



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño de célula robotizada de mecanizado para su verificación volumétrica mediante tres brazos telescópicos.

Robotic machining cell design for volumetric verification by means of three telescopic arms

Autor

Borja León León

Directores

Francisco Javier Brosed Dueso

Juan José Aguilar Martín

Grado en Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería y Arquitectura 2023

Diseño de célula robotizada de mecanizado para su verificación volumétrica mediante tres brazos telescópicos.

Resumen.

El desarrollo de este Trabajo Final de Grado consiste en el análisis y diseño de los utillajes y cerramientos de seguridad necesarios para integrar un robot sobre una bancada disponible en el taller de trabajo.

Por otro lado también nos centraremos en el diseño de utillajes que nos permitan acoplar con facilidad y rigidez un sistema de verificación volumétrica a la mano de nuestro robot.

Los problemas abordados son el desarrollo de los utillajes de sujeción de anclaje (robot/cabecal/bancada), diseño de la mesa de trabajo y la selección de la posición adecuada del sistema de medición, formado por tres brazos telescópicos.

Para el desarrollo de los utillajes y cerramientos necesarios para el funcionamiento del sistema se parte del análisis de requerimientos del espacio en el que se va a ubicar la célula y de las tensiones a las que pueden ser sometidos sus componentes cuando el sistema esté en servicio. Mediante el software Solid Edge se realiza el diseño y análisis de los utillajes y la disposición del cerramiento previamente seleccionado.

En cuanto a establecer una posición adecuada para el sistema de medición nos ayudaremos del software Matlab, con el que realizamos varios ensayos hasta garantizar la posición adecuada para el correcto funcionamiento de nuestro sistema.

Finalmente se planifican los procesos de fabricación de los componentes diseñados y el montaje del sistema.

Abstract.

The development of this Final Degree Project consists of the analysis and design of the tools and security enclosures necessary to integrate a robot on a bench available in the workshop.

On the other hand, we will also focus on the design of tools that allow us to easily and rigidly couple a volumetric verification system to the hand of our robot.

The problems addressed are the development of anchor fastening tools (robot/head/bench), design of the work table and the selection of the appropriate position of the measurement system, made up of three telescopic arms.

For the development of the necessary tools and enclosures for the operation of the system, the analysis of the requirements of the space in which the cell will be located and the stresses to which its components may be subjected when the system is in service is started. Using the Solid Edge software, the design and analysis of the tools and the layout of the previously selected enclosure are carried out.

Regarding establishing an adequate position for the measurement system, we will use the Matlab software, with which we carry out several tests until we guarantee the adequate position for the correct functioning of our system.

Finally, the manufacturing processes of the designed components and the assembly of the system are planned.

Índice

1	Introducción.....	6
1.1	Marco.....	6
1.2	Alcance.....	6
1.3	Objetivos.....	7
1.4	Estructura de la memoria.....	7
2	Verificación volumétrica en máquina-herramienta.....	8
2.1	Definición.....	8
2.2	Instrumentos de medición.....	8
3	Material disponible, especificaciones y requisitos de espacio.....	9
3.1	Robot KUKA KR16.....	9
3.2	Sistema de medición longitudes.....	10
3.2.1	Componentes y parámetros de diseño.....	11
3.2.2	Técnica de medición.....	12
3.3	Electrohusillo.....	12
3.4	Bancada.....	13
3.5	Espacio de trabajo y ubicación.....	14
4	Configuración y posiciones de la célula.....	16
4.1	Parámetros de simulación.....	16
4.2	Ensayos Matlab.....	17
5	Diseño de los utillajes.....	19
5.1	Utillaje de unión bancada - robot.....	20
5.1.1	Placa base.....	20
5.2	Utillaje de unión Brida robot – Electrohusillo/Sistema de medición.....	23
5.2.1	Placa brida.....	23
5.2.2	Utillaje bola.....	25
5.3	Utillajes del sistema de medición.....	28
5.3.1	Utillajes nido bola.....	28
5.3.2	Utillaje travesaño nido bola.....	30
5.4	Utillajes mesa y pieza de trabajo.....	32
5.4.1	Pieza de trabajo.....	33
5.4.2	Placa intermedia.....	33
5.4.3	Mesa de trabajo.....	35

6	Definición y requisitos de la seguridad de la celda.	38
6.1	Medidas y sistemas de seguridad.....	38
6.1.1	Vallado de seguridad.	38
6.1.2	Cerradura de seguridad.	39
6.1.3	Pulsadores de emergencia.....	40
6.1.4	Señalización luminosa.	40
7	Conclusiones y líneas futuras.	41
8	Bibliografía.....	42

1 Introducción.

1.1 Marco.

El presente Trabajo de Fin de Grado se desarrolla en la Universidad de Zaragoza dentro en el Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación en un proyecto de investigación en la verificación volumétrica de máquina-herramienta y robot.

Para llevar a cabo este proyecto, es necesario desarrollar utillajes y cerramientos de seguridad que permitan integrar un robot, un electrohusillo y un sistema de medición sobre una bancada disponible al comienzo del trabajo.

Este proceso incluiría el análisis de las necesidades de sujeción y medición, selección del diseño de los utillajes y cerramientos adecuados y la evaluación de su funcionamiento en condiciones reales de trabajo garantizando la seguridad del sistema.

Debemos de tener en cuenta a la hora del diseño y análisis, que el propósito de la célula robótica es realizar operaciones de mecanizado sin grandes esfuerzos y mediante el sistema de verificación volumétrica evaluar la precisión y repetitividad de las posiciones, teniendo como referencia la punta de la herramienta que colocaremos en el electrohusillo.

1.2 Alcance.

Este estudio se centra en la búsqueda de un diseño robusto de sus utillajes, donde podamos garantizar una rigidez adecuada para evitar desviaciones y obtener como resultado una mayor precisión a la hora de medir y trabajar con la célula robótica

Para el diseño y análisis de los utillajes necesarios a integrar en la célula, debemos de considerar las especificaciones de los componentes que disponemos al inicio del estudio para llegar a una configuración correcta.

Es importante valorar aspectos como la geometría, dimensiones y capacidad de carga necesaria de los utillajes a diseñar y los elementos a sujetar.

En cuanto a las finalidades del diseño nos centramos en la fijación y sujeción de los distintos utillajes para alcanzar una posición correcta y estable, y por otro lado crear una serie de utillajes modulares que nos permite mayor versatilidad y flexibilidad a la hora de su aplicación.

Finalmente realizamos un análisis CAE (Análisis por Elementos Finitos) y volumétrico de los componentes para evaluar la resistencia, rigidez y geometría de los componentes.

1.3 Objetivos.

El objetivo de este trabajo de fin de grado se basa en el desarrollo de una célula robótica de mecanizado.

Nos centraremos en el diseño específico de los utillajes y los elementos de seguridad necesarios que conformaran nuestra célula.

El diseño de los diferentes utillajes nos debe permitir realizar diversos procesos montaje mediante los cuales se producirá la instalación de la célula:

- Utillaje que nos permita la fijación del robot a la bancada.
- Utillajes de acople mediante los cuales podemos implementar la herramienta o sistema de medición al brazo robot
- Utillaje que permitan la aplicación de la base del sistema de medición sobre la bancada.
- Utillaje de sujeción y ubicación de las piezas con las que trabajamos.

Además buscamos que los distintos utillajes sean versátiles, ligeros, robustos y fáciles de transportar. También buscamos que sea un diseño modular capaz de adaptarse a diferentes aplicaciones y su instalación se realice con facilidad.

Por último seleccionamos los elementos de seguridad necesarios para garantizar la seguridad de los operarios.

1.4 Estructura de la memoria.

La disposición que seguirá nuestra memoria será la siguiente:

- En el Apartado 2 explicamos en que consiste la verificación volumétrica y sus diferentes métodos y equipos.
- En el Apartado 3 exponemos el material disponible al inicio del proyecto con sus especificaciones y requisitos de espacio. realizamos el diseño y análisis de los utillajes, con las respectivas modificaciones impuestas para alcanzar el correcto funcionamiento de dichos componentes.
- En el Apartado 4 establecemos mediante diversas simulaciones las configuraciones, posiciones y diseños correctos para la célula.
- En el Apartado 5 realizamos el diseño y análisis de los utillajes que conforman la célula.
- En el Apartado 6 definimos los elementos y requisitos de seguridad de la celda.
- En el Apartado 7 exponemos las conclusiones y líneas futuras.

2 Verificación volumétrica en máquina-herramienta.

2.1 Definición.

En general, los sistemas de verificación volumétrica se utilizan en la industria manufacturera para garantizar la calidad de los productos y mejorar la eficiencia y productividad de los procesos de fabricación.

La verificación volumétrica en máquina – herramienta es un proceso que permite la minimización del error volumétrico de la máquina. Mediante una medición indirecta identificamos la diferencia entre los puntos teóricos introducidos en el control numérico y los reales capturados por los sistemas de medida.

El resultado es la minimización de esta diferencia mejorando la precisión de la máquina-herramienta

2.2 Instrumentos de medición.

Existen varios equipos con los que podemos llevar a cabo la verificación volumétrica en procesos de fabricación. A continuación se describen algunos de los instrumentos de medición más comunes:

- A).** *Interferómetros láser:* equipo de medición que aplica el fenómeno de interferencia de las ondas para estudiar los cambios de desplazamiento.
- B).** *Laser tracers:* instrumento de medición que nos informa de la distancia que hay a nuestro objetivo.
- C).** *Laser trackers:* sistema portátil de medición que proporciona datos como la distancia y los ángulos a nuestro objetivo, obteniendo la posición en coordenadas esféricas.
- D).** *Ball bars:* herramienta de medición de desviación esférica para evaluar la precisión volumétrica de máquinas herramientas.

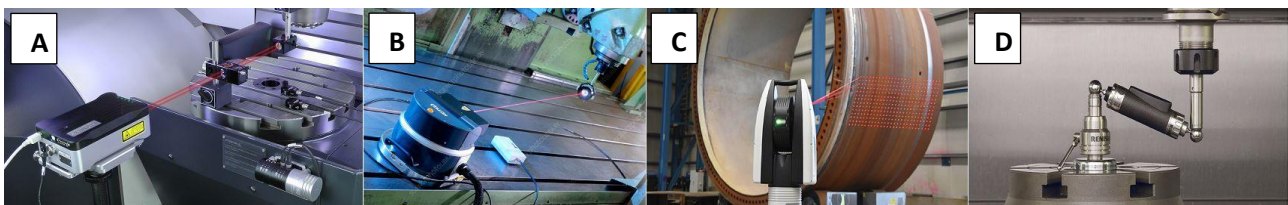


Ilustración 1. A) Interferómetro láser. B) Laser tracer. C) Laser tracker. D) Ball bars.

3 Material disponible, especificaciones y requisitos de espacio.

La elección de los componentes y espacios de trabajo que debemos tomar como punto de partida en este proyecto son el robot Kuka KR16, el sistema de medición de longitudes y el electrohusillo los cuales han sido seleccionados anteriormente para formar parte de nuestra célula. Por otro lado también debemos tener en cuenta el espacio de trabajo y la bancada donde van a ir colocados todos estos componentes.

Todos estos elementos disponibles y la creación de los nuevos utillajes darán lugar a la celda robótica, con las funciones de realizar procesos de mecanizado de pequeños esfuerzos y comprobar la repetitividad y precisión del brazo robot mediante el sistema de medición.

Estos elementos nos aportan numerosas especificaciones que debemos implantar en el análisis y diseño de los utillajes.

Por ello es importante analizar las características principales de estos elementos y espacios de trabajo.

3.1 Robot KUKA KR16.

El robot seleccionado es el KUKA KR 16, el cual nos permite alcanzar posiciones y trayectorias aptas para la configuración de la célula robótica.

A continuación destacaremos las características principales que influyen a la instalación y al servicio de nuestro robot:

Campo de aplicación: Mecanizado.

