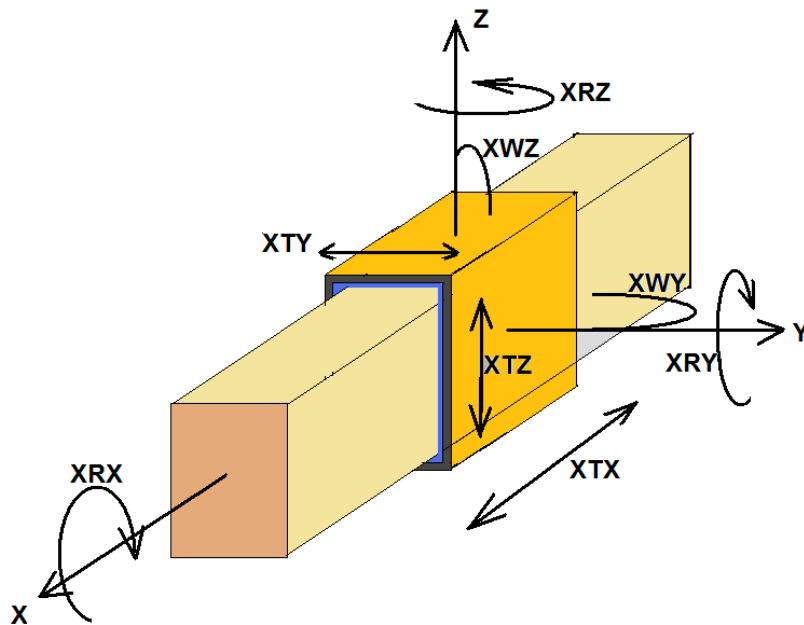


## **Diseño y construcción de una barra de bolas interferométrica**

Proyecto realizado para Volkswagen de México en la división de metrología dimensional

## Métodos para determinar los errores de una Máquina de medición por coordenadas CMM



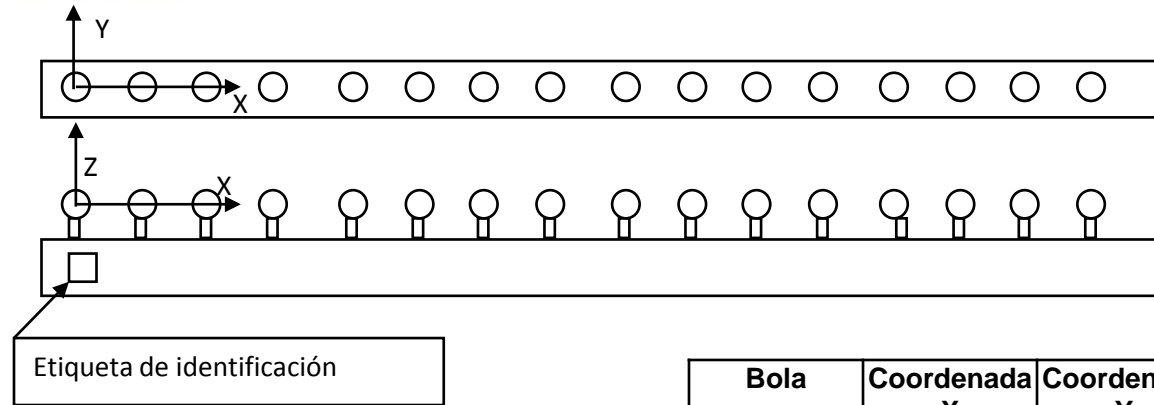
### Medición directa con instrumentos

- Interferómetro
- Niveles electrónicos
- Auto colimador
- Esferas o anillos de referencia

### Determinación de errores con artefactos calibrados

- Barra de bolas
- Patrón escalonado (barra de pasos)
- Placa de bolas
- Placa de agujeros

## ¿Cómo se usa la barra de bolas?



$$Dp = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

Bola	Coordenada X en mm	Coordenada Y en mm	Coordenada Z en mm	Lp en mm
1	0	0	0	0,0000
2	100,0743	-0,063	-0,1264	100,0744
3	199,8803	-0,1199	-0,0405	199,8803
4	300,3118	-0,0541	-0,2044	300,3119

•La evaluación de desempeño con barra de bolas se realiza a partir de la medición de la barra en varias posiciones (ISO 10360 parte 2)

Los valores medidos por la máquina se comparan con los valores del certificado de la barra de bolas.

