

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Dpto. de INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA



INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL  
ESPECIALIDAD ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE CARRERA

**PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA CABEZA DEL  
ROBOT HUMANOIDE TEO, MEDIANTE LA  
ADAPTACIÓN DEL DISPOSITIVO KINECT DE  
MICROSOFT**

**AUTOR:** ALBERTO BELVIS PASCUAL

**TUTOR:** SANTIAGO MARTÍNEZ DE LA CASA DÍAZ

LEGANÉS 2015





<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	11
1.2 OBJETIVOS .....	11
1.3 ESTRUCTURA DEL PROYECTO .....	13
<b>2 SOLIDWORKS .....</b>	<b>15</b>
2.1 INTRODUCCIÓN .....	15
2.2 DISEÑAR CON SOLIDWORKS .....	15
2.2.1 PIEZAS .....	15
2.2.1.1 Operaciones.....	16
2.2.1.2 Chapa metálica.....	22
2.2.2 ENSAMBLAJES .....	23
2.2.2.1 Toolbox .....	26
<b>3 DISEÑO ADAPTADO DE KINECT .....</b>	<b>27</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	27
3.2 EL DISPOSITIVO KINECT DE MICROSOFT .....	27
3.2.1 ELEMENTOS QUE FORMAN KINECT .....	28
3.2.2 COMO FUNCIONA KINECT .....	30
3.2.3 APLICACIONES DE KINECT .....	31
3.3 DISEÑO ADAPTADO DE KINECT.....	32
3.3.1 DESMONTANDO KINECT .....	32
3.3.2 SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	34
3.3.3. DISEÑO DEL DISPOSITIVO.....	34
3.3.3.1 Placas electrónicas.....	34
A) Placa superior .....	35
B) Placa larga inferior.....	36
C) Placa inferior corta.....	38
D) Ensamblaje de placas.....	39



3.3.3.2 Cámaras y proyector .....	40
3.3.3.3 Estructura metálica.....	41
3.3.3.4 Micrófonos.....	43
3.3.3.5 Diseño completo de Kinect .....	44
<b>4 DISEÑO DE LAS CARCASAS DE LA CABEZA Y EL CUELLO DEL ROBOT .....</b>	<b>50</b>
4.1 INTRODUCCIÓN .....	50
4.2 LA CARCASA DE LA CABEZA.....	51
4.2.1 EL CASCO .....	51
4.2.2 LA CRESTA.....	52
4.2.3 LA MÁSCARA .....	53
4.2.3.1 Máscara versión 1 .....	53
4.2.3.2 Máscara versión 2 .....	54
4.2.3.3 Máscara versión 3 .....	56
4.2.4 EL DISEÑO COMPLETO DE LA CARCASA DE LA CABEZA .....	58
4.2.4.1 Carcasa de la cabeza versión 1 .....	58
4.2.4.2 Carcasa de la cabeza versión 2 .....	60
4.2.4.3 Carcasa de la cabeza versión 3 .....	61
4.3 LA CARCASA DEL CUELLO.....	63
4.3.1 ESTRUCTURA PRINCIPAL DE LA CARCASA DEL CUELLO .....	63
4.3.2 EL SOPORTE DE LA CARCASA DEL CUELLO .....	64
4.3.3 DISEÑO FINAL DE LA CARCASA DEL CUELLO .....	65
4.4 LA UNIÓN DE LA CABEZA Y EL CUELLO.....	68
<b>5 DISEÑO DEL SISTEMA MOTOR.....</b>	<b>70</b>
5.1 INTRODUCCIÓN .....	70
5.1.1 MOMENTO DE UNA FUERZA .....	71
5.1.2 RELACIONES DE TRANSMISIÓN .....	72



5.1.3 ENCAPSULADOS .....	74
5.2 MOVIMIENTO HACIA ADELANTE O HACIA ATRÁS.....	74
5.2.1 CÁLCULO DEL MOMENTO DE FUERZA.....	74
5.2.2 MOTOR Y RUEDAS DENTADAS.....	76
5.2.2.1 Motor .....	76
5.2.2.2 Ruedas dentadas .....	76
5.2.3 ENCAPSULADO .....	80
5.2.3.1 La caja .....	80
5.2.3.2 La tapadera.....	81
5.2.3.3 Cojinetes .....	82
5.2.3.4 Encapsulado ensamblado .....	83
5.2.4 DISEÑO FINAL DEL SISTEMA MOTOR .....	84
5.3 MOVIMIENTO GIRATORIO SOBRE EL CUELLO .....	85
5.3.1 CÁLCULO DEL MOMENTO DE FUERZA.....	86
5.3.2 MOTOR Y RUEDAS DENTADAS.....	87
5.3.2.1 Motor .....	87
5.3.2.2 Ruedas dentadas .....	87
5.3.3 ENCAPSULADO .....	91
5.3.3.1 La caja .....	91
5.3.3.2 La tapadera.....	92
5.3.3.3 Cojinetes .....	93
5.3.3.4 Encapsulado ensamblado .....	94
5.3.4 DISEÑO FINAL DEL SISTEMA MOTOR .....	95
<b>6 DISEÑO COMPLETO DE LA CABEZA .....</b>	<b>97</b>
6.1 INTRODUCCIÓN .....	97
6.2 EL DISEÑO FINAL DE LA CABEZA ROBÓTICA .....	97
6.3 LOS MOVIMIENTOS DE LA CABEZA.....	99



<b>7 PRESUPUESTO.....</b>	<b>102</b>
7.1 PRESUPUESTO DE COMPONENTES .....	102
7.2 PRESUPUESTO DE DISEÑO .....	103
7.3 PRESUPUESTO TOTAL.....	103
<b>8 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>104</b>
8.1 CONCLUSIONES .....	104
8.2 TRABAJOS FUTUROS .....	104
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>107</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1</i> Seleccionar para empezar el diseño de una pieza .....	16
<i>Figura 2.2</i> Selección del plano para comenzar el diseño .....	16
<i>Figura 2.3</i> Barra de herramientas de operaciones.....	17
<i>Figura 2.4</i> Barra de herramientas de croquis.....	17
<i>Figura 2.5</i> Circunferencia croquizada .....	18
<i>Figura 2.6</i> Circunferencia extruida .....	19
<i>Figura 2.7</i> Opciones para una operación .....	19
<i>Figura 2.8</i> Croquizando un taladro sobre un sólido .....	20
<i>Figura 2.9</i> Arandela finalizada.....	21
<i>Figura 2.10</i> Vistas y perspectivas de Solidworks.....	21
<i>Figura 2.11</i> Gestor de diseño para operaciones.....	22
<i>Figura 2.12</i> Selección para empezar el diseño de un ensamblaje .....	23
<i>Figura 2.13</i> Barra de herramientas para ensamblajes.....	23
<i>Figura 2.14</i> Ensamblando tornillo y arandela.....	24
<i>Figura 2.15</i> Tornillo y arandela ensamblados .....	25
<i>Figura 2.16</i> Gestor de diseño para ensamblajes .....	26
<i>Figura 3.1</i> Dispositivo Kinect de Microsoft .....	28
<i>Figura 3.2</i> Proyector y cámaras de Kinect .....	28
<i>Figura 3.3</i> Micrófonos de Kinect.....	29
<i>Figura 3.4</i> Placas electrónicas de Kinect .....	29
<i>Figura 3.5</i> Kinect reconociendo entornos .....	30
<i>Figura 3.6</i> Esquema de funcionamiento de Kinect .....	31
<i>Figura 3.7</i> Desmontando la carcasa de Kinect .....	33
<i>Figura 3.8</i> Componentes que forman Kinect .....	33
<i>Figura 3.9</i> Placas electrónicas .....	34
<i>Figura 3.10</i> Placa superior .....	35
<i>Figura 3.11</i> Cara superior de la placa superior.....	35
<i>Figura 3.12</i> Cara inferior de la placa superior.....	36
<i>Figura 3.13</i> Placa larga inferior .....	36
<i>Figura 3.14</i> Separador hexagonal.....	36



*Figura 3.15 Cara superior de la placa larga inferior..... 37*

*Figura 3.16 Cara inferior de la placa larga inferior..... 37*

*Figura 3.17 Placa inferior corta ..... 38*

*Figura 3.18 Cara superior de la placa inferior corta..... 38*

*Figura 3.19 Cara inferior de la placa inferior corta..... 39*

*Figura 3.20 Ensamblando las placas electrónicas..... 39*

*Figura 3.21 Placas ensambladas..... 40*

*Figura 3.22 Cámaras y proyector reales..... 40*

*Figura 3.23 Diseños de cámaras y proyector ..... 41*

*Figura 3.24 Corte de extremos de la estructura metálica..... 41*

*Figura 3.25 Diseño de la estructura metálica..... 42*

*Figura 3.26 Perspectiva trasera de la estructura metálica..... 42*

*Figura 3.27 Micrófonos de Kinect..... 43*

*Figura 3.28 Diseño del soporte para los micrófonos..... 43*

*Figura 3.29 Diseño de los micrófonos..... 44*

*Figura 3.30 Ensamblando las cámaras y el proyector..... 44*

*Figura 3.31 Ensamblaje de cámaras y proyector..... 45*

*Figura 3.32 Ensamblando la placa larga inferior..... 45*

*Figura 3.33 Ensamblaje de la placa larga inferior..... 46*

*Figura 3.34 Ensamblando la placa superior y la corta inferior..... 46*

*Figura 3.35 Ensamblaje de la placa superior y la corta inferior ..... 47*

*Figura 3.36 Ensamblando los micrófonos..... 47*

*Figura 3.37 Ensamblaje de micrófonos ..... 48*

*Figura 3.38 Diseño completo del dispositivo Kinect..... 48*

*Figura 3.39 Perspectiva de planta del dispositivo diseñado..... 49*

*Figura 4.1 Casco ..... 52*

*Figura 4.2 Cresta..... 52*

*Figura 4.3 Máscara versión 1: soporte y visera transparente..... 53*

*Figura 4.4 Máscara versión 1..... 54*

*Figura 4.5 Máscara versión 2: máscara..... 55*

*Figura 4.6 Máscara versión 2: antifaz ..... 55*



*Figura 4.7 Máscara versión 2*..... 56

*Figura 4.8 Máscara versión 3: vistas frontal y trasera* ..... 56

*Figura 4.9 Ensamblando la carcasa de la cabeza versión 1* ..... 59

*Figura 4.10 Carcasa de la cabeza del robot versión 1* ..... 59

*Figura 4.11 Ensamblando la carcasa de la cabeza versión 2* ..... 60

*Figura 4.12 Carcasa de la cabeza del robot versión 2* ..... 61

*Figura 4.13 Ensamblando la carcasa de la cabeza versión 3* ..... 62

*Figura 4.14 Carcasa de la cabeza del robot versión 3* ..... 62

*Figura 4.15 Estructura principal de la carcasa del cuello* ..... 64

*Figura 4.16 Soporte de la carcasa del cuello*..... 65

*Figura 4.17 Carcasa del cuello del robot* ..... 66

*Figura 4.18 El movimiento de la carcasa del cuello del robot*..... 67

*Figura 4.19 Uniendo las carcasas de la cabeza y el cuello* ..... 68

*Figura 4.20 Perspectiva dimétrica de las carcasa ensambladas*..... 69

*Figura 5.1 Movimientos de la cabeza del robot* ..... 70

*Figura 5.2 Momento de una fuerza* ..... 72

*Figura 5.3 Relaciones de transmisión* ..... 73

*Figura 5.4 Cálculo del momento de fuerza en el movimiento hacia adelante o hacia atrás*..... 75