Montaje: Sobre una bancada

Carga útil:	16 kg
Carga adicional brazo / antebrazo / columna giratoria:	10 kg / variable / 20 kg
Carga total máx.:	46 kg
Numero de ejes:	6
Variante de muñeca:	Muñeca central 16 kg
Variante de muñeca:	Muñeca central 16 kg F
Brida de montaje A 6:	DIN ISO 9409-1-A50
Posición de montaje:	Piso, pared, techo
Repetibilidad:	± 0,05 mm
Unidad de control:	KR C2
Peso (sin unid. de control) aprox.:	235 kg
Espacio de trabajo:	14,5 m ³ ¹⁾
Datos de los ejes:	Campo (Software) Velocidad
Eje 1 (A 1)	± 185° ²⁾ 150° /s
Eje 2 (A 2)	+ 35° /- 155° 150° /s
Eje 3 (A 3)	+ 154° /- 130° 150° /s
Eje 4 (A 4)	± 350° 330° /s
Eje 5 (A 5)	± 130° 330° /s
Eje 6 (A 6)	± 350° 615° /s

¹⁾ Referido al punto de intersección eje 4/5.
²⁾ Limitación del campo de movimiento para montaje contra la pared.

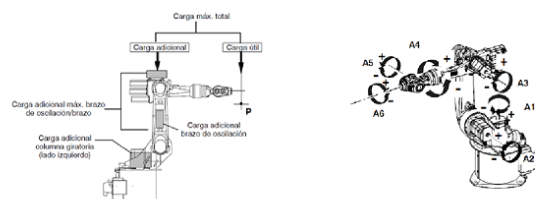


Ilustración 2. Características principales Kuka KR16.

Por otro lado también es importante conocer las fuerzas y momentos máximos a los que se somete el robot instalado sobre la bancada debido al manipulador y a la carga total.

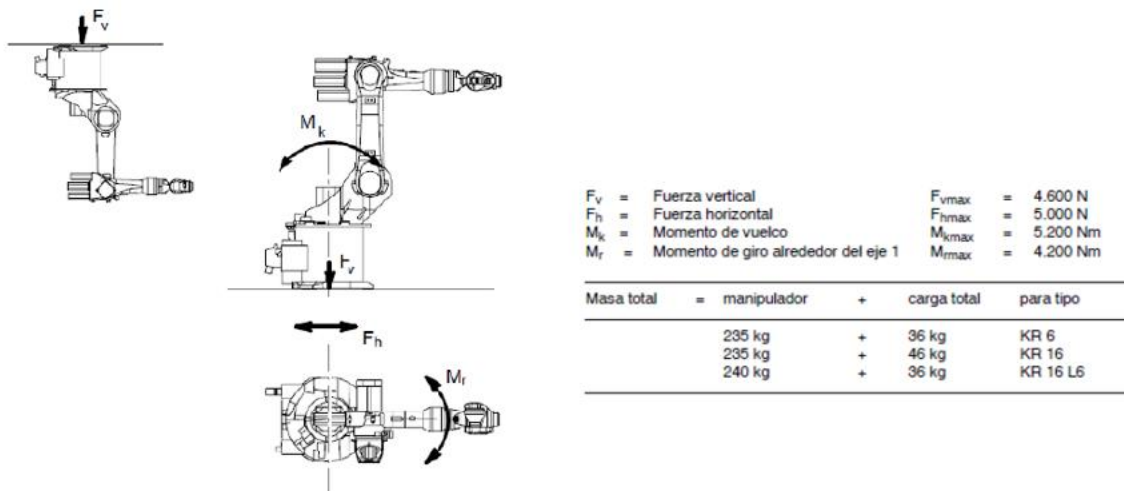


Ilustración 3. Fuerzas y momentos máximos Kuka KR16.

3.2 Sistema de medición longitudes.

El sistema de medición del que vamos a explicar su funcionamiento fue ideado y creado en la Universidad de Zaragoza en el departamento de Diseño y Fabricación de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura.

El sistema utiliza diferentes sensores para medir la posición y la orientación de la máquina herramienta en un espacio tridimensional. Estos datos se comparan con los valores teóricos y se determina si hay desviaciones, la cuales mediante ajustes podemos corregir y mejorar la precisión del sistema.

El sistema está compuesto de tres brazos telescópicos de alta precisión, tres esferas colocadas en la bancada y una cuarta esfera situadas en el brazo del robot, que operan de forma simultánea gracias a un novedoso acoplamiento cinemático multipunto, lo que permite una captura de datos en un solo ciclo y mejora la precisión de la medición, mediante la técnica de multilateración que veremos a continuación.

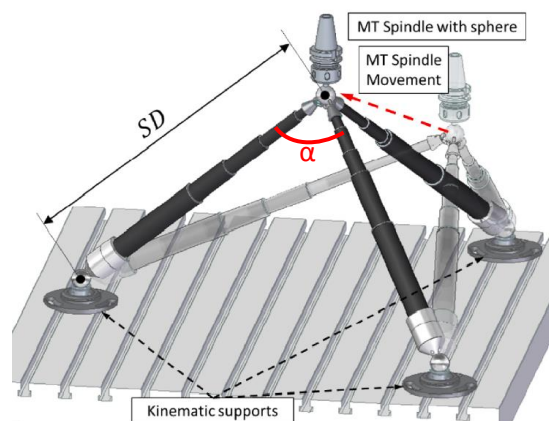


Ilustración 4. Sistema de medición volumétrica.

3.2.1 Componentes y parámetros de diseño.

Brazos telescópicos:

El sistema diseñado está formado por tres brazos telescópicos autorregulares. Cada brazo consta en un extremo de una esfera, la cual que le permite registrarse y girar con respecto a un punto de la bancada mediante un apoyo cinemático.



Ilustración 5. Brazo telescópico extendido y recogido.

Tridente:

Al otro lado de cada brazo telescópico se encuentra este acoplamiento cinemático multipunto que permite el registro y el giro respecto a otro punto. Gracias a este diseño cada brazo está conectado a la bola situada en la mano del robot, cuyo centro coincide con la punta de la herramienta que vayamos a utilizar.

Interferómetro láser:

Este sistema de medición nos proporciona en coordenadas esféricas las coordenadas de un punto medido mediante un rayo láser. Mide el desplazamiento relativo entre la esfera unida a la mano del robot y la esfera fijada en la bancada

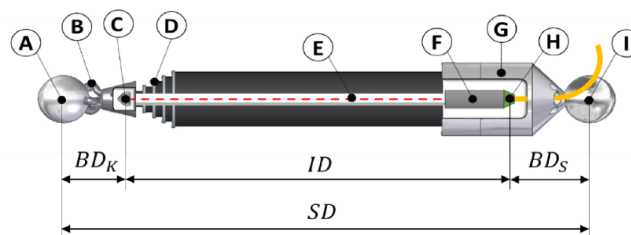


Ilustración 6 Esquema Brazo Telescópico.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
A	Esfera fijada a la Máquina-Herramienta (Robot)
B	Tridente, acoplamiento cinemático
C	Retro reflector de esquina
D	Sistema telescópico, formado por 5 cilindros de fibra de carbono
F	Cabeza del sensor
G	Soporte de cabeza de sensor
H	Fibra óptica
I	Esfera montada en el sistema
SD	Distancia entre centros de las esferas
ID	Distancia del rayo láser
BD _k	Distancia entre el retroreflector y la esfera fijada al robot
BD _s	Distancia entre la fibra óptica y la esfera del sistema

Tabla 1. Descripción de elementos.

En cuanto al diseño debemos de tener en cuenta los siguientes parámetros:

- La longitud máxima y mínima para el correcto funcionamiento de los brazos telescópicos
 $L_{\text{máx}} = 1000 \text{ mm}$ y $L_{\text{mín}} = 400 \text{ mm}$.
- El ángulo (α) formado por los brazos telescópicos debe ser mayor a 30 grados para evitar colisiones entre ellos.

3.2.2 Técnica de medición.

La técnica de resolución empleada en este sistema de medición es la multilateración a partir de la cual reducimos la incertidumbre de medida del sistema.

- 1- Establecer un sistema de referencia máquina-herramienta con los tres brazos telescópicos, tomar un origen.
- 2- Conocer las componentes (x, y, z) de cada una de las 3 esferas situadas en la bancada.
- 3- Definir el nuevo punto mediante la intersección de las 3 esferas, midiendo las distancias entre las 3 esferas de la bancada y la esfera del cabezal. Resolviendo el sistema de ecuaciones.

$$D_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2$$

$$D_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2$$

$$D_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2$$

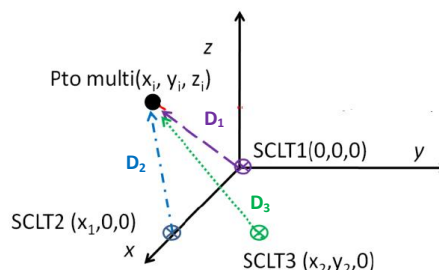


Ilustración 7. Sistema de referencia multilateración trilateración.

3.3 Electrohusillo.

El electrohusillo para máquina-herramienta es un eje que tiene como función principal dar rotación a la herramienta para generar el movimiento de trabajo y así garantizar al sistema la menor deformación posible con la mayor capacidad de mecanizar.

En este proyecto hemos elegido el electrohusillo MTC para cambio manual de la pinza, en concreto el MT1073-060, con el par nominal adecuado para obtener una elevada precisión de ejecución y acabado, cumpliendo las condiciones de trabajo.

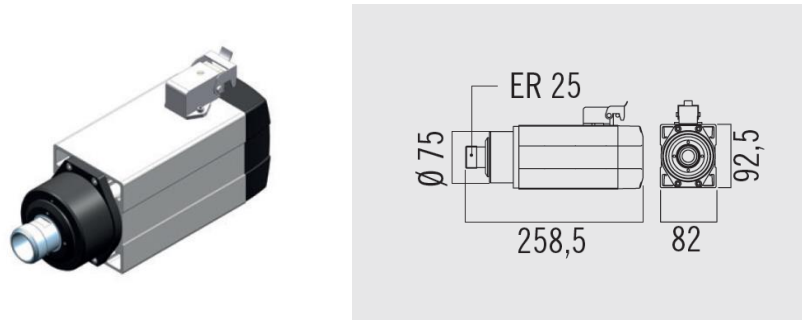


Ilustración 8 a) Electrohusillo MT1073-060. b) Dimensiones

CARACTERÍSTICAS MT1073-060	
Sujeción	Pinza ER25
Potencia S1/S6 (kW)	S1 de 1 a 1,5 kW S6 de 1,3 a 1,8 kW
Velocidad Nominal (rpm)	12.000/18.000 rpm
Velocidad máxima (rpm)	12.000/18.000/24.000 rpm
Tensión nominal (V)	220 ó 380 V
Refrigeración	Ventilador accionado por el eje
Peso (kg)	7 Kg

Tabla 2. Características electrohusillo

3.4 Bancada.

La bancada es la estructura la cual nos va a permitir colocar y anclar el robot de la célula robótica que vamos a diseñar. El material de la bancada es acero estructural debido a su gran firmeza, durabilidad y alta resistencia a la corrosión en condiciones normales.

En esta estructura ya disponemos de un robot Kuka KR5 en uno de sus extremos, que ha sido implementado en proyectos anteriores y debemos de tener en cuenta a la hora del diseño.

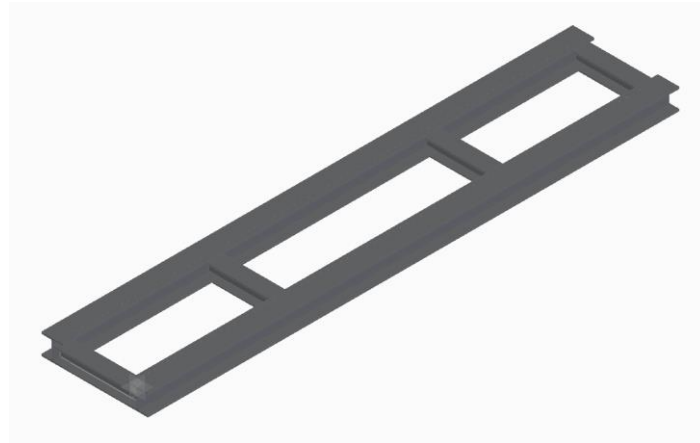


Ilustración 9. Bancada

La bancada se encuentra colocada sobre soportes anti vibratorios, 4 soportes posicionados en cada uno de los extremos coincidiendo con las zonas donde irán colocados los robots, los cuales soportarán todo el peso y proporcionaran estabilidad a la célula.