•La determinación de los errores de la máquina se hace siguiendo un procedimiento de medición con la barra y a los resultados se aplican algoritmos, para cada uno de los errores.

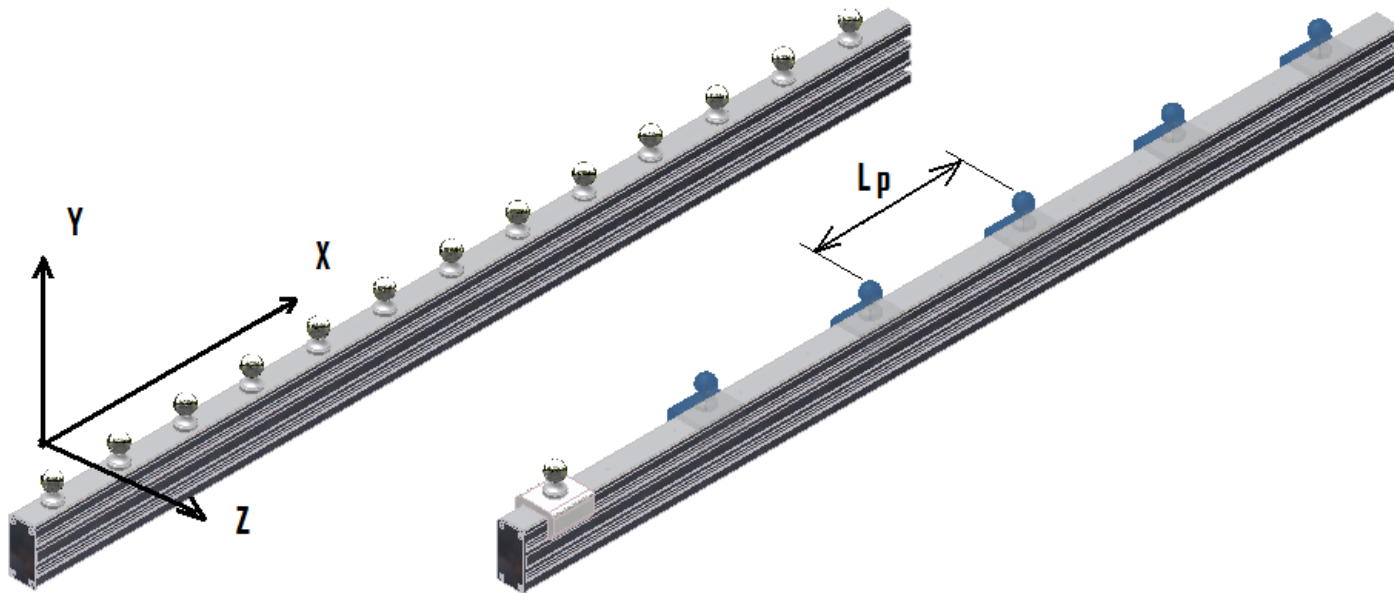
## Uso de interferómetro laser según ASME B89.4.10360.2-2008

1. Utilizando un riel transportador de un bloque patrón como superficie de contacto para el palpador de la CMM
2. Utilizando un riel transportador de una esfera cuya redondez esta calibrada.

En ambos casos el interferómetro mide la distancia que el riel transportó al bloque patrón o a la esfera y es esta distancia la distancia patrón.

3. Es posible usar un interferómetro láser para evaluación de longitudes en MMC sin contacto, utilizando únicamente la comparación de la longitud desplazada por el ram de la CMM y la longitud de desplazamiento medida por el interferómetro láser.