*Figura 5.5 Motor de corriente continua seleccionado* ..... 76

*Figura 5.6 Diseño del sistema de ruedas dentadas para el movimiento hacia adelante o hacia atrás*..... 77

*Figura 5.7 Diseño del sistema de ruedas dentadas para el movimiento hacia adelante o hacia atrás, donde apreciamos lo ejes de rotación y las relaciones entre los distintos pares de fuerza*..... 78

*Figura 5.8 Diseño de la caja del encapsulado para el movimiento hacia adelante o hacia atrás*..... 80

*Figura 5.9 Perspectiva de planta de la caja del encapsulado para el movimiento hacia adelante o hacia atrás* ..... 81

*Figura 5.10 Tapadera del encapsulado para el movimiento hacia adelante o hacia atrás*.. 82

*Figura 5.11 Cojinete* ..... 82

*Figura 5.12 Ensamblando el encapsulado para el movimiento hacia adelante o hacia atrás*..... 83

*Figura 5.13 Diseño del encapsulado para el movimiento hacia adelante o hacia atrás*..... 83



*Figura 5.14* Diseño del sistema motor para el movimiento hacia adelante o hacia atrás.... 84

*Figura 5.15* Diseño del sistema motor para el movimiento hacia adelante o hacia atrás, con la caja y la tapadera en vista modo transparente..... 85

*Figura 5.16* Cálculo del momento de fuerza en el movimiento giratorio sobre el cuello ..... 86

*Figura 5.17* Motor de corriente continua seleccionado ..... 87

*Figura 5.18* Sistema de ruedas dentadas diseñado para el movimiento giratorio sobre el cuello ..... 88

*Figura 5.19* Diseño del sistema de ruedas dentadas para el movimiento giratorio sobre el cuello, donde apreciamos los ejes de rotación y las relaciones entre los distintos pares de fuerza..... 89

*Figura 5.20* Diseño de la caja del encapsulado para el movimiento giratorio sobre el cuello ..... 91

*Figura 5.21* Perspectiva de planta de la caja del encapsulado para el movimiento giratorio sobre el cuello ..... 92

*Figura 5.22* Diseño de la tapadera del encapsulado para el movimiento giratorio sobre el cuello ..... 93

*Figura 5.23* Cojinete ..... 93

*Figura 5.24* Ensamblando el encapsulado para el movimiento giratorio sobre el cuello..... 94

*Figura 5.25* Diseño del encapsulado para el movimiento giratorio sobre el cuello..... 94

*Figura 5.26* Diseño del sistema motor para el movimiento giratorio sobre el cuello ..... 95

*Figura 5.27* Diseño del sistema motor para el movimiento giratorio sobre el cuello, con la caja y la tapadera en vista modo transparente ..... 96

*Figura 6.1* Diseño final de la cabeza robótica ..... 97

*Figura 6.2* Vista frontal de la cabeza del robot con la carcasa de la cabeza en modo visión transparente ..... 98

*Figura 6.3* La cabeza robótica inclinándose hacia delante ..... 99

*Figura 6.4* La cabeza del robot girada hacia la derecha ..... 100

*Figura 6.5* La cabeza del robot realizando los dos movimientos simultáneamente ..... 101



# **1 INTRODUCCIÓN**

En este primer capítulo del presente proyecto comenzaremos con una breve reseña a la evolución de la robótica, con mención especial a la parte que más nos interesa que no es otra que la cabeza, para a continuación exponer los objetivos del trabajo y como se conforma la estructura del documento.

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

En las últimas décadas el avance de la robótica ha sido constante e imparable, hemos pasado de unos autómatas bastantes simples y básicos que realizaban pocas funciones, a unas máquinas realmente complejas capaces de imitar a la perfección muchas de las actitudes humanas más características. La evolución de esta ciencia y su cada vez mayor incidencia en la vida humana cotidiana es evidente, y en un futuro no muy lejano se puede vislumbrar como próximo horizonte el desarrollo completo de la inteligencia artificial, para que tal vez algún día un robot sea capaz de sentir y razonar tal como lo haría un ser humano.

En el plano de las cabezas robóticas además de la necesaria mejora en el reconocimiento e interpretación del entorno, el progreso también ha ido dirigido a la mejora de su aspecto externo, dotándolo de uno más humano, intentando quizá disminuir ingenuamente en un futuro cierto rechazo en algunos sectores de la población, facilitando así su implantación en la sociedad cuando esta tecnología se universalice. Por tanto el viejo aspecto metálico parece estar quedando atrás. También este progreso se ha enfocado al desarrollo de sus funciones, algunas incluso con el objetivo de reflejar estados de ánimo como por ejemplo sonreír o cantar. Dado que esta evolución de la robótica es imparable y constante, veremos en los próximos años con que nuevos progresos nos sorprende esta ciencia.

## **1.2 OBJETIVOS**

En el laboratorio de robótica de la universidad Carlos III de Madrid se está llevando a cabo el diseño y la construcción del robot humanoide TEO. Este robot pretende mejorar las capacidades de su predecesor, el RH-1, y se espera que pueda llegar a ser capaz de realizar tareas como subir y bajar escalones o transportar objetos entre



otras, incluso en un futuro podría dedicarse a labores tan importantes como el cuidado de niños y ancianos o a cometidos de seguridad.

El objetivo de este proyecto es proponer un diseño para la cabeza de TEO. El diseño habrá de incluir además de la cabeza, el cuello del robot, finalizando este en el comienzo del torso. Para esta propuesta de diseño utilizaremos el dispositivo Kinect de Microsoft, adaptándolo e integrándolo en el interior de la carcasa de la cabeza que diseñemos, para de esta manera sacar el máximo partido posible a todas sus capacidades como son la captura de movimiento en 3D, reconocimiento facial, y capacidades de reconocimiento de voz; con el objetivo de que nuestro robot posea un reconocimiento e interpretación del entorno de alta calidad.

Dentro del objetivo general de proponer un diseño, deberemos cumplir otros objetivos específicos respecto a las funcionalidades y características que ha de poseer dicho diseño. Uno de estos objetivos se refiere a los movimientos que la cabeza será capaz de realizar. En este aspecto nuestra meta será que el diseño esté preparado para poder realizar dos tipos distintos de movimiento. Un movimiento en el cual la cabeza gire sobre el cuello en cualquier sentido (girando sobre un eje vertical), y otro donde cabeza y cuello puedan inclinarse hacia adelante o hacia atrás (girando sobre un eje horizontal), según se seleccione.

Para conseguir todo lo anterior implementaremos un sistema de engranajes encapsulados para cada movimiento. Estos sistemas estarán ubicados en el interior de la carcasa del cuello. Para generar el movimiento en cada uno ellos utilizaremos un motor de corriente continua. Todos estos elementos, motores y engranajes, serán escogidos con precisión después de realizar los cálculos pertinentes respecto al par motor necesario.

Todo lo expuesto antes hace referencia a los elementos físicos o de hardware, por decirlo de alguna manera, que formarán parte del diseño (carcasas de cabeza y cuello, Kinect, sistemas de engranajes encapsulados y motores de corriente continua), pero nada se ha dicho hasta ahora del software o programas utilizados para llevar a cabo ese diseño. Pues bien, el programa utilizado para diseñar cada una de las partes de la cabeza será Solidworks de Microsoft, un programa de diseño gráfico 3D asistido por ordenador. Con esta herramienta llevaremos a cabo todo el proceso de diseño gráfico.

Para concluir este apartado mencionar, que como ya se apuntó en la introducción, en el fondo de este proyecto subyace la idea de seguir avanzando en la disciplina de la



robótica, adaptando y utilizando para ello la nueva tecnología disponible en el mercado, como es el caso del dispositivo Kinect en este trabajo.

## 1.3 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El proyecto se estructura en ocho capítulos, a continuación realizaremos una breve descripción de cada uno de ellos:

- ❖ *Capítulo 1:* este primer capítulo comienza con una breve introducción a la robótica donde se incide principalmente en la evolución seguida por esta ciencia en los últimos años. A continuación se exponen los objetivos del presente proyecto, así como su estructura.
- ❖ *Capítulo 2:* aprenderemos el manejo básico del programa informático de diseño gráfico Solidworks, herramienta fundamental en este proyecto, ya que con ella se llevará a cabo todo el proceso de diseño de la cabeza robótica.
- ❖ *Capítulo 3:* adaptaremos el diseño original de Kinect con el objetivo de lograr la integración del dispositivo con la carcasa de la cabeza robótica.
- ❖ *Capítulo 4:* se diseñarán las carcasas o estructuras de la cabeza y el cuello del robot.
- ❖ *Capítulo 5:* diseñaremos el sistema motor de la cabeza, el cual irá alojado en el interior del cuello, y permitirá realizar dos tipos distintos de movimiento.
- ❖ *Capítulo 6:* con este capítulo se dará por finalizado el diseño de la cabeza robótica, en él se mostrará el diseño completo con todos los elementos y componentes ya ensamblados. También analizaremos los movimientos que la cabeza es capaz de realizar.
- ❖ *Capítulo 7:* realizaremos un presupuesto detallado en relación al coste del proyecto.



- ❖ *Capítulo 8:* expondremos una breve conclusión sobre lo que supone la realización del presente proyecto, así como el camino que queda abierto para futuros trabajos.

Al final del proyecto se incluyen la bibliografía y los anexos correspondientes.



## **2 SOLIDWORKS**

En este capítulo explicaremos a grandes rasgos como usar el programa de diseño gráfico Solidworks. Después de hacer una breve introducción sobre los orígenes del programa, aprenderemos a diseñar piezas y ensamblajes, además de ver también otras muchas opciones y posibilidades que nos ofrece Solidworks.