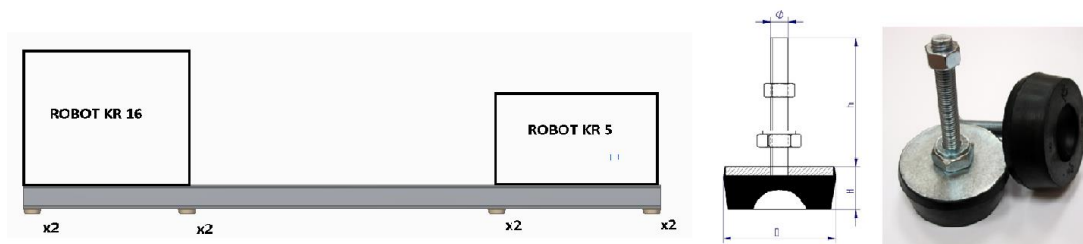


Ilustración 10. Ubicación y dimensión de los soportes.

Datos Soportes Anti vibratorios (SOPORTE EGAÑA Nº 2):

- Dureza: 65 Shore (escala de medida de la dureza elástica de los materiales)
- Diámetro espiga: M16
- h (mm): 110 mm
- H (mm): 38 mm
- D (mm): 105 mm
- Zona óptima de trabajo (Kgs): 250-500

3.5 Espacio de trabajo y ubicación.

Este proyecto se ubica en el taller del departamento de Ingeniería de Fabricación situado en el edificio Torres Quevedo de la EINA.

Es un entono de trabajo delimitado por los componentes ya existentes en él. Por ello debemos de tener en cuenta la posición y el alcance del robot para garantizar la seguridad del área.

En primer lugar realizamos un análisis de los espacios donde se va a ubicar el robot y de los componentes próximos a él.

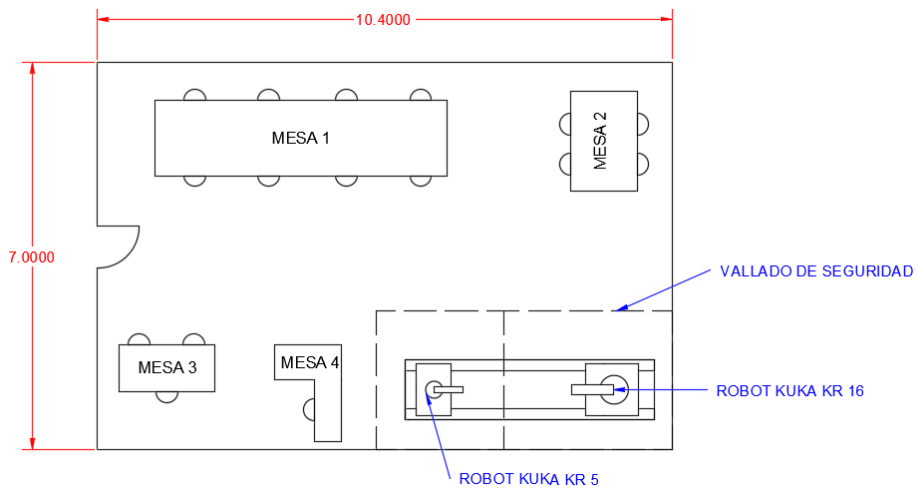


Ilustración 11. Layout Sala

4 Configuración y posiciones de la célula.

En este apartado el objetivo es establecer las configuraciones, posiciones y diseños modulares relacionados con la mesa de trabajo y las piezas patrón que vamos a utilizar en nuestra célula.

Mediante la herramienta Matlab realizamos varias simulaciones del entorno y los movimientos de la célula robótica hasta obtener una configuración apta para nuestro trabajo.

4.1 Parámetros de simulación

Mediante la herramienta de simulaciones modelamos los siguientes parámetros de los distintos elementos de la célula:

1 Robot KUKA KR16.

Introducimos las distancias nominales entre las articulaciones del robot. Estas distancias son establecidas por el fabricante.

2 Base robot KUKA KR16.

Establecemos la base del robot como sistema de coordenadas de referencia.

3 Punta herramienta.

Añadimos el decalaje de la punta de la herramienta respecto a la mano del robot.

4 Esferas en bancada.

Fijamos la distancia que hay entre las 3 esferas al centro del triángulo que lo conforman.

5 Paralelepípedo de trabajo.

Representa las 16 posiciones que la herramienta alcanza en un ciclo y las dimensiones de la pieza/piezas patrón.

6 Altura de la mesa de trabajo.

Representa la altura que se encuentra la pieza a trabajar respecto del sistema de referencia.

7 Brazos telescópicos.

Simula la longitud de los tres brazos telescópicos que componen el sistema de medición.

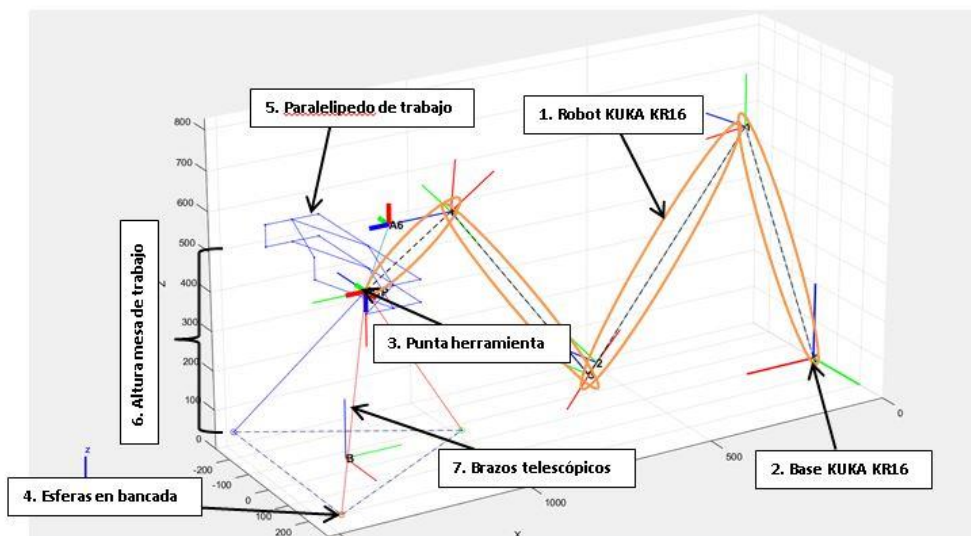


Ilustración 12. Parámetros de simulación con MATLAB

4.2 Ensayos Matlab.

Para ello realizaremos varios ensayos, en los que modificamos distintos parámetros hasta establecer las dimensiones idóneas.

Por otro lado debemos de tener en cuenta la especificaciones de los brazos telescópicos, que nos sirven para comprobar si el ensayo es óptimo. Es decir no debemos superar los valores establecidos. (OUTPUT)

$L_{\min} = 400 \text{ mm}$. $L_{\max} = 1000 \text{ mm}$. Ángulo mínimo entre brazos = $30^\circ (\alpha)$.

Antes de comenzar con el primer ensayo hemos realizado varias comprobaciones para establecer un posicionamiento razonable de los distintos elementos, estableciendo los siguientes parámetros de entrada. (INPUT).

ENSAYO 1 (INICIAL):

En este primer ensayo las medidas que se toman de partida se basan en un posicionamiento razonable de los elementos.

$L_{\max} = 589,982 \text{ mm} < 1000 \text{ mm}$. OK

$L_{\min} = 154,427 \text{ mm} < 400 \text{ mm}$. NOK

En este ensayo se produciría la fractura de los brazos telescópicos.

ENSAYO 2:

Para mejorar el diseño anterior y evitar la fractura de los brazos optamos por aumentar la altura de la mesa de la trabajo.

Modificamos $Z_{\text{sup_box}} = 950 \text{ mm}$

Obtenemos los siguientes resultados:

$L_{\max} = 1074,9 \text{ mm} > 1000 \text{ mm}$. NOK

$L_{\min} = 866,23 \text{ mm} > 400 \text{ mm}$. OK

Sobrepasamos la longitud máxima, por lo que también fracturarían los brazos telescópicos.

ENSAYO 3:

Para mejorar el diseño anterior y evitar la fractura de los brazos optamos por aumentar la altura de la mesa de trabajo.

En los dos diseños anteriores se produce la fractura de los brazos por compresión o tracción.

En este tercer ensayo modificamos el parámetro $Z_{sup_box} = 550$ mm.

A continuación observamos los siguientes resultados:

$L_{max} = 763,093$ mm < 1000 mm. OK

$L_{min} = 470,234$ mm > 400 mm. OK

Angulo entre tridentes = 44,51°. OK

Cumplimos con las especificaciones de los brazos telescópicos, además estos parámetros establecidos nos facilitan el diseño modular de los utillajes (Mesas y pieza de trabajo).

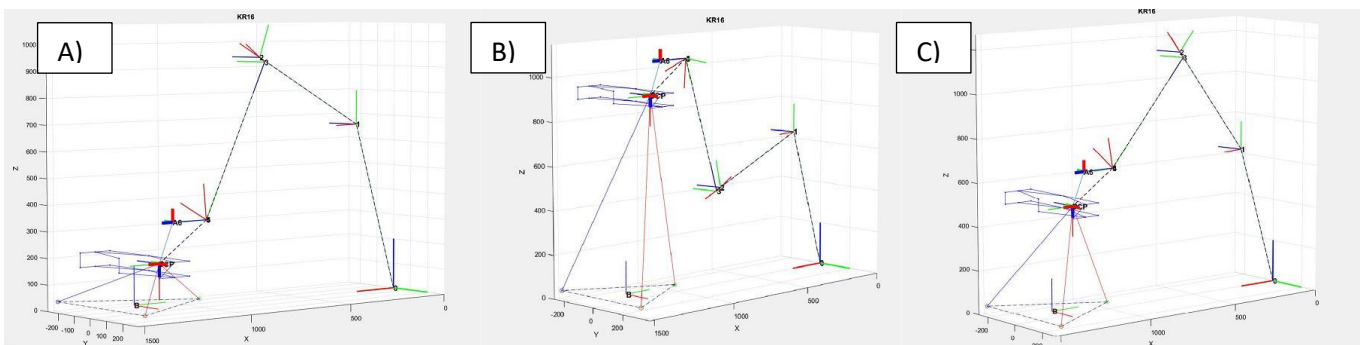


Ilustración 13. A) Posición 1 Ensayo1. B) Posición 1 Ensayo2. C) Posición 3 Ensayo3.

	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	
'RB; %[mm] % R Base fija; Coordenadas en SRB'	312	312	312	INPUT
'RP; %[mm] % R PLATAFORMA MÓVIL; Coordenadas en SRP'	0	0	0	INPUT
'L_61; %[mm] Utilizado para el caso B6: distancia entre la base	0	0	0	INPUT
'Dimensión X de la pieza [mm]'	140	140	140	INPUT
'Dimensión Z de la pieza [mm]'	488	488	488	INPUT
'Dimensión Z de la pieza [mm]'	55	55	55	INPUT
'POSE XYZABC de la pieza [mm]'	1395 244 214	1395 244 950	1395 244 550	INPUT
'Separación del plano interior de mecanizado [mm]'	55	55	55	INPUT
'RADIO máximo HPTI (colisiones) [mm]'	22	22	22	INPUT
'Error en IK [mm]'	180,000003	180,0000051	180,0000019	OUTPUT
'Contador repeticiones ik'	1	2	1	OUTPUT
'L máxima HPTI [mm]'	1000	1000	1000	VALOR
'Extensión máxima HPTI's [mm]'	589,9826079	1074,969673	763,0935706	OUTPUT
'Extensión mínima HPTI's [mm]'	154,4271664	866,2378829	470,2340584	OUTPUT
'L mínima HPTI [mm]'	420	420	420	VALOR
'Ángulo entre tridentes'	62,28039108	30,0460349	44,51364388	OUTPUT
'Ángulo mínimo tridentes'	30	30	30	VALOR
'Colisión'	1	1	0	OUTPUT

Ilustración 14. Resultados de los ensayos.