## ¿Qué es? Una Barra de bolas Interferométrica



En una barra de bolas fija calibrada se conocen las coordenadas  $X$ ,  $Y$  y  $Z$  de cada esfera, estas coordenadas son comparadas con las coordenadas  $X_m$ ,  $Y_m$  y  $Z_m$  reportadas por la MMC.

En una Barra de bolas interferométrica solo se conoce la posición en el eje  $X$  y se suponen  $Y=0$  y  $Z=0$  con una incertidumbre que depende la rectitud

## Requerimientos de una barra de bolas interferométrica (BBI).

### **Rectitud:**

Una buena rectitud del riel proporciona coordenadas más cercanas a cero en Y y Z además menor error de coseno, y menor error de Abbe.

### **Sistema de movimiento automatizado:**

Un sistema motriz permite al metrólogo mover la esfera a su siguiente posición sin alterar la posición del sistema de medición (CMM y BBI).

### **Sistema interferométrico:**

Es el instrumento patrón, su incertidumbre la hereda a la BBI.

Debe poder orientarse a todas la posiciones que la BBI tomará durante las mediciones.

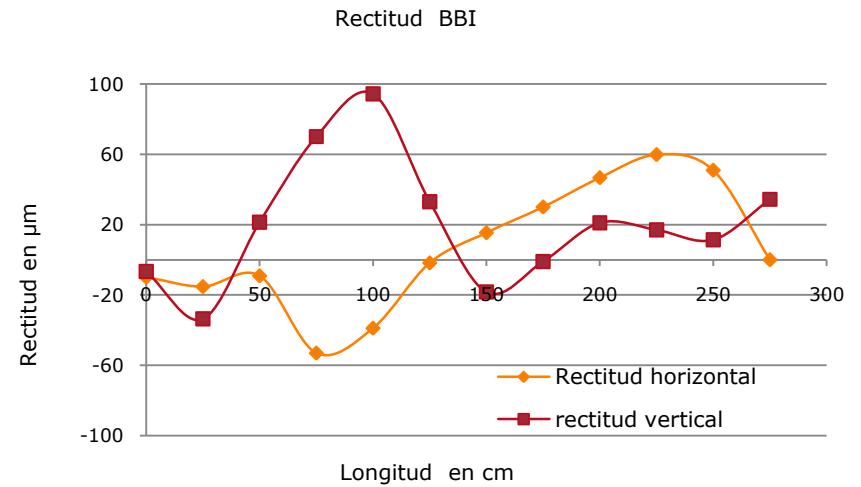
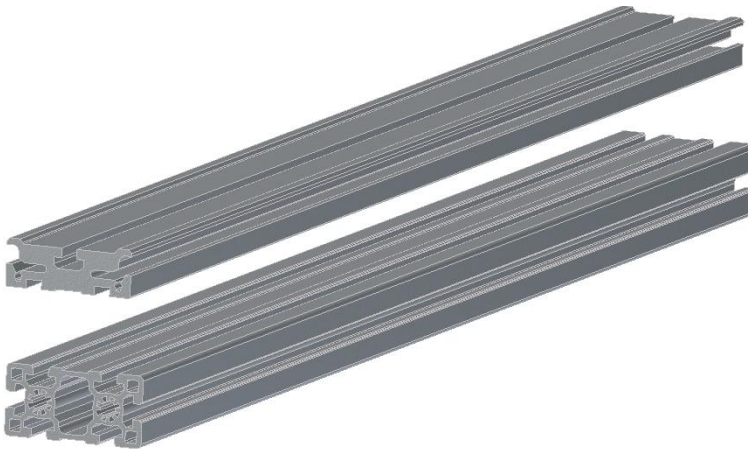
## Aplicación

Determinación de errores en una MMC o en una Láser Tracker

Evaluación de desempeño y ensayos de aceptación de MMCs según norma ASME B89.4.10360.2-2008 o para láser tracker ASME B89.4.19-2006