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

Solidworks es un programa de diseño gráfico asistido por ordenador, desarrollado por Solidworks Corp para el sistema operativo Microsoft Windows. Este programa constituye una herramienta muy potente para modelar y diseñar piezas en tres dimensiones. El programa también ofrece la posibilidad de realizar ensamblajes y dibujos técnicos en dos dimensiones. En este capítulo nos centraremos en explicar como se diseñan piezas y como se realizan ensamblajes, puesto que son las dos opciones que ofrece el programa que mas utilizaremos en este proyecto.

Desde que salió a la venta la primera versión de Solidworks en el año 1995, han sido muchas las versiones del programa que han existido, la última, Solidworks 2012. En este proyecto utilizaremos la versión del año 2011.

### **2.2 DISEÑAR CON SOLIDWORKS**

En este apartado veremos cómo se diseña con Solidworks, empezando por la pieza el elemento más simple de diseño, y continuando por los ensamblajes.

#### **2.2.1 PIEZAS**

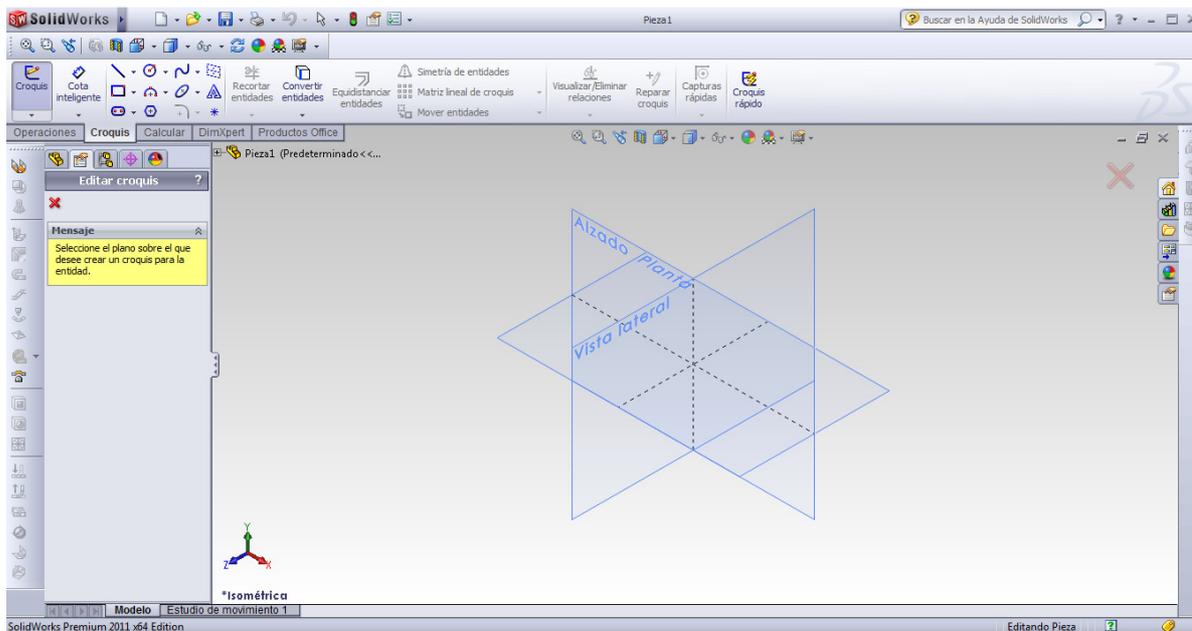
La pieza es el elemento básico de diseño en Solidworks (Figura 2.1), por decirlo de alguna manera, es la unidad de diseño, el elemento mas simple. Se construyen mediante las operaciones.



una representación en 3D de un único componente de diseño

**Figura 2.1** Seleccionar para empezar el diseño de una pieza.

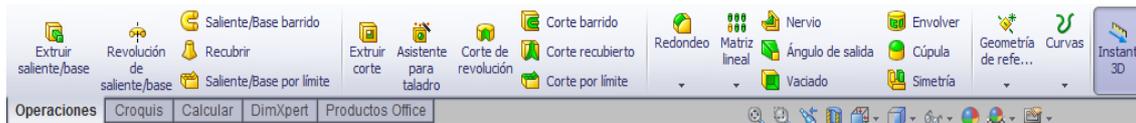
El primer paso para diseñar una pieza es elegir el plano en el que queremos trabajar (Figura 2.2) y comenzar por una operación que cree un sólido.



**Figura 2.2** Selección del plano para comenzar el diseño.

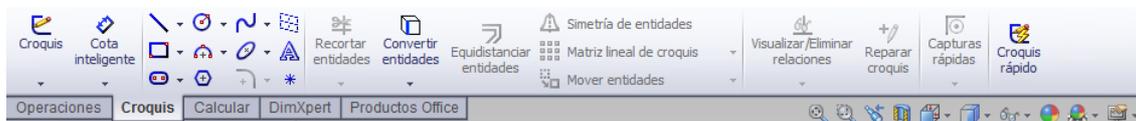
### **2.2.1.1 OPERACIONES**

Las operaciones son el instrumento por el cual las piezas son creadas y modeladas. A través de ellas podemos crear sólidos, realizar cortes a un material, taladros, chaflanes etc. En el entorno gráfico de Solidworks el grueso de las operaciones aparecen situadas en la parte superior de la pantalla, en una barra de herramientas (Figura 2.3), pulsando previamente la pestaña operaciones.



**Figura 2.3 Barra de herramientas de operaciones.**

Para diseñar una pieza hay que seleccionar la operación que queremos realizar y el plano o cara de la pieza en el que se quiere trabajar, a continuación se dibuja o se realiza un croquis con las herramientas que el programa pone a nuestra disposición para ello. Al igual que con las operaciones, las herramientas de croquis están ubicadas en la parte superior de la pantalla, en una barra de herramientas (Figura 2.4) pulsando previamente la pestaña croquis.



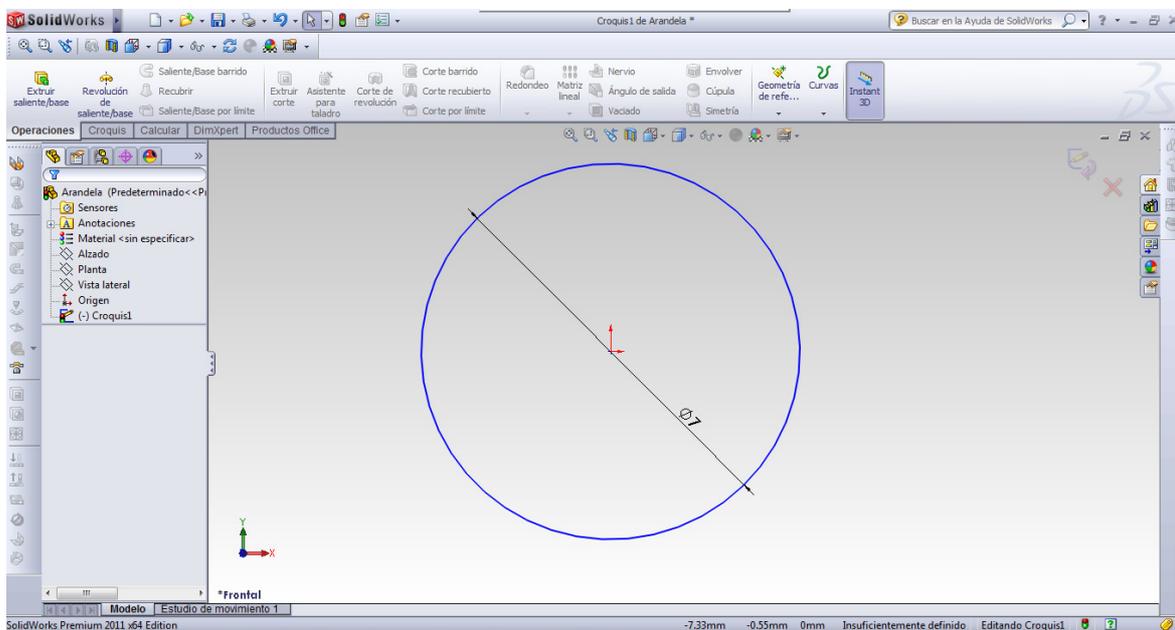
**Figura 2.4 Barra de herramientas de croquis.**

Con estas herramientas se podrán crear rectas, curvas, diferentes formas geométricas como círculos, elipses, en definitiva, cualquier forma que se pueda imaginar, todo ello siempre en dos dimensiones.

Para ilustrar como se diseñan las piezas con el programa Solidworks, realizaremos un sencillo ejemplo de diseño con tan solo dos operaciones. La pieza a diseñar será una simple arandela .

Para comenzar con el diseño de la arandela, dibujaremos un croquis de una circunferencia de 7mm (Figura 2.5) con la herramienta círculo . Para especificar las medidas en los croquis, disponemos de la herramienta cota inteligente , que permite acotar cualquier arista, línea o curva del dibujo realizado.

En la siguiente figura, podemos observar como se dibuja una circunferencia con las herramientas de croquis en el entorno gráfico de Solidworks. La circunferencia ha sido acotada con una medida de 7 mm de diámetro como se puede ver. Cabe destacar que todas las medidas en Solidworks se dan en milímetros por defecto.