5 Diseño de los utillajes.

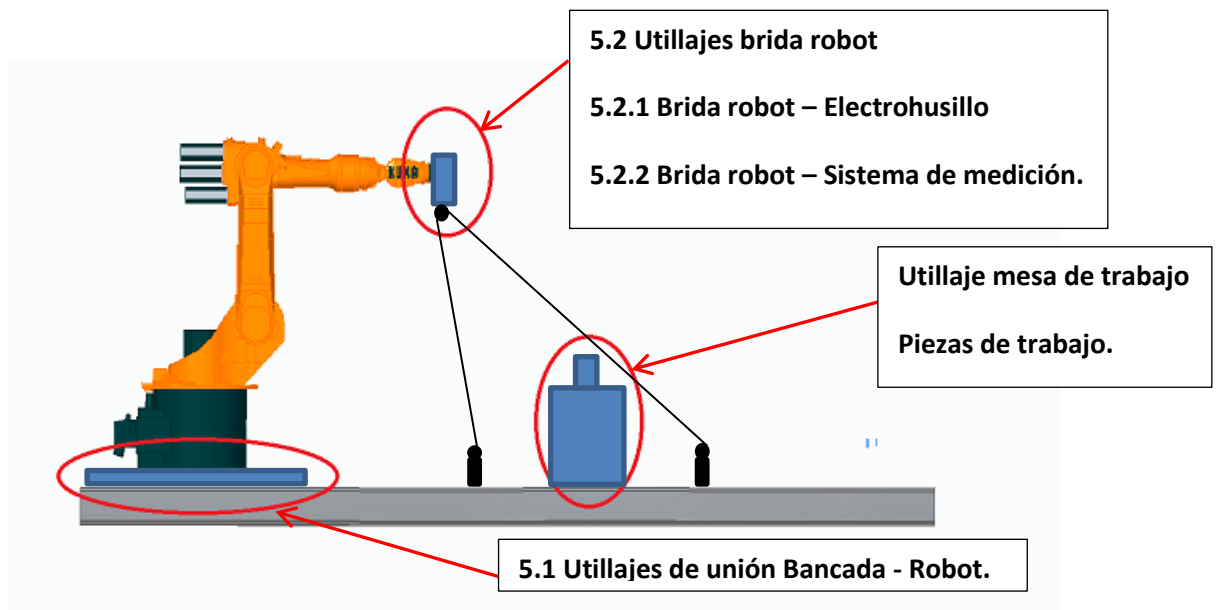


Ilustración 15. Ubicación de los utillajes que vamos a diseñar.

En este apartado nos centramos en el diseño de los utillajes los cuales nos van a permitir acoplar el robot a la bancada, los utillajes de fijación tanto del electrohusillo como del sistema de medición de longitudes y por último la mesa de trabajo. Todos ellos conformaran y definirán nuestra célula robótica.

En este proceso de diseño someteremos a los distintos utillajes a los estudios de elementos finitos y comprobación de longitudes para mejorar sus geometrías y facilitar su aplicación a la hora realizar la preparación del equipamiento y las operaciones de cambio.

Finalmente explicaremos el montaje de cada uno de ellos para asegurarnos que su colocación y funcionamiento sea el correcto.

En esta etapa de diseño de elementos la vamos a dividir en varios grupos:

- Utillaje de unión bancada - robot.
- Utillajes de unión brida robot – electrohusillo/sistema de medición.
- Utillajes del sistema de medición.
- Utillajes mesa y pieza de trabajo.

5.1 Utilaje de unión bancada - robot.

5.1.1 Placa base

La “Placa base” es el elemento mediante el cual realizamos el anclaje de la base del robot con la bancada. El diseño se centra en la estabilidad y robustez, debido a que soporta todo el peso del robot.

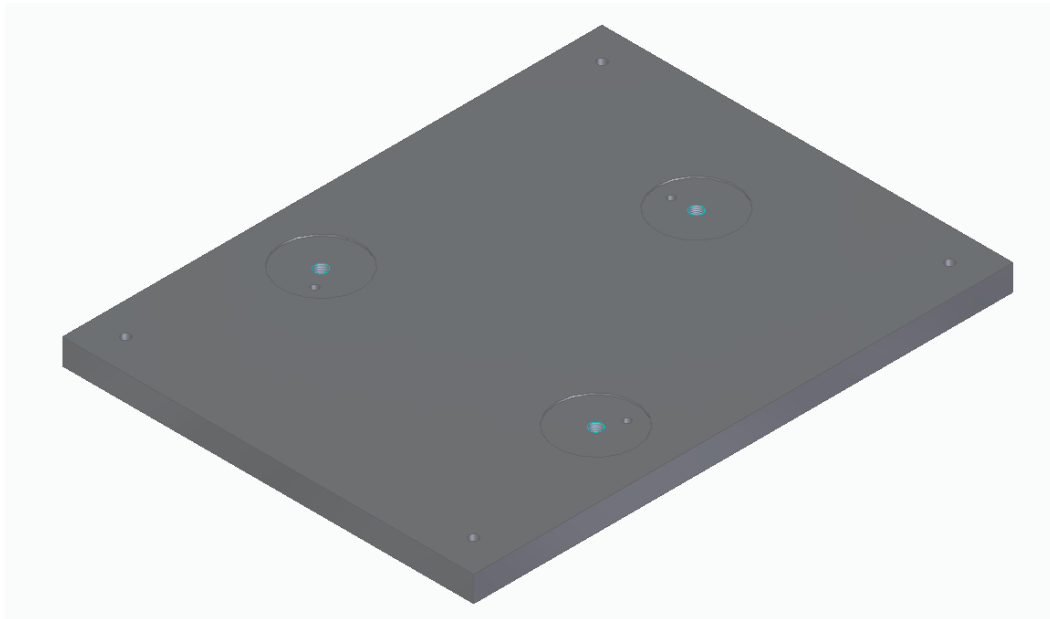


Ilustración 16. Placa Base

Características:

- Material: Acero
- Dimensiones (AnchoxLargoxAlto): 648x850x40 mm.
- 4 orificios $\varnothing = 15$ mm situados en las esquinas coincidentes con los de la bancada.
- 3 zonas de apoyo, para garantizar el registro de la base del robot.

Estudio de elementos finitos.

Para verificar el correcto funcionamiento del utilaje realizamos un análisis de elementos finitos en el cual simulamos el comportamiento de la “Placa base” a la cual se la aplican los siguientes factores:

- Aplicamos un fuerza vertical (peso del robot + peso elementos acoplados) $F_{v1} = 4070$ N. Esta fuerza se reparte entre los 3 apoyos del utilaje, por lo tanto $F = 1356,66$ N.
- 4 restricciones fijas en cada uno de los agujeros de $\varnothing = 15$ mm de la palca.

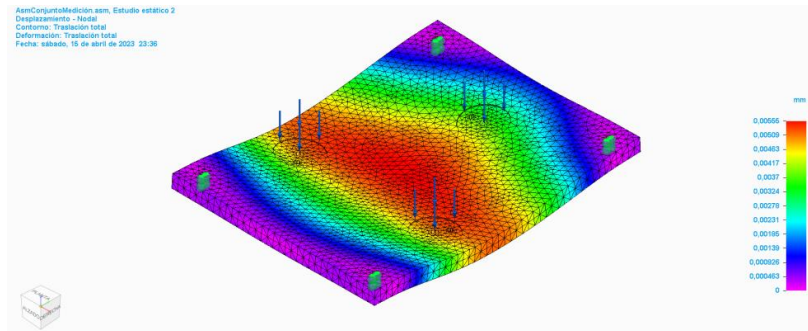


Ilustración 17. Simulación CAE "Placa Base".

Los resultados que obtenemos en las zonas críticas son los siguientes:

- Desplazamiento máximo = 0,0055 mm.
- Tensión máxima (Von Mises) = 4,82 Mpa

Con los cuales se cumplen las especificaciones para el correcto funcionamiento del utillaje.

Montaje.

1. Unión Placa base – Bancada.

Componentes:

- Tornillo Allen DIN 912 – M12 x 1.25 L=65 10.9 (4 Uds.)
- Arandela ISO 7089 - d 14 - 140 HV (4 Uds.)
- Tuerca M12 (4 Uds.).
- Bulón de registro hueco ($\varnothing_{int} = 13$ mm, $\varnothing_{ext} = 15$ mm, Tol. H7) (2 Uds.)

Pasos:

- 1) Alinear los 4 orificios de $\varnothing = 15$ mm con los de la bancada.
- 2) Introducir bulones de registro en dos orificios (esquina y su diagonal), para registrar el giro.
- 3) Colocar los 4 tornillos en los orificios con sus respectivas tuercas y arandelas, garantizando una fijación correcta.

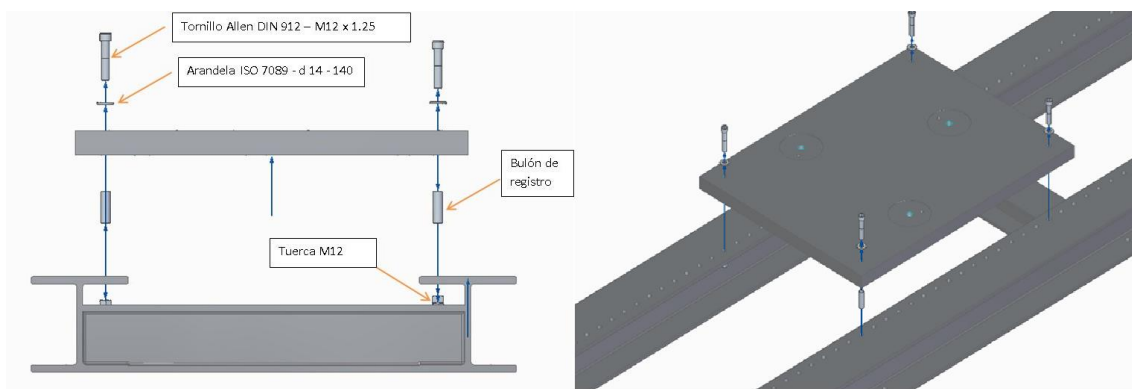


Ilustración 18. Proceso de montaje de la "Placa base" sobre la bancada y la posición de sus componentes.

2. Unión Base robot - Bancada.

Componentes:

- Tornillo de cabeza hexagonal ISO 4017 - M20 x 70 - 5.6 (Acero) (3 Uds.).
- Arandela ISO 7089 - 24 - 300 HV (Acero) (3 Uds.).
- DIN 6321 - Tornillos de apoyo / Guías centradoras - DIN 6321-20-25-B (2 Uds.).

Pasos:

- 1) Posicionar la base del robot sobre las tres zonas de apoyo de la "Placa base".
- 2) Introducir los tornillos hexagonales y tornillos de apoyo en su orificios correspondientes. De este modo efectuamos el anclaje correcto, restringiendo todos sus grados de libertad.

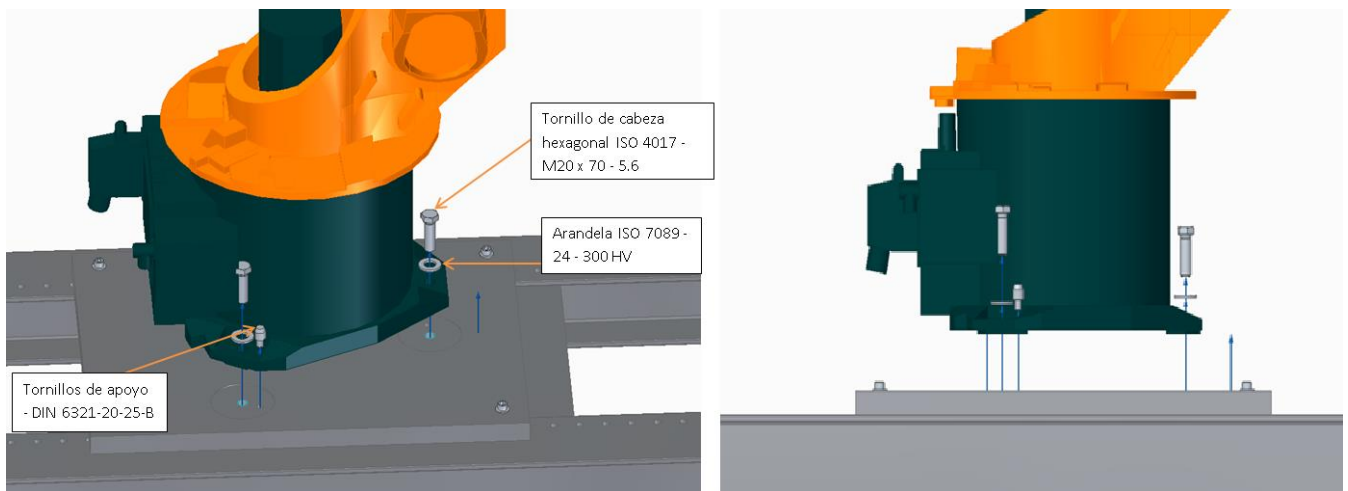


Ilustración 19. Proceso de montaje de la base del robot sobre la placa brida y la posición de sus componentes.