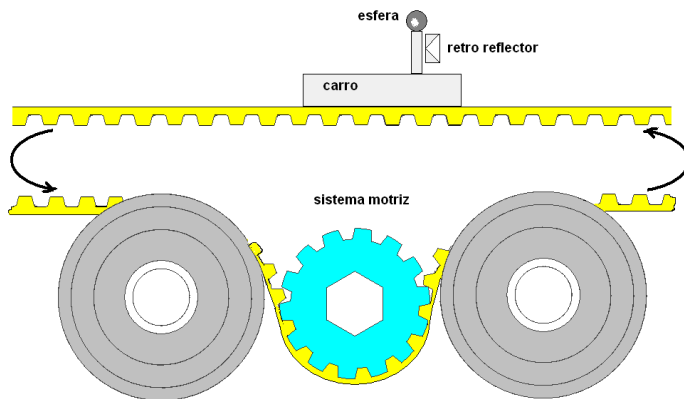
Ajuste de errores en ejes de MMC

# Diseño Mecánico



El riel utilizado esta formado por dos perfiles unidos con tornillos.

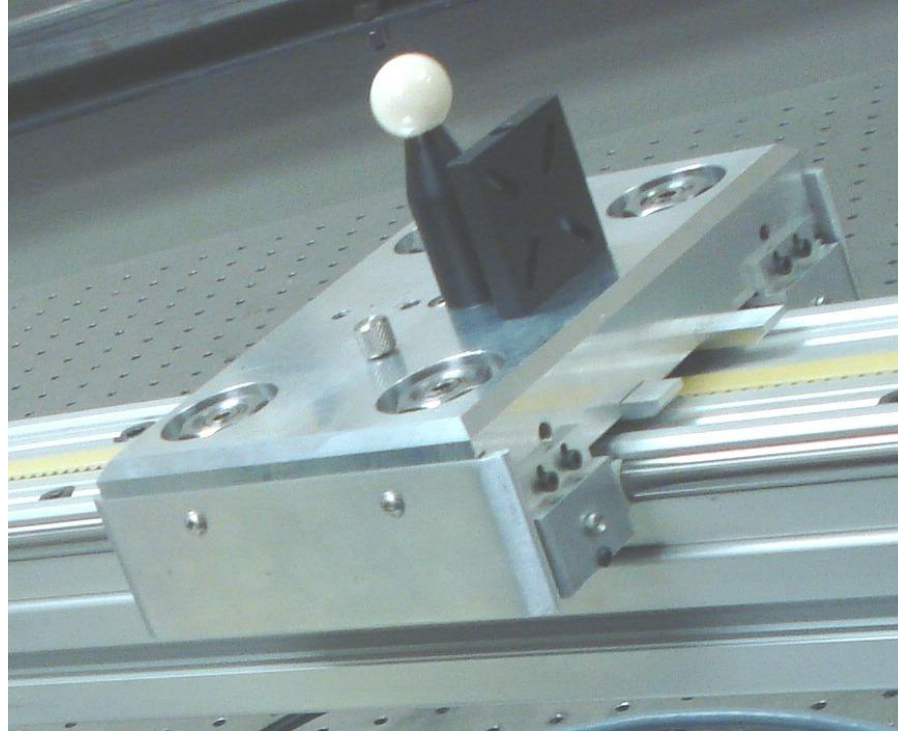
## Sistema Motriz



Transmisión de movimiento al carro por Banda dentada.

Se utilizó un motor a pasos con reductor para mover el carro aún en inclinaciones hasta de 70 Grados.  
Los componentes de la transmisión están embebidos en el peralte de la barra y cerca del punto Bessel.