**Figura 2.5 Circunferencia croquizada.**

A continuación vemos como la circunferencia dibujada anteriormente en dos dimensiones, pasa a tres dimensiones mediante una operación de extruir saliente/base (Figura 2.6). Esta operación extruye el croquis dibujado para crear un sólido:

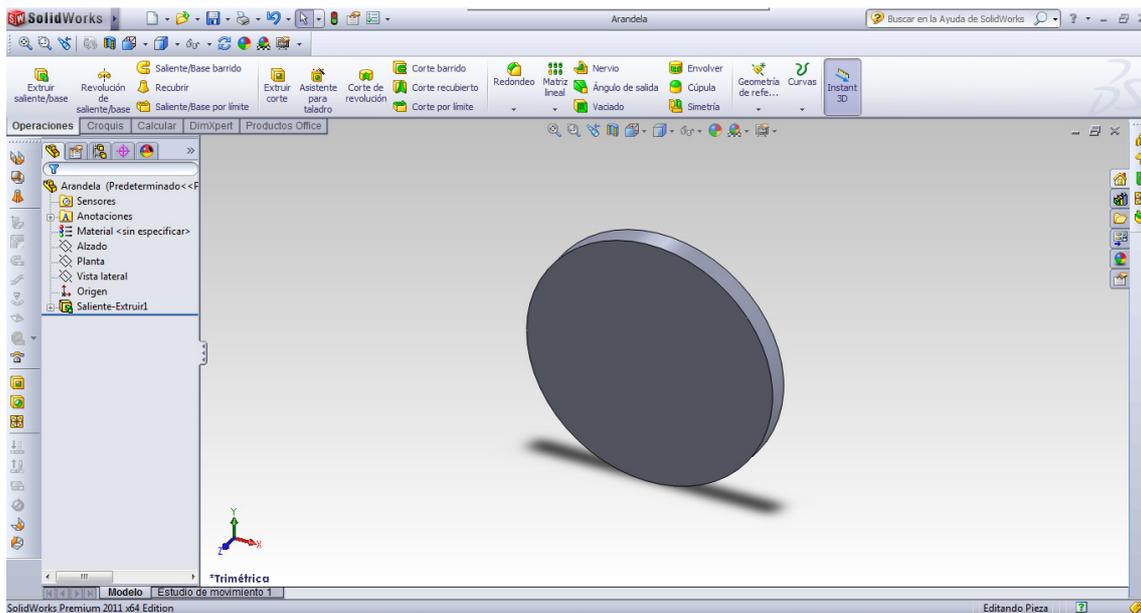


Figura 2.6 Circunferencia extruida.

Antes de realizar una operación, el programa nos pedirá introducir distintos parámetros relativos a esta (Figura 2.7), como por ejemplo el grosor de la pieza o la dirección en la que se hará la operación.

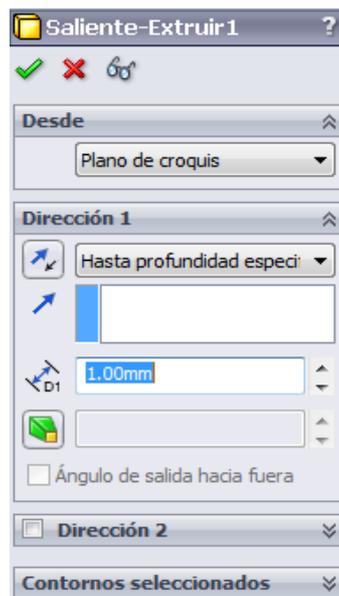
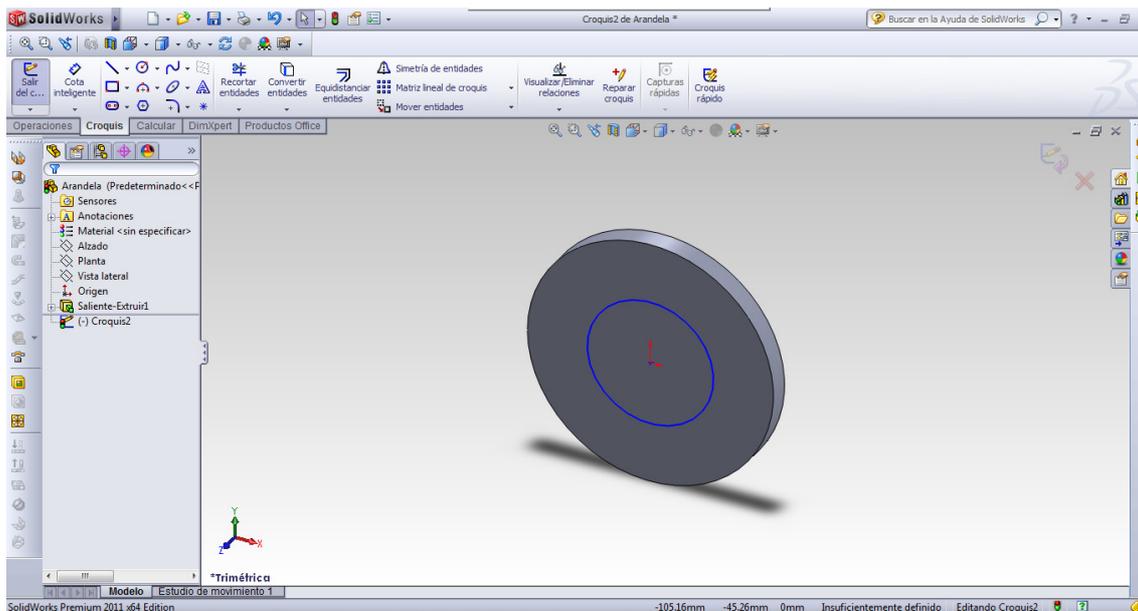


Figura 2.7 Opciones para una operación.

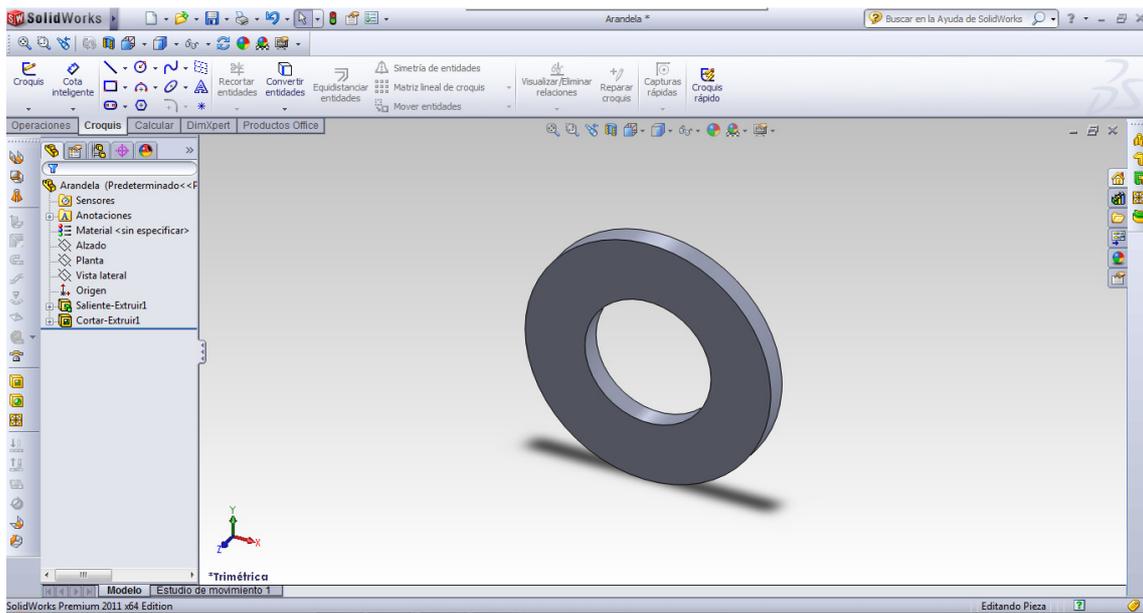
Para continuar con el diseño de la arandela, lo siguiente que haremos será un corte circular sobre el sólido que hemos creado anteriormente, para ello seleccionamos la operación adecuada, en este caso extruir corte , luego la cara de la pieza en la que queremos practicarlo, seguidamente dibujamos el croquis del corte (Figura 2.8), acotamos este, y por último como en la operación anterior, el programa nos dará la posibilidad de introducir diversos parámetros relativos a la operación que estemos llevando a cabo, parámetros como la dirección del corte, profundidad etc. En nuestro ejemplo atravesaremos totalmente el sólido para crear la arandela.

En la siguiente figura podemos ver el croquis del corte dibujado sobre una cara del sólido circular:



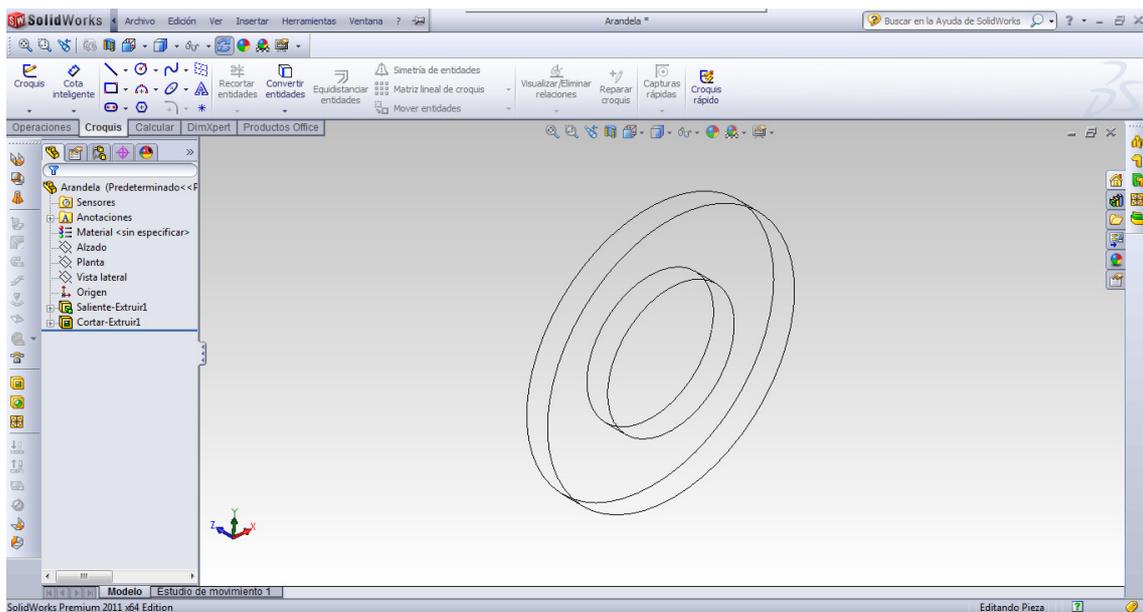
**Figura 2.8 Croquizando un taladro sobre un sólido.**

Después de dibujar el croquis e introducir los parámetros relativos a la operación antes mencionados, esta se lleva a cabo, quedando la pieza como en la figura 2.9. Con solo dos operaciones hemos creado una arandela.