5.2 Utillaje de unión Brida robot – Electrohusillo/Sistema de medición.

5.2.1 Placa brida.

El diseño de este utillaje es imprescindible, ya que permite conectar el electrohusillo y el utillaje del sistema de medición a la brida del robot.

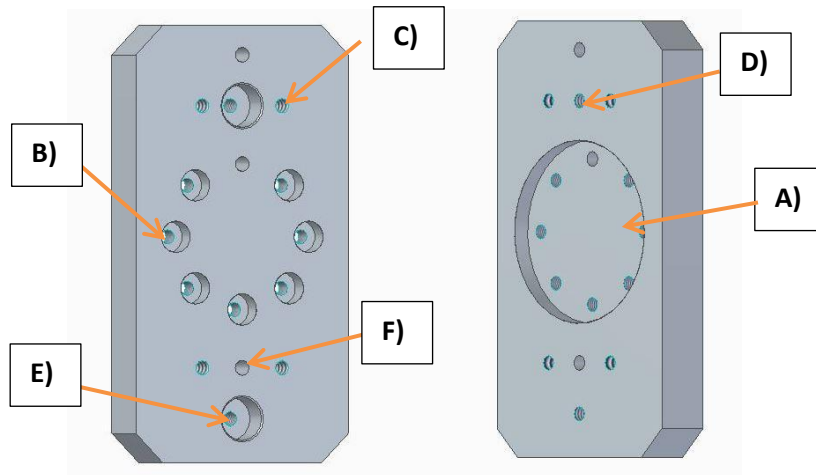


Ilustración 20. Placa brida.

Características:

- Material: Aluminio.
- Dimensiones (AnchoxLargoxAlto) = 80x150x20 mm.
- **A).** Vaciado $\varnothing = 63$ mm en la parte trasera de la placa, que permite la unión con la brida del robot.
- **B).** 7 orificios con vaciado para introducir los tornillos Allen M6, mediante los cuales realizamos la unión con la brida.
- **C).** 4 agujeros roscados M6 que permiten la fijación del electrohusillo y la "Placa brida"
- **D).** Orificio de registro, donde se introduce un bulón para evitar el giro de la placa.
- **E).** 2 orificios con vaciado y roscados M6, cuya función es la fijación del utillaje del sistema de medición de dos posiciones distintas.
- **F).** 2 orificios de registro, donde se introduce un bulón para evitar el giro del utillaje del sistema de medición sobre la "Placa brida".

Estudio de elementos finitos.

Para verificar el correcto funcionamiento del utillaje realizamos un análisis de elementos finitos en el cual simulamos el comportamiento en condiciones de trabajo de la "Placa brida" a la cual aplicamos los siguientes factores:

- Aplicamos una fuerza vertical sobre los 4 agujeros roscados que permiten la fijación del electrohusillo. $F_{v2} = (\text{Peso electrohusillo} - F_{\text{max robot}}) = 130$ N.
- 8 restricciones fijas en cada uno de los orificios mediante los cuales fijamos la placa a la brida del robot.

Tras el análisis obtenemos los siguientes resultados en la zona más crítica:

- Desplazamiento máximo = $1,69 \times 10^{-5}$ mm
- Tensión máxima Von Mises = 0,9 MPa.

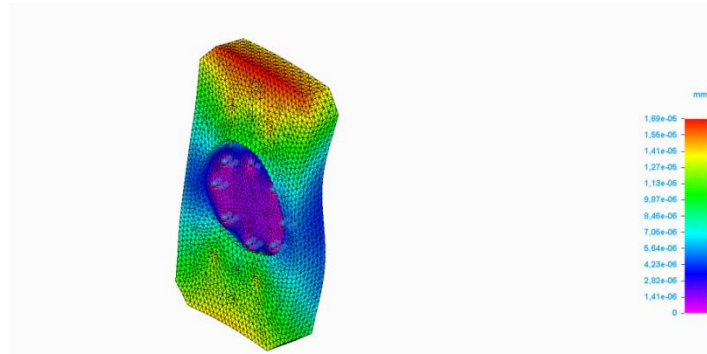


Ilustración 21. Simulación CAE "PlacaBrida"

Con los cuales se cumplen las especificaciones para el correcto funcionamiento del utillaje.

Montaje.

1) Unión Placa brida – Brida robot

Componentes:

- Tornillos Allen DIN 912 - M6 x p 1 - l 12 - 10.9. (6 Uds.)
- Bulón de registro placa ($\varnothing = 5,2$ mm, L = 23,7mm, Tol. H7) (1 Uds.)

Pasos:

- 1) Colocar la "placa brida" en la posición correcta, posicionando el orificio del bulón junto al correspondiente en la brida.
- 2) Introducir el bulón de registro placa en el orificio.
- 3) Introducir los 6 tornillos Allen en cada uno de los orificios con vaciado.

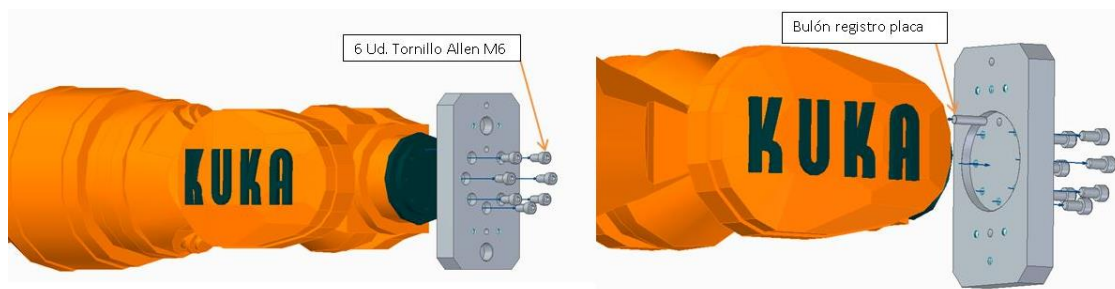


Ilustración 22. Proceso de montaje de la "Placa brida" sobre la brida del robot y sus componentes.

2) Unión Placa brida – Electrohusillo.

Componentes:

- Tornillo Allen DIN 912 - d M6 x p 1 - l 25 - 10.9. (4 Uds.)

Pasos:

- 1) Introducir los cuatro tornillo Allen M6 por la cara trasera de la “Placa brida” en sus respectivos 4 orificios, a través de los cuales se efectúa la unión con el electrohusillo.

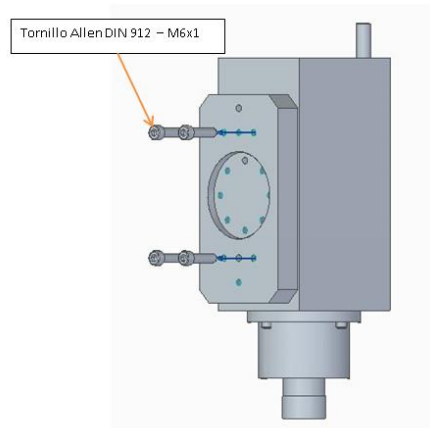


Ilustración 23. Proceso de montaje del electrohusillo sobre la placa y sus respectivos componentes.

5.2.2 Utillaje bola.

Este utillaje nos permite fijar la esfera en la máquina-herramienta. Mediante la colocación de esta esfera realizamos la unión de los tres brazos telescópicos que conforman el sistema de verificación volumétrica.

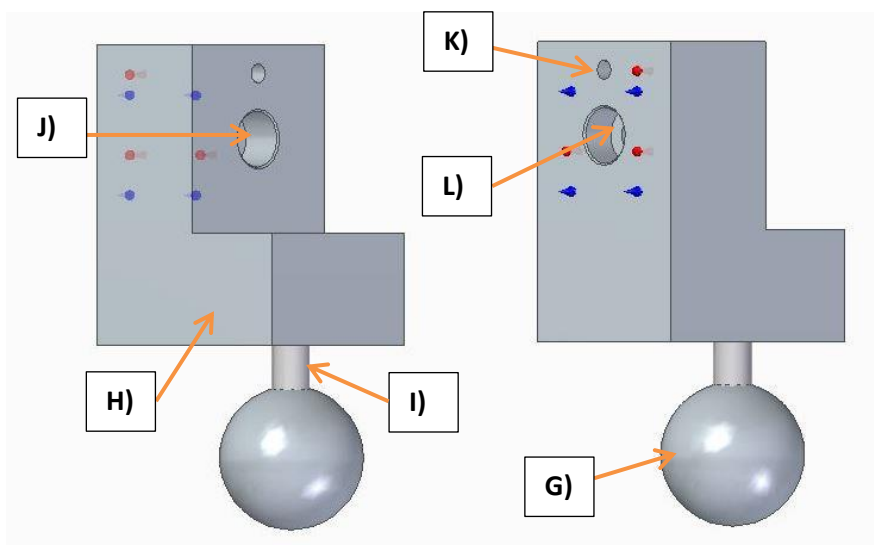


Ilustración 24. Utillaje bola.

Características:

- Material: Aluminio
- **G).** Esfera $\varnothing = 38,1$ mm mediante la cual se produce la unión de los tres brazos telescópicos a través del tridente de cada uno de ellos.
- **H).** Bloque de aluminio.
- **I).** Varilla roscada M10 y L = 50 mm, que permite la unión de la esfera con el bloque de aluminio.
- **J).** Orificio con vaciado ($\varnothing = 16$ mm) y rosca M6 en su interior, en el cual se introduce el tornillo Allen que une el bloque con la “placa brida”.
- **K).** Orificio $\varnothing = 5,2$ mm donde se posiciona el bulón que impide el giro del utillaje sobre la “placa brida”.
- **L).** Orificio $\varnothing = 15$ mm con vaciado, donde introducimos el bulón hueco que restringe los grados de libertad del utillaje

Estudio de elementos finitos.

Para comprobar el correcto funcionamiento de nuestro utillaje realizamos un análisis de elementos finitos en el que simulamos los esfuerzos que realizan los tres brazos telescópicos sobre el utillaje:

- La fuerza la aplicamos sobre la esfera es : $F_{v3} = (333g \times 3 \text{ brazos telescópicos}) = 100$ N.
- Fijamos 2 restricciones sobre los orificios que albergan el bulón de $\varnothing = 5,2$ mm y tornillo Allen.

Tras el análisis obtenmos los siguientes resultados en la zona más crítica:

- Desplazamiento máximo = 0,0052 mm
- Tensión máxima Von Mises = 3,2 MPa.

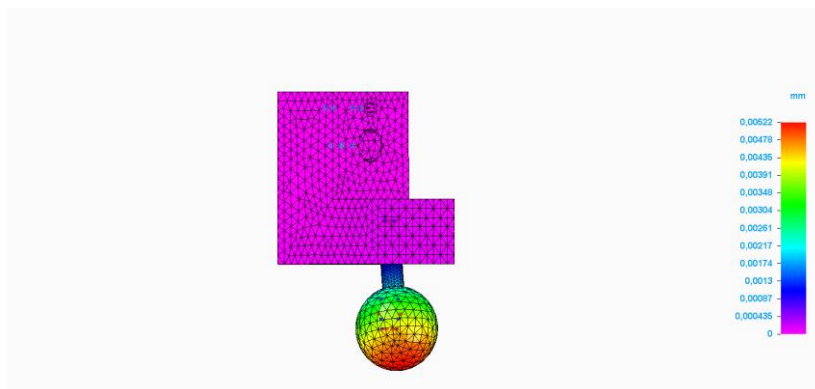


Ilustración 25. Utillaje Bola Simulación CAE

Analizando los resultados podemos observar que el desplazamiento y la tensión de Von Mises son admisibles para que la pieza funcione correctamente sin generar variaciones en la medición.

Montaje.

1) Unión utillaje bola – placa brida.