## El carro

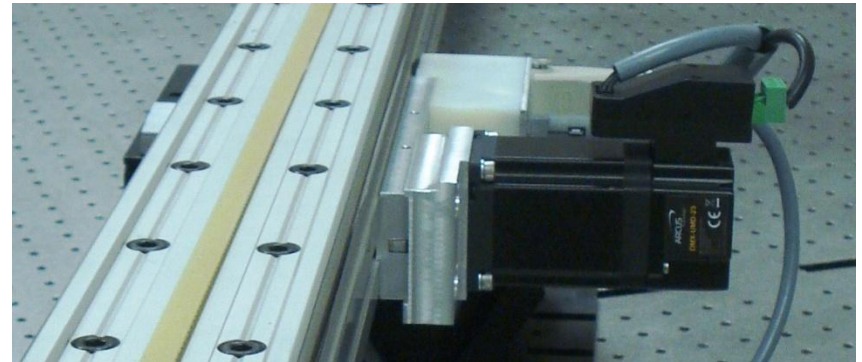


El carro lleva el soporte del retroreflector y la esfera de referencia.

Cuenta con mecanismo autolimpiante y lubricante para evitar que partículas alteren la rectitud del desplazamiento y es rígido para permitir el ajuste del juego de las ruedas sin deformarse.

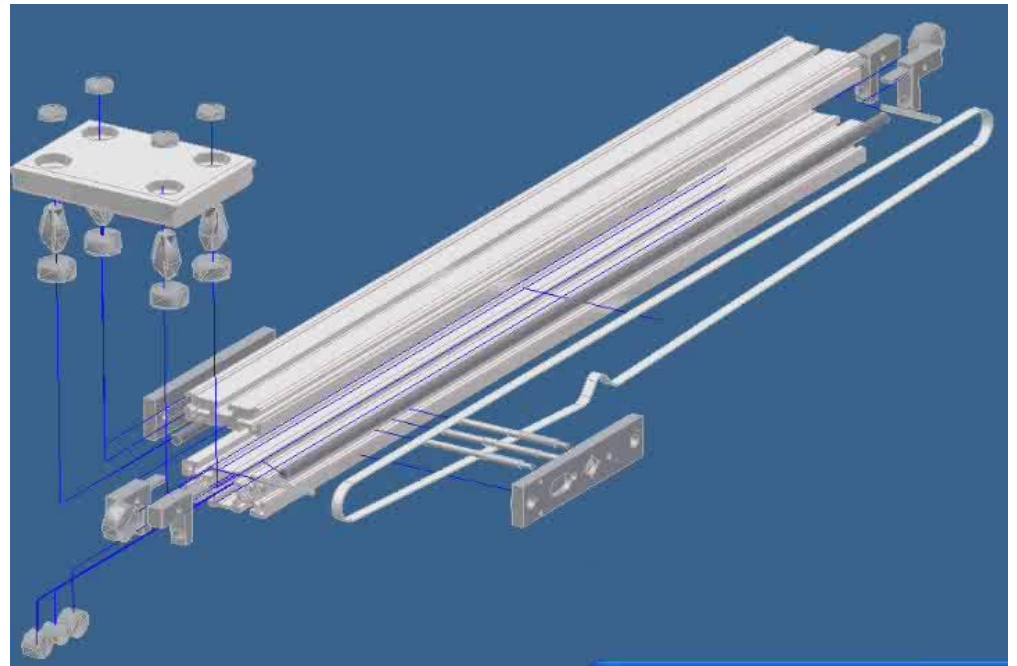
## Control de movimiento

El control de movimiento se programa en la memoria del control electrónico del motor.



Por medio del tablero se envían comandos para posicionar el carro en las estaciones de medición.