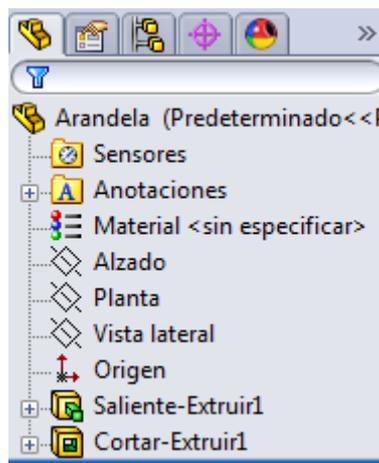
**Figura 2.9 Arandela finalizada.**

El entorno gráfico de Solidworks también ofrece la posibilidad de cambiar tanto la visión de la pieza  como su perspectiva  y así tener un mejor concepto de la pieza con la que estemos trabajando. En la siguiente figura podemos observar la pieza con una visión distinta (estructura alámbrica) y desde otra perspectiva:



**Figura 2.10 Vistas y perspectivas de Solidworks.**

Cuando estemos diseñando cualquier pieza, siempre a la derecha de la pantalla tendremos el gestor de diseño (Figura 2.11), en el cual aparecerá el nombre de la pieza que estemos diseñando, los planos de alzado, planta y vista lateral, el punto de origen y las distintas operaciones que hayamos realizado durante el diseño, con la posibilidad siempre de modificar  o suprimir  cualquiera de ellas.



**Figura 2.11** Gestor de diseño para operaciones.

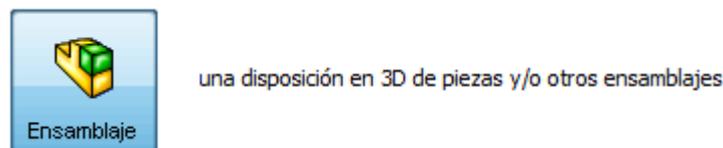
En nuestro ejemplo, como se puede ver, tan solo hemos necesitado realizar dos operaciones para crear la arandela. Primero se ha creado un sólido con la operación saliente-extruir y luego se ha practicado un taladro o corte con la operación cortar-extruir. Otras piezas mas complicadas necesitarán de un mayor numero de operaciones.

### **2.2.1.2 CHAPA METÁLICA**

En Solidworks existen una clase de operaciones específicas para diseñar piezas de chapa metálica. Estas operaciones aparecen a la derecha de la pantalla, junto al gestor de diseño. Para diseñar una pieza de este tipo, al igual que con cualquier otra pieza, deberemos comenzar con una operación que cree un sólido, con la particularidad de que el sólido tendrá que ser de chapa metálica. Por ejemplo la operación Brida base/pestaña  crea un sólido de chapa metálica.

## 2.2.2 ENSAMBLAJES

Un ensamblaje esta formado por la unión de dos o mas piezas, aunque también pueden estar formados por dos o mas ensamblajes, o por una combinación de piezas y ensamblajes. A estos ensamblajes que se unen para formar uno mayor, se les denomina subensamblajes.



**Figura 2.12 Selección para empezar el diseño de un ensamblaje.**

Los ensamblajes son una opción de máxima importancia y utilidad en Solidworks, puesto que prácticamente todo diseño se compone de varias piezas o subensamblajes por muy simple que sea este.

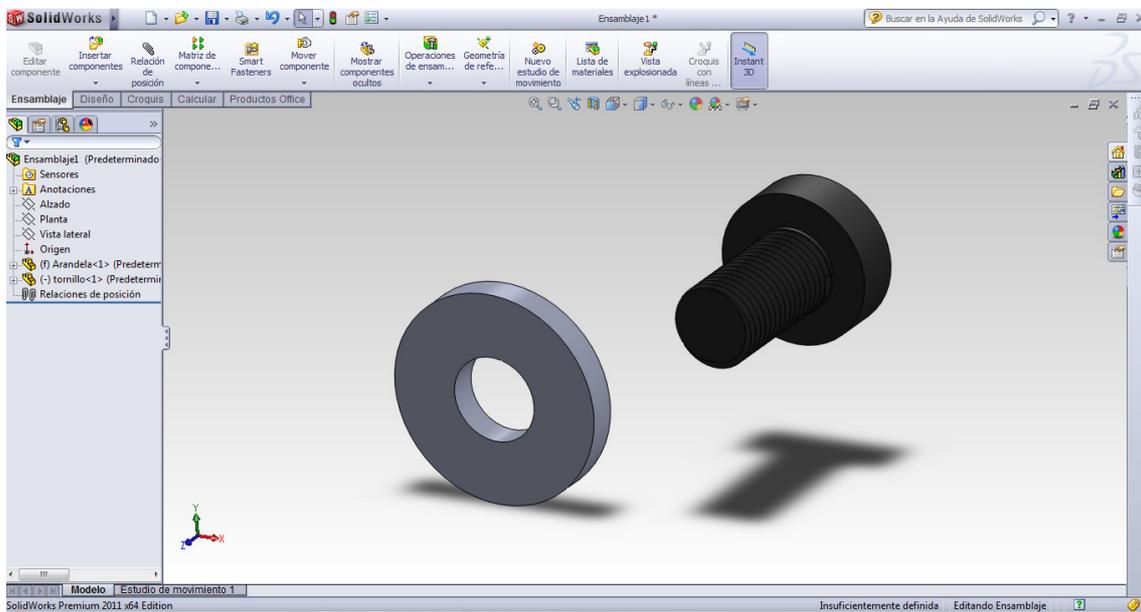
Lo primero que hay que hacer para crear un ensamblaje es insertar en el entorno gráfico las diferentes piezas o subensamblajes que formarán parte de el (Figura 2.14). Para explicar mejor el concepto, uniremos la arandela anteriormente diseñada a un tornillo ya creado.

Lo primero que hay que hacer, como hemos dicho antes, es introducir la piezas que conformarán el ensamblaje, en este caso serán dos piezas, una arandela y un tornillo, que habrán sido previamente diseñadas. En la parte superior de la pantalla del entorno gráfico para ensamblajes, disponemos de una barra de harramientas (Figura 2.13).



**Figura 2.13 Barra de herramientas para ensamblajes.**

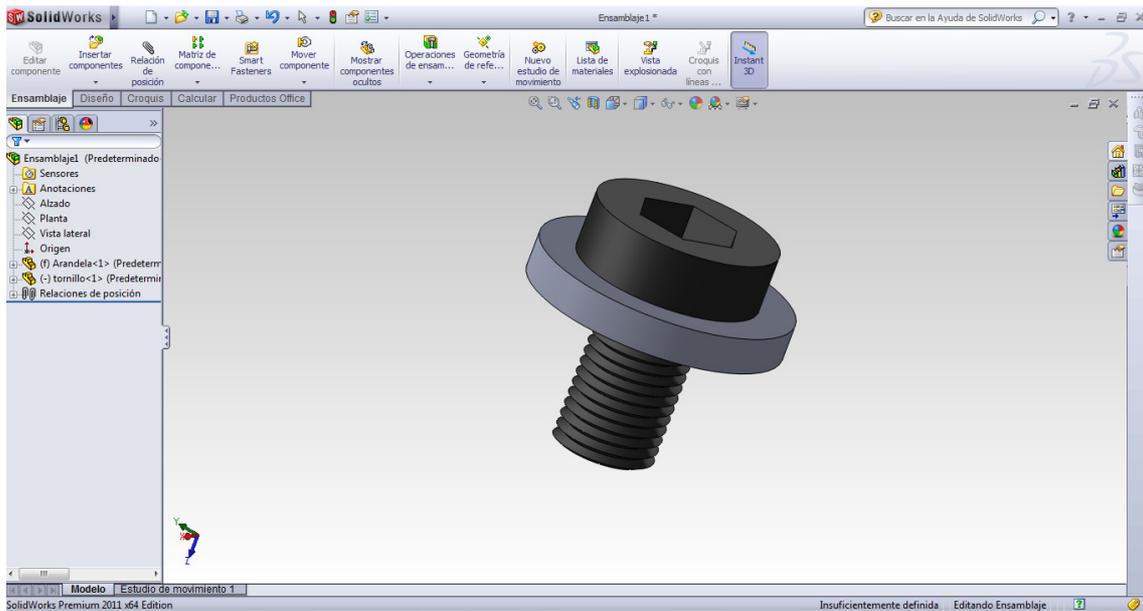
Con el comando insertar componente  los introduciremos en el:



**Figura 2.14 Ensamblando tornillo y arandela.**

Con los componentes ya en el entorno gráfico, lo siguiente será unirlos adecuadamente, esto lo conseguiremos con el comando de la barra de herramientas relación de posición . Este comando se usa para situar una pieza respecto a otra. La relación de posición será el nexo de unión entre las piezas.

Por ejemplo en este caso para unir la arandela y el tornillo, estableceremos una relación de posición que exija que el corte circular de la arandela y la cabeza del tornillo tengan que ser concéntricos , y otra que la cara inferior del tornillo y la cara superior de la arandela sean coincidentes . El resultado es el siguiente:



**Figura 2.15 Tornillo y arandela ensamblados.**

Aparte de las relaciones de posición concéntricas y coincidentes, existen otras como paralelo , perpendicular , tangente , o distancias .

Una vez establecidas las relaciones de posición, Solidworks nos ofrece la posibilidad de crear una vista explosionada del ensamblaje, esto es una suerte de vista de montaje. Esta opción aparece insertada en la barra de herramientas del ensamblaje vista anteriormente . En el ejemplo anterior volveríamos a separar el tornillo de la arandela la distancia y sobre el eje que nosotros seleccionáramos.

Ahora si decidieramos agregar la arandela unida al tornillo a otro ensamblaje mayor, diríamos que el conjunto tornillo-arandela forma un subensamblaje.

Al igual que en el diseño de las piezas, en el entorno gráfico de un ensamblaje, disponemos de un gestor de diseño (Figura 2.16), sin embargo en este gestor, situado también a la derecha de la pantalla, aparecerá primero el nombre del ensamblaje que estemos diseñando o creando, la piezas o subensamblajes que compongan el ensamblaje principal, y las relaciones de posición que hayamos creado.



Figura 2.16 Gestor de diseño para ensamblajes.

Cabe destacar que dentro del entorno gráfico de un ensamblaje también podremos modificar cualquier pieza de este. Utilizando el comando editar componente  de la barra de herramientas, se podrán suprimir operaciones, modificarlas o crear nuevas de la pieza seleccionada.

### 2.2.2.1 TOOLBOX

Toolbox es una opción que está incluida en la biblioteca de diseño de Solidworks, y nos da la posibilidad de insertar piezas estandarizadas como tornillos, arandelas, engranajes, tuercas... en los ensamblajes. Entre los estándares disponibles, citar algunos como el ANSI, ISO o el DIN.



## **3 DISEÑO ADAPTADO DE KINECT**

Este tercer capítulo del proyecto girará en torno al desarrollo del diseño adaptado de Kinect, para integrarlo de la mejor forma posible en el interior de la cabeza robótica. En la siguiente introducción se resume el contenido del presente capítulo.

