22.2 Cabezal Laser

Laser type	HeNe laser with frequency stabilization
------------	---

22

Heating time	Approx. 5 min
Wavelength (vacuum)	632,990566 nm 632,992031 nm
Wavelength accuracy	± 0,005 ppm
Short time stability	± 0,001 ppm (1 hour)
Output power	900 – 1000 µW
Beam diameter	8 mm
Distance between outgoing and ingoing beam	12,7 mm
Laser Head dimensions	45x70x245 mm
Net weight	1500 g
Safety class	Class 2 Laser product according to PN-91/T-06700

22.3 Salidas del Cabezal Láser - analógica

Signal type	SinA / CosB
Voltage level	1 Vpp
Signal resolution	User defined: from 40nm/period to 200µm/period in 40nm/period step
Maximal signal frequency	2.5 MHz

22.4 Salidas del Cabezal Láser– digital, tipo 1

Signal type	A quad B
Voltage level	5 V differential CMOS
Signal resolution	User defined: from 1nm/transition to 5µm/transition in 1nm/transition step
Maximal signal frequency	25 MHz

22

22.5 Salidas del Cabezal Láser– digital, tipo 2

Signal type	Shift / Sign
Voltage level	5 V differential CMOS
Signal resolution	User defined: from 0.1nm/pulse to 5um/pulse in 0.1nm/pulse step
Pulse width	5 ns
Maximal signal frequency	100 MHz

22.6 Salidas del Cabezal Láser– Pines del Conector de Extensión

Connector type	Hirose Connector LX40-20P CL No. CL245-0017-0
----------------	--

Pin number	Function
1.	24V Supply
2. Digital IO	Reserved for future use
3. Digital IO	Reserved for future use
4. Digital IO	Reserved for future use
5. Digital IO	Reserved for future use
6. Digital IO	Reserved for future use
7. Digital IO	Reserved for future use
8. Digital IO	<ul style="list-style-type: none"> Negative output of Differential B signal pair (Digital AquadB Output) Negative output of Differential Sign signal pair (Shift/Sign Output)

9.	Digital IO	<ul style="list-style-type: none"> Negative output of Differential A signal pair (Digital AquadB Output) Negative output of Differential Module signal pair (Shift/Sign Output)
10.	Digital IO	<ul style="list-style-type: none"> Positive output of Differential B signal pair (Digital AquadB Output) Positive output of Differential Sign signal pair (Shift/Sign Output)
11.	Digital IO	<ul style="list-style-type: none"> Positive output of Differential A signal pair (Digital AquadB Output) Positive output of Differential Module signal pair (Shift/Sign Output)
12.		5V Supply
13.	Analog Output	Negative output of Differential Cosine signal pair (Sine/Cosine Output)
14.	Analog Output	Negative output of Differential Sine signal pair (Sine/Cosine Output)
15.	Analog Output	Positive output of Differential Cosine signal pair (Sine/Cosine Output)
18.	Analog Output	Positive output of Differential Sine signal pair (Sine/Cosine Output)
17.		Ground
18.		Ground
19.		Ground
20.		Ground

22.7 Condiciones de trabajo del sistema

Temperature range	0 – 35 °C
Humidity range	10 – 90 % (non-condensing)

22.8 Fuente de alimentación

Voltage	90-230 VAC, 50-60 Hz
Power	100 W (during heating) 15 W (work)

22.9 Interfaz de PC

Type 1	USB 2.0
Data rate	3125000 bps (VCOM)
Type 2	Bluetooth 2.0 + EDR
Connection	Point-to-Point (pico net)
Frequency	2.400 to 2.4835 GHz
Tx Power	Max 18 dBm (Class 1)
Rx Sensitivity	-86 dBm typical
Coverage	Up to 25m

22.10 Compensación ambiental

Compensación de longitud de onda

Manual	Environments parameters entered from keyboard
Automatic	With the use of the Environmental Compensation Unit - (ECU) .

Parámetros de la unidad de compensación ambiental inalámbrica - compensación (ECU)

Air temperature	Range 0 – 50 °C, accuracy 0,15 °C
Base temperature	Range 0 – 50 °C, accuracy 0,1 °C
Pressure	Range 940 – 1060 hPa, accuracy 1 hPa
Humidity	Range 10 – 90 %, accuracy 10 %
Time constants	Temperature 8 s, pressure 2s, humidity 20 s
Dimension	φ50x55 mm
Net weight	150 g

Compensación *inalámbrica* de temperatura del material

Manual	Temperature of material entered from keyboard
Automatic	With the use of 1 to 3 wireless temperature sensors .
Temperature sensor	Pt-1000
Time constant	10 s
Net weight	150 g

Nuestros productos están sujetos a continuo desarrollo y mejora. Propenso a cambios técnicos sin previo aviso.



Lasertex sp. z.o.o.
Research and Development Company
ul. Swojczycka 26, 51-501 Wrocław
☎ +48 71 372 43 06
+48 502 312 432
+48 509 495 023

@ sales@lasertex.eu
www.lasertex.eu