# Ensamble

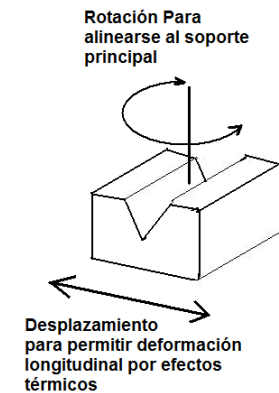
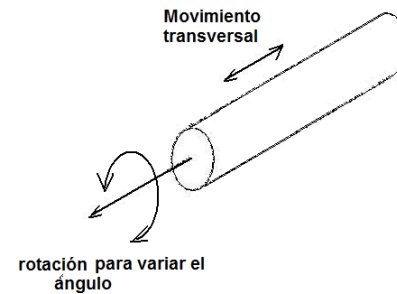
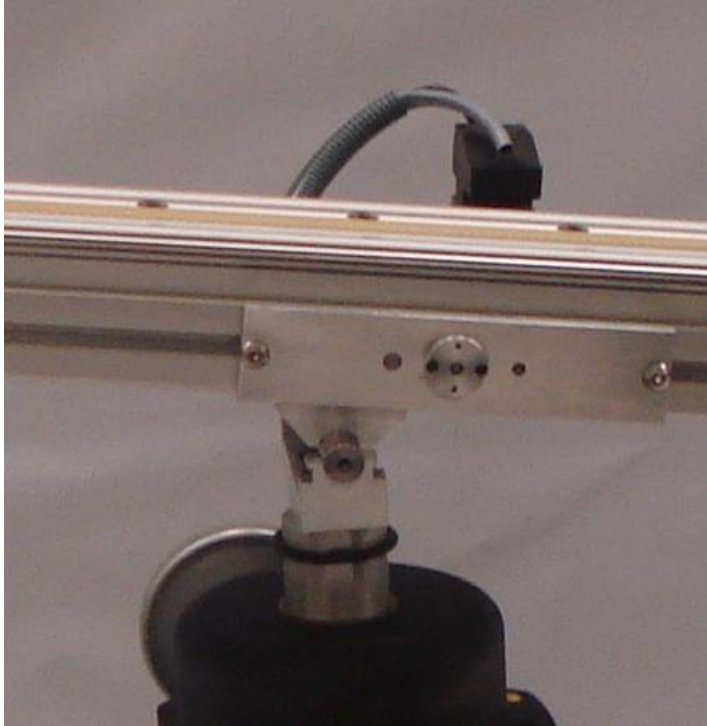


## Tripíes



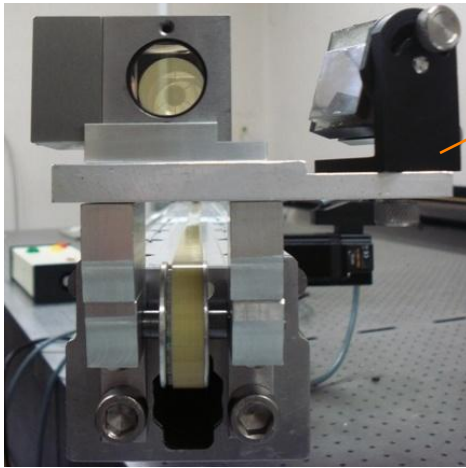
La BBI trabaja apoyada en dos tripíes en los puntos Bessel, sus soportes tienen grados de libertad que le permiten apoyarse libremente sin deformarse.