### **3.1 INTRODUCCION**

Comenzaremos el capítulo con una descripción del dispositivo, donde se conocerán sus orígenes, sus componentes y sus capacidades, su modo de funcionamiento, así como sus diversas aplicaciones. Una vez sepamos que es Kinect y cómo funciona, comenzaremos a desarrollar su diseño con el programa Solidworks. Empezaremos desmontando el dispositivo para poder observar y representar mediante el programa informático adecuadamente sus componentes, por ello utilizaremos un calibre para medirlos físicamente con precisión. Seleccionaremos aquellos que vayamos a incluir en nuestro diseño adaptado, y modificaremos las partes que creamos oportunas, siempre pensando en su integración dentro de la cabeza robótica. Una vez hayamos representado los componentes que formarán parte de nuestro diseño, los ensamblaremos, para de esta manera poder mostrar el diseño final y completo del dispositivo adaptado.

### **3.2 EL DISPOSITIVO KINECT DE MICROSOFT**

Kinect (Figura 3.1) es un dispositivo que permite a los usuarios controlar e interactuar con la videoconsola o el ordenador, sin necesidad de tener contacto físico con un controlador de videojuegos tradicional, como podría ser un mando o un joystick. Todo ello es posible gracias a una interfaz natural de usuario, capaz de reconocer gestos, comandos de voz, objetos e imágenes.

Kinect ha sido desarrollado por la compañía Microsoft para la videoconsola Xbox 360, y para ordenador a través de los sistemas operativos Windows 7 y 8. El dispositivo fue lanzado mundialmente en Noviembre del año 2010 como resultado de un largo periodo de investigación y desarrollo por parte de Microsoft. Este lanzamiento ha supuesto una nueva forma de entender el entretenimiento en el ámbito de los videojuegos, dado que

con esta tecnología el jugador ya no controlará simplemente a un personaje de un videojuego a través de un mando, el jugador lo controlará de una forma completamente innovadora, respondiendo este a sus movimientos y a su voz. En los siguientes apartados se explicará brevemente cómo es posible todo esto.



**Figura 3.1** Dispositivo Kinect de Microsoft.

### 3.2.1 ELEMENTOS QUE FORMAN KINECT

Kinect es un dispositivo complejo formado por múltiples elementos, el funcionamiento de todos ellos en conjunto hace posible que el aparato sea capaz de realizar varias funciones, entre ellas detectar la voz del usuario o reconocer los gestos o movimientos de este. Los elementos de Kinect según su funcionalidad, se pueden dividir en tres grandes bloques: visual (Figura 3.2), auditivo (Figura 3.3), y un cerebro o unidad de procesamiento formado por varias placas electrónicas repletas de chips (Figura 3.4). A continuación se muestran los elementos más importantes de estos bloques y que serán parte fundamental en este proyecto:

- 1- La parte visual de Kinect, formada por un proyector de rayos infrarrojos, una cámara de infrarrojos y una cámara RGB.



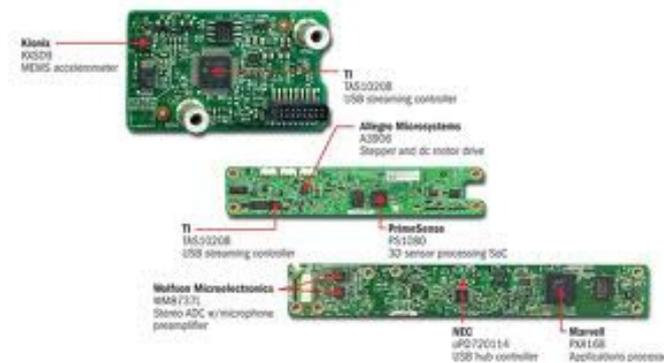
**Figura 3.2** Proyector y cámaras de Kinect.

- 2- La parte auditiva de Kinect, compuesta por cuatro micrófonos.



**Figura 3.3** Micrófonos de Kinect.

- 3- La parte fundamental de Kinect, lo que podríamos llamar cerebro, formado por un entramado de placas electrónicas.



**Figura 3.4** Placas electrónicas de Kinect.

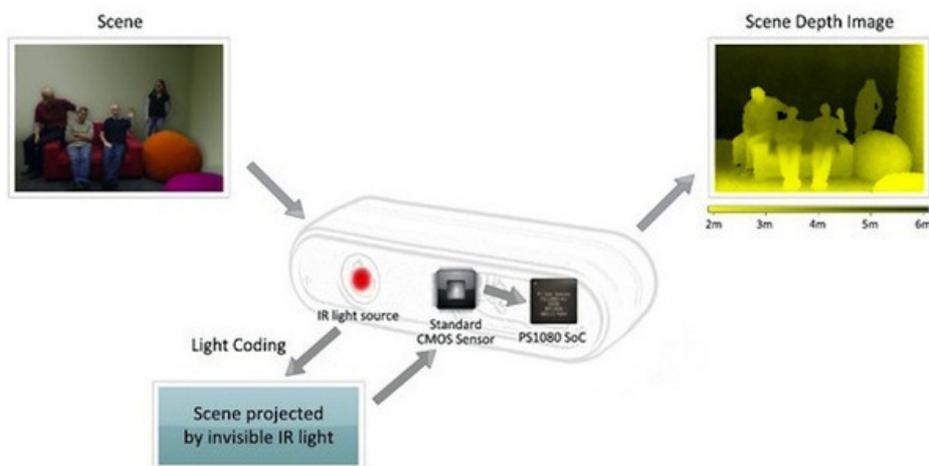
En el siguiente apartado se explicará brevemente el funcionamiento de estos elementos.

### 3.2.2 COMO FUNCIONA KINECT

En este apartado se explicará a grandes rasgos como funciona Kinect, es decir, como es capaz de reconocer el entorno, los movimientos del usuario, o detectar la voz de este; en definitiva, que lo hace tan inteligente.

Para explicar cómo funciona Kinect empezaremos por la parte visual, la que le hace capaz de reconocer el entorno en tres dimensiones.

Kinect dispone de un proyector de infrarrojos de corta distancia, es decir un dispositivo laser que proporciona un enfoque a una distancia útil, sin generar condiciones peligrosas para los jugadores. Una cámara de infrarrojos detecta los reflejos del haz lanzado por el proyector, generando un mapa de profundidad de todo el entorno (Figura 3.5). Por último la cámara RGB proporciona color a los datos adquiridos de dicho entorno, detectando el espectro visual humano.



**Figura 3.5 Kinect reconociendo entornos.**

La parte auditiva, la que le hace capaz de reconocer comandos de voz, consta de cuatro micrófonos. Estos micrófonos se encargan de cancelar ecos y ruidos de fondo, ayudando a determinar quien de todos los jugadores ha emitido un comando de voz.

Los datos adquiridos por las cámaras y los micrófonos son procesados por el chip PS1080. Este chip se encarga de todos los controles del sistema, del proyector de infrarrojos, de los procesos de información que cada cámara recoge, y de las entradas de audio, siendo la parte fundamental del funcionamiento de Kinect, su cerebro. Este chip también establece su enlace a través de una conectividad USB 2.0 hacia uno de los procesadores principales de aplicaciones dentro de Kinect. En la figura 2.6 se muestra un esquema simple del funcionamiento de Kinect, donde podemos observar la interacción del chip PS1080 con los diferentes elementos del dispositivo.

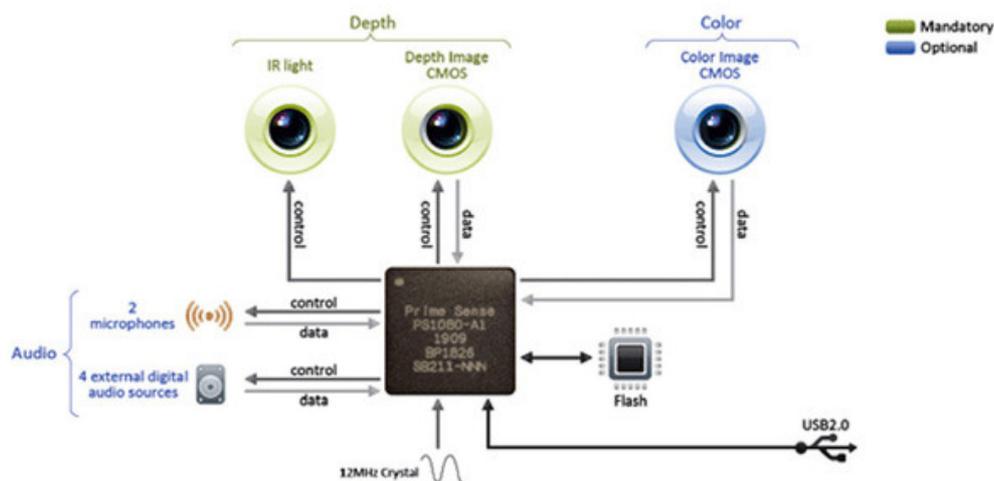


Figura 3.6 Esquema de funcionamiento de Kinect.

### 3.2.3 APLICACIONES DE KINECT

Ya se ha dicho en los apartados anteriores que el dispositivo Kinect fue creado con el objetivo de revolucionar el mundo de las videoconsolas, ya que hacía posible que el jugador interactuara con el dispositivo sin necesidad de utilizar un mando. El jugador podía interactuar haciendo movimientos, gestos, o emitiendo comandos de voz.



Pero el potencial de Kinect es mucho mayor, y ese potencial puede ser utilizado para desarrollar multitud de aplicaciones, teniendo estas muy poco que ver con los videojuegos. Una de ellas es la que nos ocupa en este proyecto, que no es otra que la robótica. Utilizando Kinect un robot podrá entender e interpretar nuestros gestos.

Las aplicaciones de Kinect se extienden a diferentes disciplinas como la medicina, la educación, los negocios etc. Una aplicación interesante y que hace pocos años hubiese parecido ciencia ficción es la telepresencia. Una persona podrá dar una charla en una universidad desde su casa, creándose un modelo físico virtual que represente la gesticulación y el movimiento del individuo.

### **3.3 DISEÑO ADAPTADO DE KINECT**

Como acabamos de ver, Kinect es un dispositivo muy sofisticado, capaz de capturar movimientos y reconocer comandos de voz. Sus cualidades y características le hacen apto para un sinfín de aplicaciones distintas.

El objetivo central de este apartado será representar el dispositivo modificado en el entorno gráfico de Solidworks.

#### **3.3.1 DESMONTANDO KINECT**

Para comenzar tenemos que saber las medidas de los componentes que forman Kinect y que vamos a utilizar en nuestro diseño, por lo tanto, lo primero que haremos será desmontar el dispositivo para tomar medidas de estos componentes con un calibre (Figura 3.7).