Componentes:

- Varilla roscada M10, L = 50 mm. (1 Uds.)
- Esfera $\varnothing = 38,12$ mm. (1 Uds.)
- Tornillo Allen DIN 912 - M6 x 1 - 50 - 10.9. (1 Uds.)
- Bulón $\varnothing = 5,2$ mm L = 56 mm. (1 Uds.)
- Bulón hueco $\varnothing_{\text{ext}} = 15$ mm, $\varnothing_{\text{int}} = 10$ mm, L = 20 mm. (1 Uds.)

Pasos:

- 1) Introducir la varilla roscada en la esfera.
- 2) Realizamos la unión de los dos componentes anteriores con el bloque.
- 3) Introducimos el bulón hueco en el orificio de la placa brida, para posteriormente colocar el bloque sobre él.
- 4) Introducimos el bulón de $\varnothing = 5,12$ mm, para impedir el giro con la placa.
- 5) Finalmente realizamos la fijación del "utillaje bola" introduciendo el tornillo Allen.

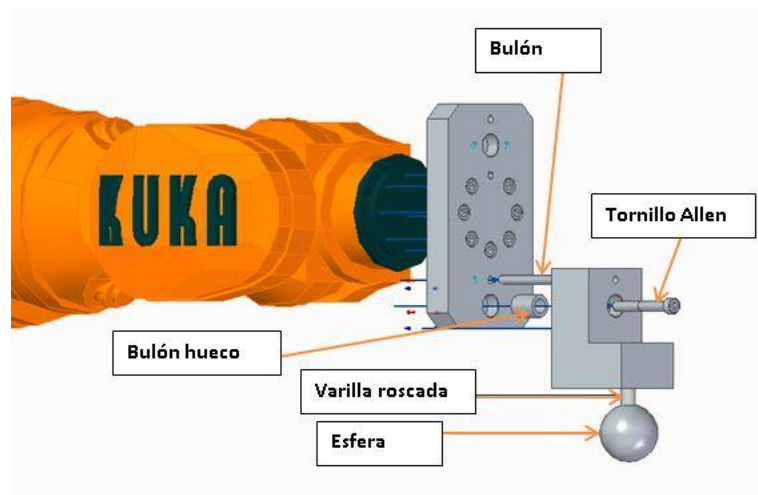


Ilustración 26. Proceso de montaje del "Utillaje bola" sobre la "Placa brida" y sus componentes.

5.3 Utillajes del sistema de medición.

En este apartado se diseñaremos los distintos utillajes que conforman los nidos que albergan la esfera de cada uno de los brazos telescópicos y su fijación a la bancada. Las 3 esferas conforman un triángulo equilátero sobre la bancada que conforma la base del sistema de medición.

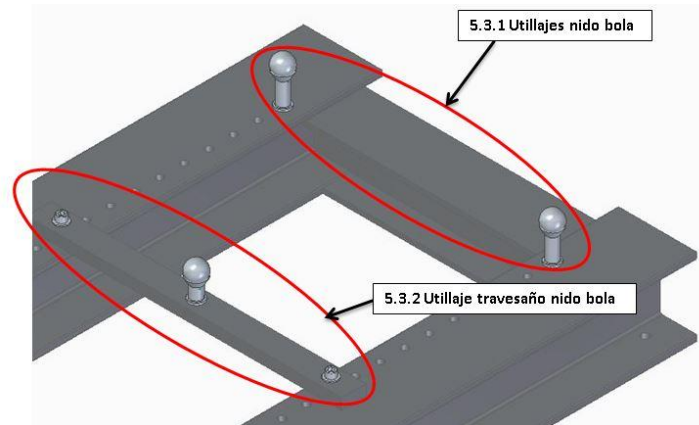


Ilustración 27. Utillajes del sistema de medición situados en la bancada.

5.3.1 Utillajes nido bola.

El diseño de este elemento tiene la finalidad de garantizar el apoyo cinemático de las esferas que conforman los dos brazos telescópicos que registran en ambos lados de la bancada. Por lo tanto, es necesario el diseño de dos unidades este utillaje. (2 Uds.).

A continuación, veremos las características del utillaje diseñado:

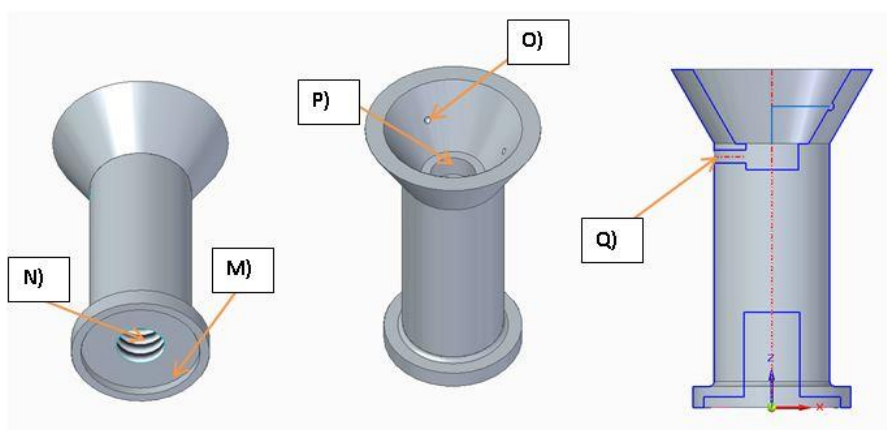


Ilustración 28. Utillaje nido bola.

Características:

- **M)** Vaciado en la base del utillaje, que mejora el apoyo del “Utillaje nido” sobre la bancada.
- **N)** Orificio roscado M12, en el que se introduce el tornillo Allen que fija el nido con la bancada.
- **O)** 3 agujeros en la pared interior de la “copa”, en los que irán ubicados tres esferas de rodamiento, fijadas mediante resina epoxi. Este diseño garantiza el correcto apoyo de la esfera sobre el “Utillaje bola”.
- **P)** Ubicación en la que se coloca el “imán” que mediante su fuerza magnética atrae a la esfera, mejorando el registro. También utilizamos resina epoxi de fijación.
- **Q)** Orificio roscado M3, en el que introducimos un tornillo prisionero para mejorar la fijación del imán.

Las cargas a las que se somete este utillaje son pequeñas por lo que no realizamos estudio de elementos finitos.

Montaje.

Componentes:

- Tornillo Allen DIN 912 - d M12 x p 1.25 - l 30 - 10.9. (1 Ud.)
- Arandela - d 14 - 140 HV. (1 Ud.)
- Imán $\varnothing = 10$ mm, h = 5 mm. (1 Ud.)
- Esferas de rodamiento, $\varnothing = 1,5$ mm. (3 Ud.)

Pasos:

- 1) Posicionamos el imán y las esferas de rodamiento en sus ubicaciones correspondientes.
- 2) Colocamos el “utillaje nido” sobre el orificio de la bancada, coincidiendo con el orificio roscado de la base.
- 3) Introducimos por la parte inferior el tornillo Allen con su respectiva arandela para fijar el utillaje a la bancada.

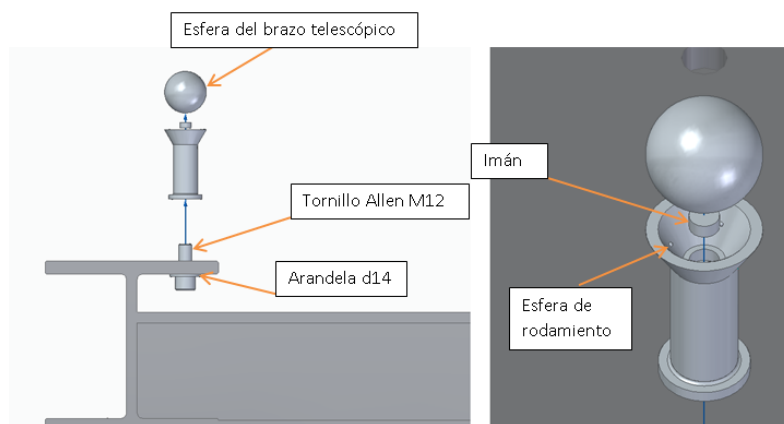


Ilustración 29. Montaje del "utillaje nido bola" y la posición de sus componentes.

5.3.2 Uillaje travesaño nido bola.

En este apartado tenemos la necesidad de crear el utillaje que alberga la tercera esfera del triángulo equilátero que conforma la base del sistema de medición.

La posición de esta esfera se encuentra en el centro de la bancada siendo “la punta del triángulo”, por lo que necesitamos un travesaño sobre el que fijaremos el nido de esta bola.

En cuanto a la altura del nido de esta esfera, debe ser menor que los anteriores, para conseguir que las tres esferas se encuentren a la misma altura. Esto es debido a que nos posicionamos sobre un travesaño unido a la bancada.

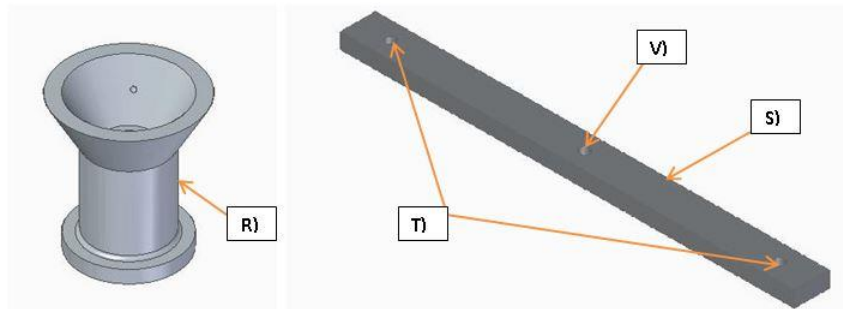


Ilustración 30. Uillaje travesaño nido bola. Nido central y travesaño.

Características:

- **R)** “Nido central” posee las mismas características y diseño que los nidos descritos anteriormente, excepto su altura que es menor.
- **S)** Travesaño sobre el que posicionamos el “nido central”.
- **T)** Orificios $\varnothing = 15$ mm mediante los cuales se produce la unión del travesaño a la bancada.
- **V)** Orificio central $\varnothing = 15$ mm a través del cual posicionamos el “nido central” en el travesaño.

Estudio de elementos finitos:

Para comprobar el correcto funcionamiento de nuestro utillaje realizamos un análisis de elementos finitos del comportamiento del travesaño, con las siguientes hipótesis:

- Material del travesaño: Acero.
- Aplicamos un fuerza vertical en el centro del travesaño, posición en la que se produce el apoyo del brazo telescópico en el “nido central”. $F_{v3} = 333$ g (peso del brazo telescópico).
- Aplicamos 2 restricciones fijas en los orificios que permiten la unión con la bancada.

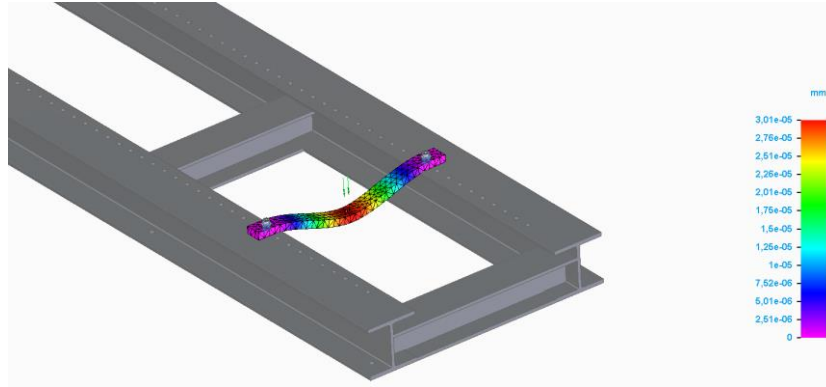


Ilustración 31. Travesañ Simulación CAE.

Tras el análisis obtenemos los siguientes resultados en la zona más crítica:

- Desplazamiento máximo = $3,01 \times 10^{-5}$ mm
- Tensión máxima Von Mises = 0,0092 MPa.

Una vez realizado el análisis de nuestros resultados podemos verificar que el desplazamiento y la tensión de Von Mises son admisibles y el utillaje funcionamiento del utillaje es correcto sin generar desviaciones en la medición.

Montaje.

Componentes:

- Tornillo Allen DIN 912 - d M12 x p 1.25 - l 50 - 10.9. (2 Uds.)
- Arandela - d 14 - 140 HV. (3 Uds.)
- Tuerca d M12 x p 1.25. (2 Uds.)
- Nido central. (1 Ud.)
- Tornillo Allen DIN 912 - M12 x 1.25 - 40 - 10.9. (1 Ud.)