# Soportes

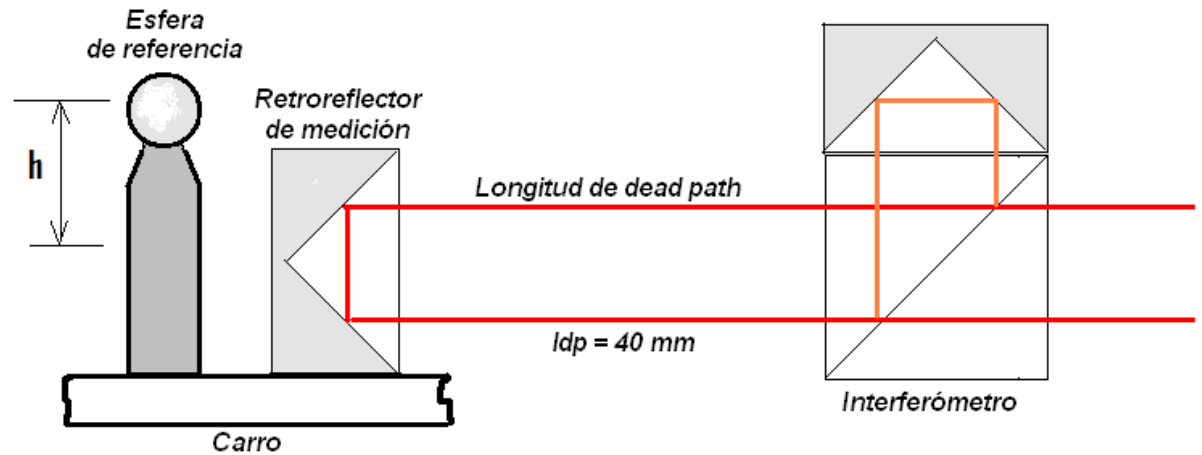
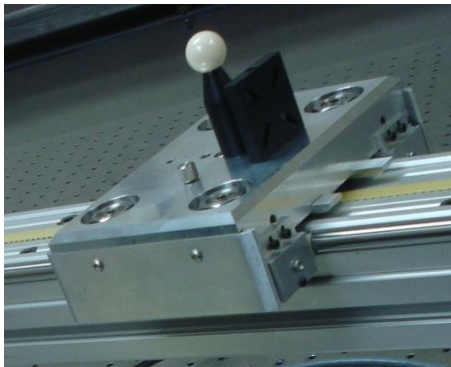


## Sistema interferométrico

La BBI esta diseñada para utilizar diferentes marcas de interferómetros.



Accesorio para alineación



Arreglo óptico

## Modelo de medición

$$L_p = \frac{m\lambda}{2n} \cos \alpha - edp - e_{abbe}$$

Donde

***m*** es el número de franjas leídas por el interferómetro.

**$\lambda$**  es la longitud de onda en el vacío de la cabeza láser

***edp*** es el error por dead path (camino muerto)

**$\alpha$**  es el ángulo por error en la alineación

***n*** es el índice de refracción del aire

## Incertidumbre.

$$U_{Lp}^2 = \mu_m^2 \left( \frac{m}{2n} \cos \alpha \right)^2 + \mu_\alpha^2 \left( -\frac{m\lambda}{2n} \sin \alpha \right)^2 + \mu_n^2 \left( \frac{m\lambda}{2n^2} \cos \alpha \right)^2 + \mu_\lambda^2 \left( -\frac{m}{2n} \cos \alpha \right) + \mu_{Abbe}$$

- $U_{Lp}$  es la incertidumbre combinada de la longitud patrón  
 $\mu_m$  es la incertidumbre de conteo del interferómetro  
 $\mu_\alpha$  es la incertidumbre en la alineación del láser y la trayectoria de la esfera.  
 $\mu_n$  es la incertidumbre en el índice de refracción.  
 $\mu_\lambda$  es la incertidumbre en la longitud de onda en el vacío.

El error de Abbe se puede calcular con

$$e_{Abbe} = h_{abbe} \tan \Delta\phi$$

$h = 25 \text{ mm}$  distancia de Abbe  
 $\Delta\phi$  = ángulo de Abbe

## Incertidumbre

Incertidumbre obtenida para el punto de mayor deformación:

El ángulo de Abbe es de 25 segundos de arco

Temperatura ambiente de  $20 \pm 0,2$  °C

Presión atmosférica de  $82 \pm 0,1$  kpa

Humedad relativa Hr de  $50 \pm 10$  %

**Incertidumbre estimada a un metro de distancia del inicio**  
 **$\pm 1,37 \mu m$  a  $2\sigma$ .**

## Conclusiones

La distancia patrón  $L_p$  depende del interferómetro por lo que su incertidumbre no variaría drásticamente por la manipulación.

Si se despega la esfera... no requerirá calibración después de ser pegada.

Las distancias  $L_p$  son variables.

Las expectativas a futuro son la superación de dos problemas encontrados en las BBI uno es **la rectitud**, la cual puede ser mejorada con sistemas de corrección de rectitud y el otro es **el peso**, con corrección de rectitud se podrán usar estructuras más ligeras aunque flexibles..

Gracias por su atención