Desmontar Kinect es bastante sencillo, basta con retirar la carcasa negra de plástico que protege su interior, para ello solo tendremos que desatornillar unos cuantos tornillos utilizando un destornillador común.



**Figura 3.7** Desmontando la carcasa de Kinect.

Una vez retirada la carcasa de plástico procedemos a separar los distintos componentes que forman Kinect.

Cuando tengamos todos los componentes por separado (Figura 3.8), tomamos medidas con el calibre de aquellos que vayamos a incluir en nuestro diseño.



**Figura 3.8** Componentes que forman Kinect.

### 3.3.2 SELECCIÓN DE COMPONENTES

Una vez desmontado Kinect y con todos sus componentes por separado, seleccionamos aquellos que vayamos a incluir en nuestro diseño.

Los componentes seleccionados serán los principales que forman Kinect y que hacen a este dispositivo tan peculiar dotándole de sus principales cualidades. Por lo tanto nos quedaremos con las placas electrónicas (el cerebro de Kinect), con el proyector infrarrojo y las dos cámaras (los ojos), con los micrófonos (los oídos), y con la estructura metálica (el esqueleto). El sistema motor original se desechará completamente, ya que en este proyecto crearemos uno íntegramente que se ajuste a nuestras necesidades.

### 3.3.3 DISEÑO DEL DISPOSITIVO

Con los componentes ya seleccionados y medidos, comenzaremos el diseño gráfico de cada uno de ellos, para finalmente ensamblarlos todos en un diseño completo del dispositivo.

#### 3.3.3.1 PLACAS ELECTRÓNICAS

Empezaremos diseñando las tres placas electrónicas de Kinect (Figura 3.9). Las placas no sufrirán ninguna modificación y serán representadas en el entorno gráfico de Solidworks en su estado original.

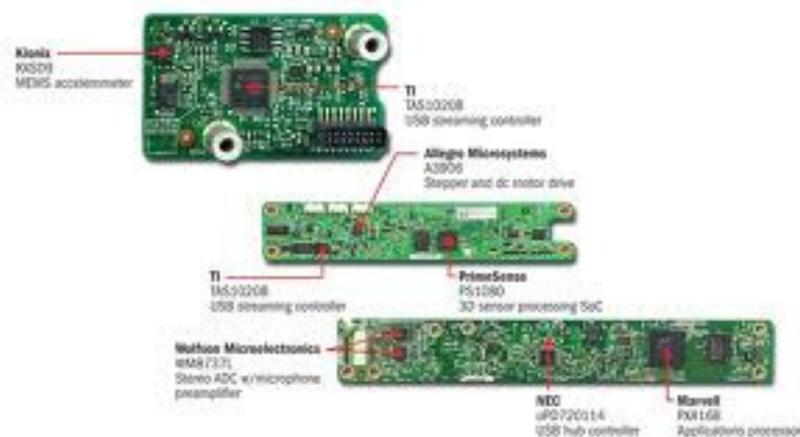


Figura 3.9 Placas electrónicas.

Para diseñar las placas con Solidworks solo daremos importancia a sus dimensiones (largo, ancho y grosor de cada placa), a los conectores, orificios, y elementos electrónicos más relevantes y de mayor tamaño que puedan delimitar o condicionar nuestro diseño por cuestiones de espacio y tamaño, sin detenernos en los detalles electrónicos de cada una de ellas. A continuación se muestran los diseños realizados de estas placas.

### A) PLACA SUPERIOR:

Comenzaremos diseñando la placa de mayor tamaño, una placa que está ubicada en la parte superior de Kinect. Sus medidas son 180 mm de largo, 26 mm de ancho y 1.45 mm de grosor. La placa tiene 7 orificios circulares de 3 mm de diámetro cada uno y está sujeta a la estructura metálica y a las placas inferiores mediante tornillos de clase torx:

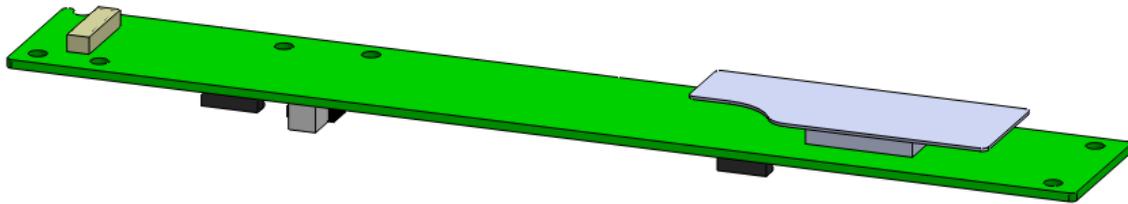


Figura 3.10 Placa Superior.

En su cara superior (Figura 3.11) se han representado el conector de los micrófonos y un disipador de calor de gran tamaño:

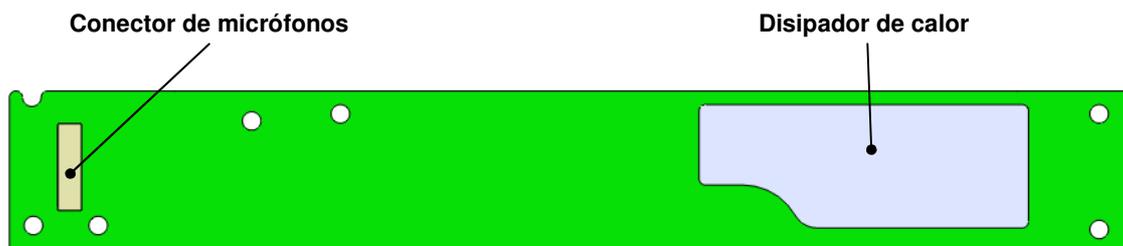
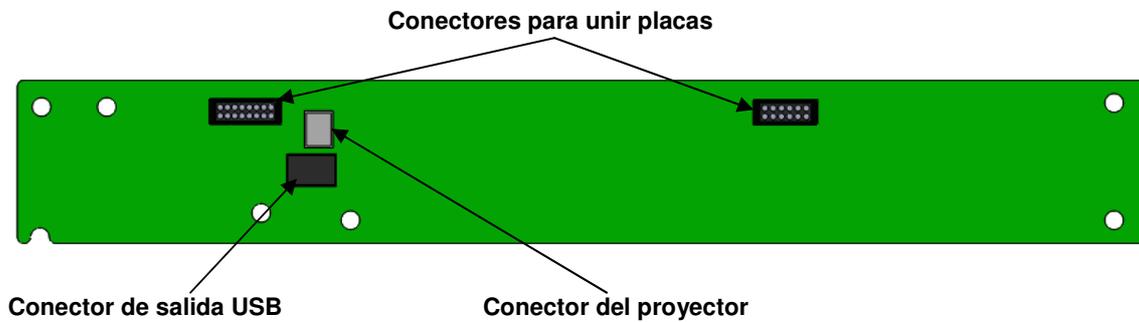


Figura 3.11 Cara superior de la placa superior.

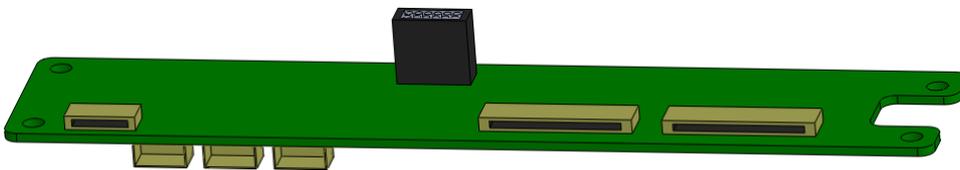
En la cara inferior (Figura 3.12) se han representado cuatro conectores: dos sirven para unir esta placa superior a las inferiores, otro para conectar el proyector de infrarrojos, y el restante para conectar la placa al cable de salida USB de Kinect:



**Figura 3.12** Cara inferior de la placa superior.

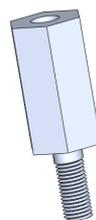
## B) PLACA LARGA INFERIOR:

La siguiente placa es la más larga de las dos inferiores:



**Figura 3.13** Placa larga inferior.

Sus dimensiones son de 129 mm de largo, 26 mm de ancho y 1.25 mm de grosor. La placa tiene 4 orificios de 3 mm de diámetro cada uno, utilizados para su correcta sujeción a la estructura metálica mediante unos separadores hexagonales roscados (Figura 3.14).



**Figura 3.14** Separador hexagonal

Estos separadores son utilizados además de para sujetar, para crear el espacio necesario entre la placa superior y las inferiores.

En la cara superior (Figura 3.15) se han representado gráficamente los dos conectores de las cámaras, el conector del proyector de infrarrojos y el conector que une esta placa con la superior:

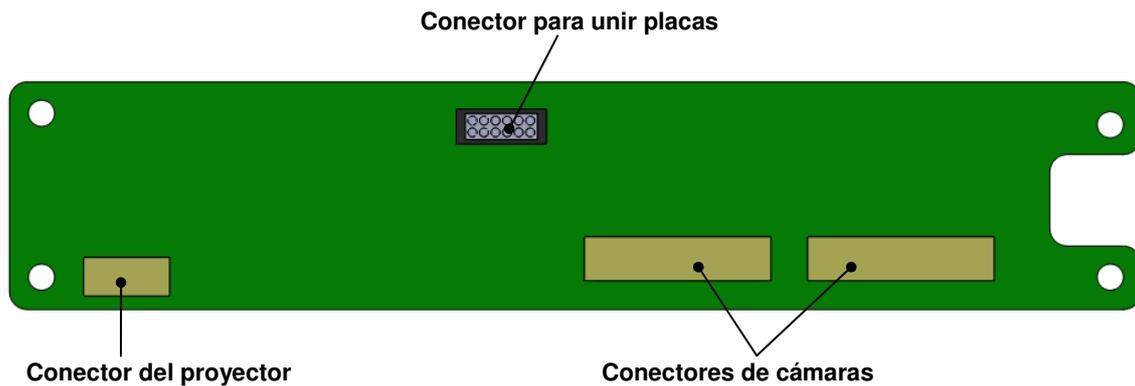


Figura 3.15 Cara superior de la placa larga inferior.