Pasos:

- 1) Colocamos el travesañ haciendo coincidir los orificios de los extremos con los de la bancada.
- 2) Unión del travesañ con la bancada, mediante la fijación del tornillo Allen con su respectiva arandela y tuerca.
- 3) Finalmente colocamos el nido central en su ubicación mediante la fijación inferior del tornillo Allen y su arandela.

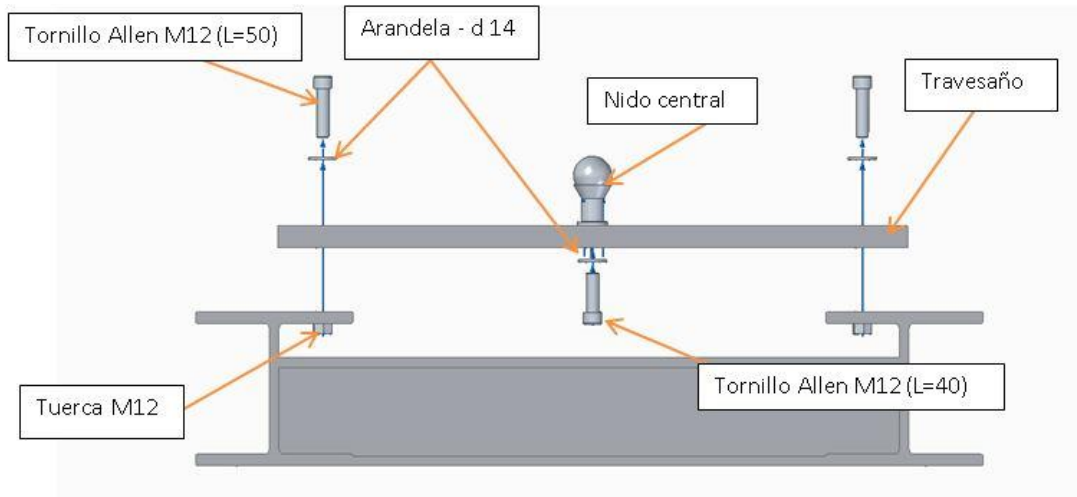


Ilustración 32. Proceso de montaje del utillaje travesaño nido bola y la posición de sus componentes.

5.4 Utillajes mesa y pieza de trabajo.

En este capítulo nos centramos en definir el diseño de la pieza, que someteremos a operaciones de mecanizado, cuyos esfuerzos serán bajos. A través de esta pieza también realizaremos las mediciones con sistema de verificación volumétrica con el que mejoraremos la precisión de la célula.

Por otro lado, también realizamos un diseño de la mesa de trabajado, donde se coloca la pieza, y una placa intermedia que nos facilitará dicho acople.

Las dimensiones seleccionadas para el diseño de estos utillajes, han sido verificadas anteriormente mediante la simulación en Matlab, simulando un funcionamiento correcto.

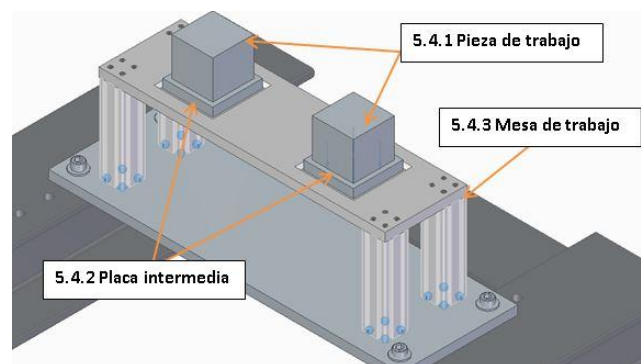


Ilustración 33. Utillajes Pieza de trabajo, Placa intermedia y Mesa de trabajo.

5.4.1 Pieza de trabajo.

La pieza de trabajo debe de ser un elementos manejable que nos facilite las operaciones de acople.

Optamos por una pieza en forma de cubo, cuya cara inferior posee varios orificios roscados mediante los cuales se efectuará el acople a la placa intermedia.

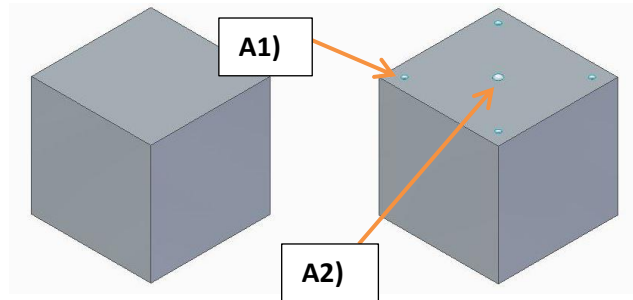


Ilustración 34. Pieza de trabajo. Cara superior. Cara inferior.

Características:

- Material: Aluminio.
- Dimensiones: 70x70x70 mm.
- **A1)** 4 orificios roscado M4 con los que se une la pieza con la placa intermedia.
- **A2)** Orificio roscado M6 que permite el acople con la mesa de trabajo.

5.4.2 Placa intermedia.

Uillaje que nos permite acoplar la pieza de trabajo a la mesa, garantizando el registro de la pieza.

En este diseño utilizamos un sistema de registro entre la placa y la mesa, mediante rodillos y bolas de rodamiento que veremos más adelante.

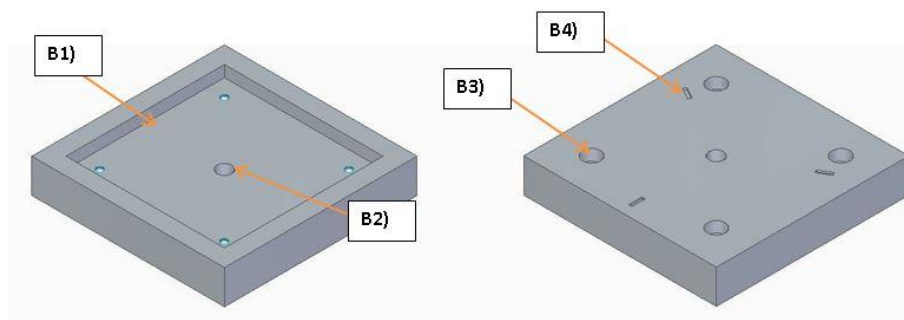


Ilustración 35. Placa intermedia con sus respectivas operaciones.

Características:

- **B1)** Vaciado rectangular para posicionar la pieza de trabajo.
- **B2)** Orificio $\varnothing = 6,6$ mm por el atraviesa el tornillo que fija la pieza con la mesa de trabajo.
- **B3)** 4 orificios con vaciado para introducir los tornillos Allen M4 que fijan la pieza con la placa.
- **B4)** Rebaje donde se ubican los rodillos que conforman el sistema de registro.

Montaje.

Componentes:

- Pieza de trabajo.
- Tornillo Allen DIN 912 - d M4 x p 0.7 - l 12 - 10.9. (4 Uds.)

Pasos:

- 1) Posicionamos la pieza de trabajo sobre la placa intermedia haciendo coincidir los 4 orificios de las esquinas.
- 2) Introducimos los 4 tornillos Allen en los orificios de las esquinas para realizar la unión entre la placa intermedia y la pieza de trabajo.

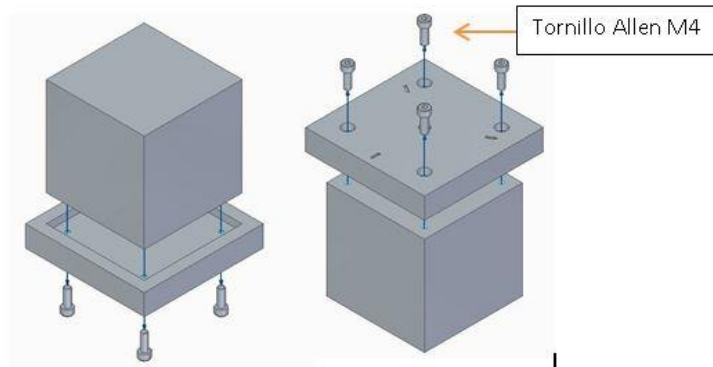


Ilustración 36. Proceso de montaje de la pieza de trabajo sobre la placa brida. Posición de sus componentes.

5.4.3 Mesa de trabajo.

Finalmente diseñamos la mesa de trabajo con las dimensiones adecuadas, las cuales hemos comprobado y establecido en la simulación realizada anteriormente.

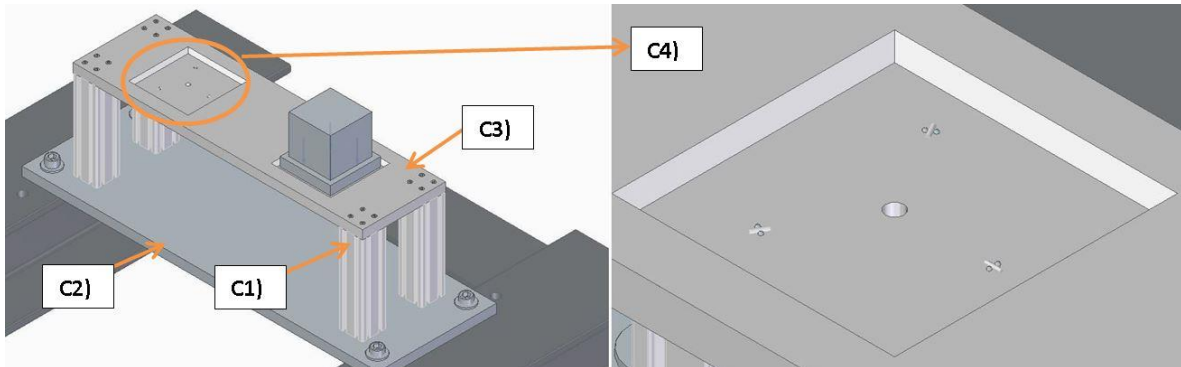


Ilustración 37. Mesa de trabajo y sistema de registro (bola-rodillo).

Características:

- **C1)** Base inferior de la mesa de trabajo.
- **C2)** 4 perfiles de aluminio como patas de la mesa de trabajo. El amarre a las bases superior e inferior se realiza mediante 4 tornillos.
- **C3)** Base superior de la mesa de trabajo.
- **C4)** Sistema de registro (bola rodillo). Su funcionamiento consiste en realizar el apoyo del rodillo situado en la placa intermedia, sobre las dos esferas colocadas en la mesa de trabajo. Mediante estos 3 apoyos y el amarre del tornillo Allen a la pieza, garantizamos el registro de la pieza sobre la mesa.

Estudio de elementos finitos.

Para comprobar el correcto diseño del utillaje simulamos los esfuerzos a los que se somete la mesa de trabajo cuando la célula esta en funcionamiento.

- Fuerza vertical sobre la superficie de apoyo de la piza de trabajo. $F_{v4} = 160 \text{ N}$ (16 kg, fuerza máxima que ejerce el roboto Kuka KR16)
- 4 restricciones en cada una de las patas de la mesa.

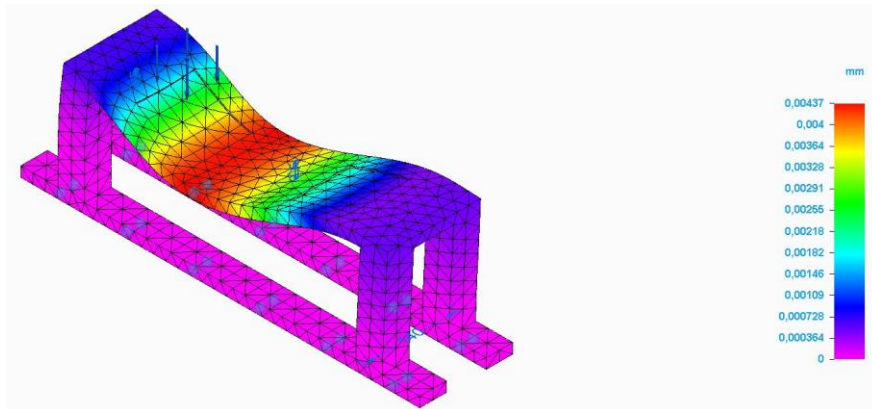


Ilustración 38. Simulación CAE Mesa de trabajo.

Tras el análisis obtenemos los siguientes resultados en la zona más crítica:

- Desplazamiento máximo = 0,00437 mm
- Tensión máxima Von Mises = 1,21 MPa.

Una vez observados los análisis de nuestros resultados podemos verificar el correcto funcionamiento de la mesa trabajo.

Montaje.

1) Unión mesa de trabajo – bancada.

Componentes:

- Tornillo Allen DIN 912 - M12 x 1.25 - 50 - 10.9. (4 Uds.)
- Arandela ISO 7089 - d 14 - 140 HV. (4 Uds.)
- Tuerca DIN EN ISO 8673 - d M12 x p 1.25. (4 Uds.)
- Casquillo de registro hueco $\varnothing_{int} = 13$ mm, $\varnothing_{ext} = 15$ mm, L = 27 mm.

Pasos:

- 1) Posicionamos la base inferior de la mesa de trabajo sobre la bancada, en una posición donde los orificios de sus esquinas coincidan con los de la bancada.
- 2) Introducimos el casquillo de registro entre la base inferior y la bancada.
- 3) Realizamos el acople a la bancada mediante los 4 tornillos Allen con sus respectivas tuercas y arandelas.

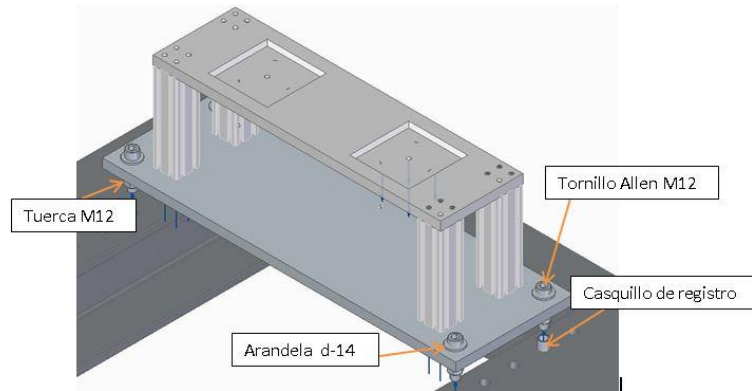


Ilustración 39. Proceso de montaje de la mesa de trabajo sobre la bancada y la posición de sus componentes.

2) Unión pieza – mesa de trabajo.

Componentes:

- Tornillo Allen DIN 912 - d M6 x p 1 - l 30 - 10.9. (1 Ud.)

Pasos:

- 1) Posicionamos los apoyos (rodillos) de la placa intermedia sobre las esferas situadas en la mesa de trabajo, mediante este sistema registramos el giro de la pieza.
- 2) Introducimos el tornillo Allen sobre por la parte inferior de la mesa consiguiendo el acople de la pieza con la mesa.

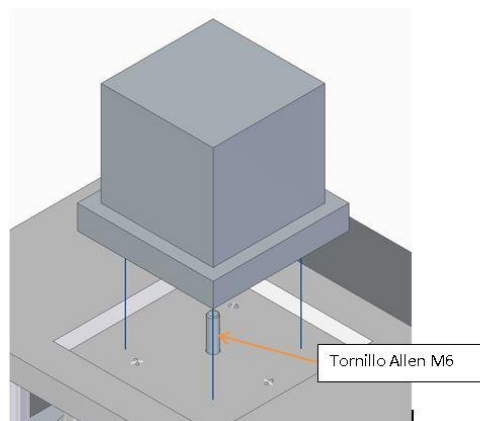


Ilustración 40. Proceso de montaje de la pieza sobre la mesa de trabajo y la posición de su componente.

6 Definición y requisitos de la seguridad de la celda.

La seguridad para robots industriales, trata de dar respuesta a los riesgos que presentan los robots y los sistemas robóticos industriales, dando así unas directrices y criterios a seguir, para así minimizar al máximo los peligros que puede suponer la aplicación de uno de estos sistemas en un entorno industrial.

El número y tipo de riesgos producidos por estos sistemas están relacionados con el proceso de automatización (tipo de robot y función) y con la manera en que está instalado, programado, operado y mantenido.

Para este trabajo en que realizamos operaciones de mecanizado los riesgos a tener en cuenta son los siguientes:

- Riesgo de colisión entre hombre – máquina.
- Riesgo de proyección de la pieza o material sobrante de la misma.
- Riesgo de atrapamiento

Por ello es necesario aplicar la norma **UNE-ISO 10218** para cumplir con todos los estándares de seguridad.

- **UNE-ISO 10218-1:2012**: en esta norma se especifican los requisitos e indicaciones a seguir para garantizar la seguridad en el diseño y construcción del robot. Norma destinada a los fabricantes de robots.
- **UNE-ISO 10218-2:2011**: trata los peligros derivados del diseño e integración de los sistemas robóticos. Proporciona directrices relacionadas con la seguridad del personal y la integración del robot.

6.1 Medidas y sistemas de seguridad.

Una vez identificados los riesgos y conocemos la normativa a aplicar en nuestra instalación, se procede a explicar que dispositivos utilizamos para garantizar la seguridad en la celda robótica.

6.1.1 Vallado de seguridad.

Se trata de una medida de seguridad física, que se utiliza como medida de prevención para acceder a la zona de peligro donde se encuentran los robots.

El vallado de seguridad está compuesto de perfiles de aluminio con un mallado reforzado con láminas de policarbonato que recorren todo el perímetro de la celda.

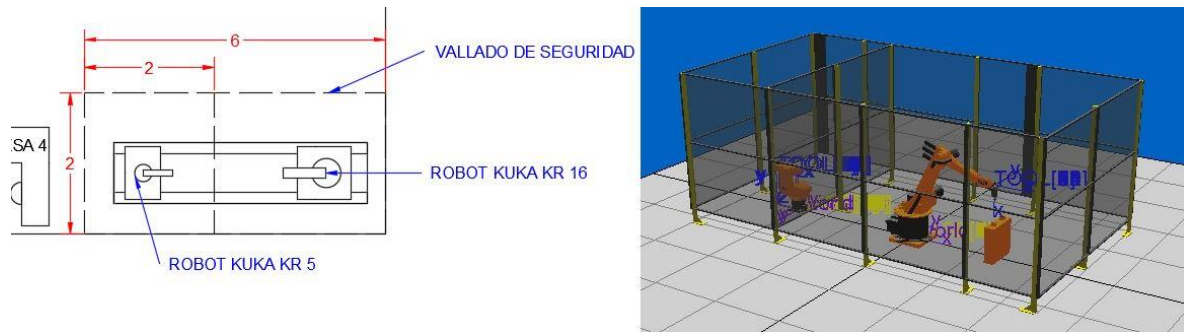


Ilustración 41. Dimensiones del vallado de seguridad. Simulación de la celda en KukaSimPro.

Dimensiones:

- Altura = 2,5 m
- Tipo valla = rendijas cuadradas. (Abertura de las rendijas. $a = 120 \text{ mm}$)
- h = (altura de la valla al suelo) = 200 mm.

6.1.2 Cerradura de seguridad.

En las puertas de acceso se implementarán interruptores de seguridad con enclavamiento electromagnético cuya función es la parada de todos equipos que forman la célula robotizada cuando se abre una de estas puertas.

Este dispositivo de bloqueo dispone de un electroimán que bloquea el pestillo una vez que está en posición de seguridad.

Esta cerradura de seguridad evita el acceso a zonas peligrosas sin previa autorización.

Para nuestra instalación seleccionamos la cerradura de seguridad Knox del fabricante ABB, la cual está compuesta de una parte móvil (cerradura) y la parte fija (elemento de cierre).



Ilustración 42. Cerradura de seguridad Knox de ABB.

Cada dispositivo debe ir acompañado de un pulsador de seguridad cuya función es solicitar acceso a la célula.

Esto quiere decir que si queremos acceder a la celda de manera segura, sería necesario pulsar el botón y esperar a que la cerradura se desbloquee.

Se selecciona el pulsador Smile 11 EAR del fabricante ABB mediante el cual monitorizamos el permiso de acceso a la celda.



Ilustración 43. Pulsador Smile 11 EAR del fabricante ABB.

6.1.3 Pulsadores de emergencia.

Los dispositivos de paro de emergencia se utilizan para permitir a cualquier persona detener la célula en caso de peligro.

La ubicación de los pulsadores de emergencia se realizará en puntos críticos de la zona exterior e interior de la célula, accesibles para los operarios.

El dispositivo seleccionado para la instalación es el Smile 11 EA Tina del fabricante ABB. Este pulsador tiene un tamaño pequeño que nos facilita su instalación.



Ilustración 44. Pulsador de emergencia Smile 11 EA Tina del fabricante ABB.

6.1.4 Señalización luminosa.

La señalización luminosa de la célula nos indica el estado de funcionamiento del robot, advierte sobre peligros o emergencias, y proporcionan orientación a los trabajadores.

Para ello seleccionamos la columna compacta de señalización luminosa Kompakt 37 del fabricante Werma.

La ubicación correcta de este dispositivo debe de ser en una zona elevada de la célula, donde la visibilidad sea total para los operarios.



Ilustración 45. Columna compacta de señalización. Serie Kompakt 37 del fabricante Werma.

7 Conclusiones y líneas futuras.

El principal objetivo de este trabajo ha sido el diseño de los diferentes utillajes que conforman la célula robotizada de mecanizado para su verificación volumétrica mediante tres brazos telescópicos.

Para ello hemos realizado diferentes estudios de geometría y dimensiones del material disponible al inicio del proyecto, con los que hemos obtenido diferentes resultados y conclusiones, los cuales hemos tenido en cuenta a la hora de diseñar los distintos utillajes

En este proyecto se ha diseñado diferentes utillajes, cumpliendo todos los requisitos requeridos para forma parte de la configuración de la célula.

Hemos diseñado el elemento mediante el cual podemos instalar el robot Kuka KR16 sobre la bancada disponible en taller de fabricación, la placa que nos permite conexionar el electrohusillo y el utillaje bola del sistema de medición con la brida del robot y la mesa de trabajo donde se posiciona la pieza.

Por otro lado también hemos diseñado los utillajes con los que somos capaces de adaptar los tres brazos telescópicos a la célula.

En cada uno de estos utillajes hemos tenido en cuenta que sean diseños modulares y fáciles de instalar, finalmente hemos comprobado que su comportamiento es correcto.

Por último se han seleccionado distintos elementos que garantizan la seguridad en la célula.

En cuanto a líneas futuras, sería interesante realizar un diseño de una mesa de trabajo que pueda albergar mayor número de piezas, aumentando la capacidad de producción del sistema. Por otra parte, una mejora del diseño del utillaje en el que apoyan las esferas de los brazos telescópicos, debido a que aumentando la distancia entre estas esferas, el sistema de medición podrá medir mayor volumen.

8 Bibliografía

1. **Brosed, Francisco Javier, y otros, y otros.** *Calibration and uncertainty budget analysis of a high precision telescopic instrument for simultaneous laser multilateration.* Zaragoza : Universidad de Zaragoza, 2022.
2. **Jiménez, Sergio Aguado, Mazo, Jorge Santolaria y D.Samper Carnicer, Juan José Aguilar Martín.** interempresas.net. [En línea] 2012. <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/62739-Verificacion-volumetrica-solucion-verificacion-maquina-herramienta-grandes-dimensiones.html>.
3. **KUKA Roboter.** *Manual de instrucciones KUKA KR16.* 2014.
4. *Multilateración en verificación volumétrica de máquina herramienta.* **Jiménez, S. Aguado, y otros, y otros.**
5. **Tecnopower.** tecnopower.es. [En línea] <https://www.tecnopower.es/producto/electrohusillos-mtc>.
6. **Soportes antivibratorios. EGAÑA.** eganasl.com. [En línea] <https://www.eganasl.com/es/ar/27/2.html>.
7. **UNE - ISO 10218-1:2012.** une.org. [En línea] <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0049289>.
8. **UNE - ISO10218-2:2011.** une.org. [En línea] <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0048668>.
9. **ABB.** new.abb.com. [En línea] <https://new.abb.com/products/es/2TLA030051R0100/smile-11-ear>.
10. —. new.abb.com. [En línea] <https://new.abb.com/products/es/2TLA030050R0000/smile-11-ea-tina>.
11. **Werma.** werma.com. [En línea] https://www.werma.com/es/products/signaltower/configured/kompakt_37.php.