En la cara inferior (Figura 3.16) tan solo se han representado tres conectores. Uno se conecta al proyector mediante un cable, otro a un ventilador que sirve para refrigerar el sistema (este ventilador no se va a utilizar en el proyecto), y el último se deja desconectado:

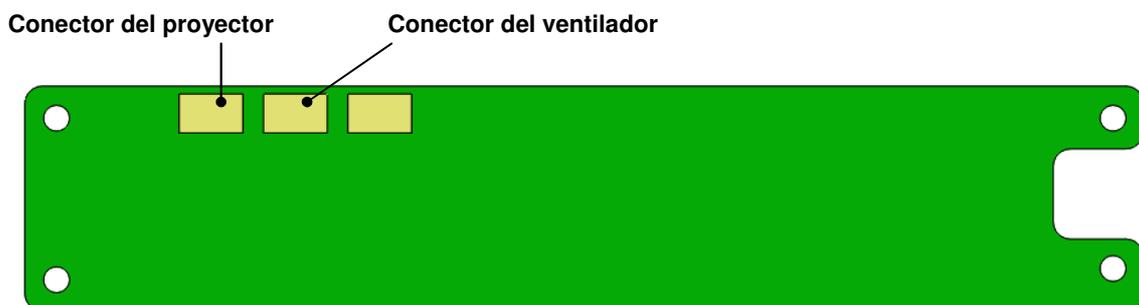


Figura 3.16 Cara inferior de la placa larga inferior.

### C) PLACA INFERIOR CORTA:

La última placa es la de menor tamaño y estará situada bajo la superior junto a la otra inferior de mayor tamaño:

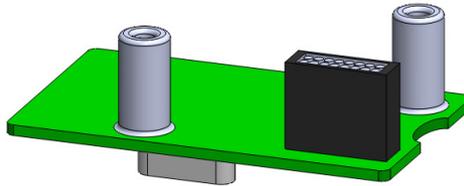


Figura 3.17 Placa inferior corta.

Sus dimensiones son de 43.35 mm de largo, 26 mm de ancho y 1.2 mm de grosor. En la cara superior (Figura 3.18) hemos representado el conector que une esta placa con la superior y dos separadores circulares interiormente roscados que hacen la función de sujetarla adecuadamente y crear espacio entre placas:

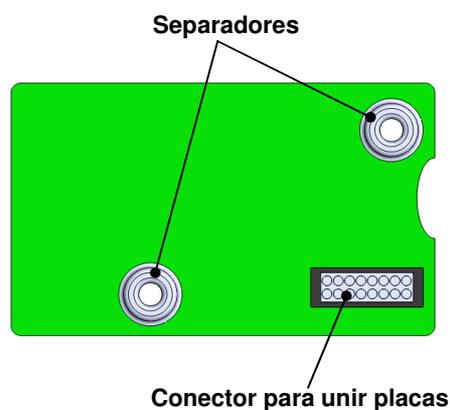


Figura 3.18 Cara superior de la placa inferior corta.

En la parte inferior (Figura 3.19) se han representado los dos orificios correspondientes a los separadores circulares, dos conectores, uno para conectar el motor original que movía el cuello de Kinect originalmente (el sistema motor de Kinect será creado íntegramente en este proyecto) y el otro para conectar un led cuya función es dar información al usuario del estado del dispositivo. Por último también se ha representado un componente electrónico integrado en la placa debido a sus grandes dimensiones.

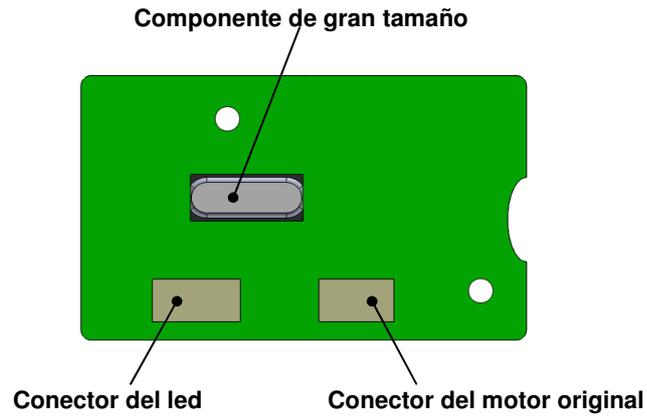


Figura 3.19 Cara inferior de la placa inferior corta.

#### D) ENSAMBLAJE DE PLACAS:

Una vez hemos creado gráficamente las tres placas es el momento de ensamblarlas. En la siguiente figura podemos observar como las placas se ensamblan mediante tornillos, separadores, y conectores. En Solidworks utilizamos la herramienta relaciones de posición para realizar el ensamblaje de distintas piezas.

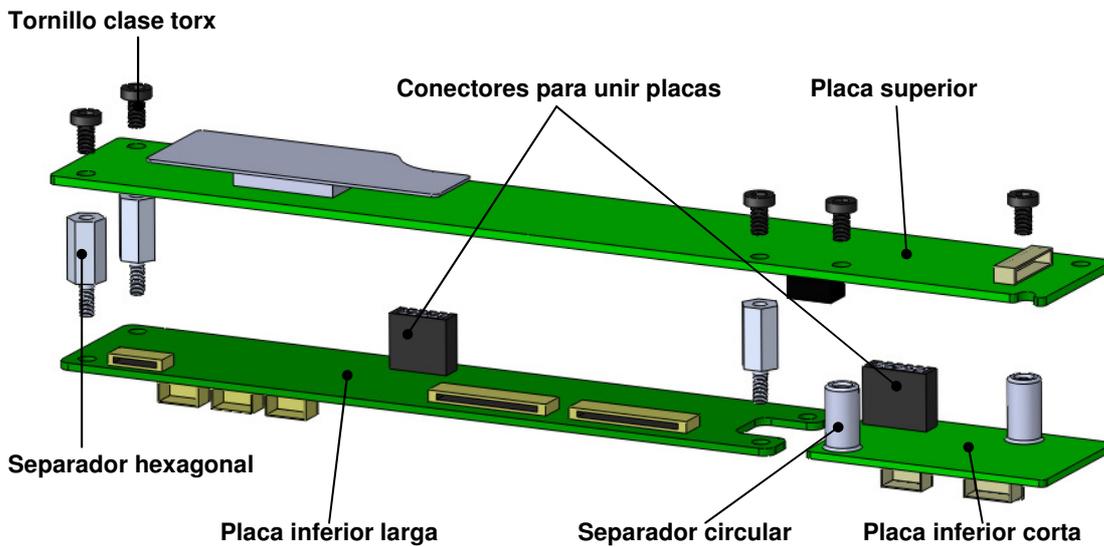


Figura 3.20 Ensamblando las placas electrónicas.

Después de realizar el ensamblaje el resultado se puede ver en la siguiente figura:

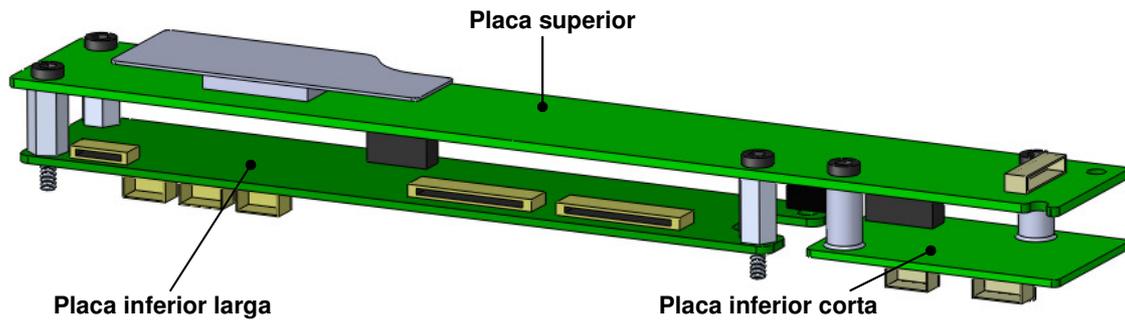


Figura 3.21 Placas ensambladas.

En la anterior figura vemos como los separadores cumplen la doble función antes mencionada, sirven de punto de unión y crean el espacio necesario entre placas.

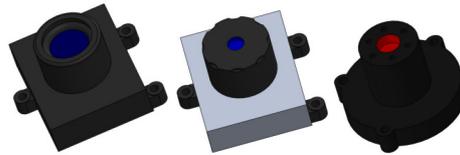
### 3.3.3.2 CÁMARAS Y PROYECTOR

Los diseños de las dos cámaras y el proyector serán fieles reproducciones de las originales, por lo tanto no nos detendremos demasiado en este punto.

Las cámaras y el proyector, como ya sabemos, son componentes que permiten que Kinect pueda capturar movimientos y recrear entornos, por lo tanto serán de vital importancia en este proyecto. A continuación se mostrarán las cámaras y el proyector reales (Figura 3.22) así como los diseños realizados con Solidworks (Figura 3.23):



Figura 3.22 Cámaras y proyector reales.

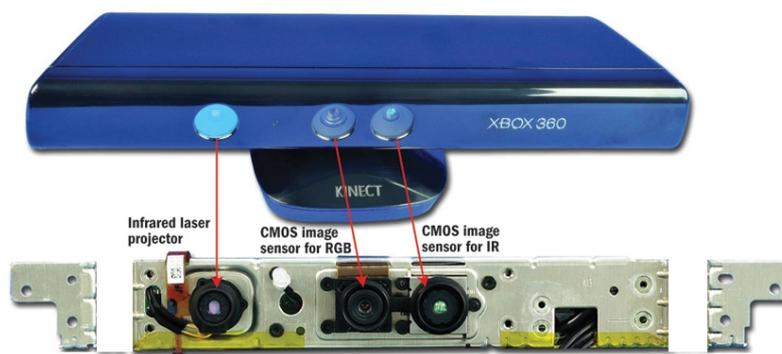


**Figura 3.23 Diseños de cámaras y proyector.**

Las cámaras y el proyector se unen a la estructura metálica y a las placas electrónicas mediante tornillos y cables de cinta respectivamente

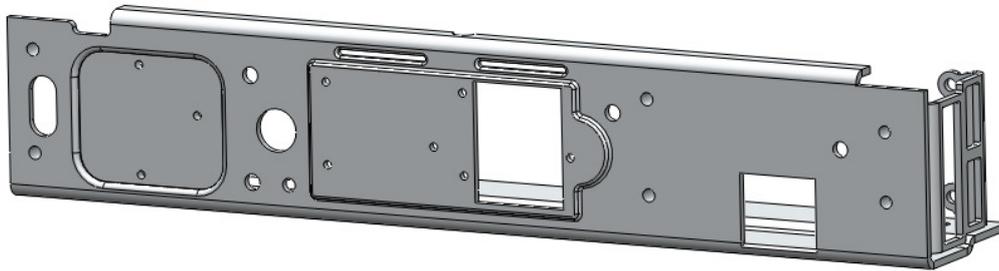
### **3.3.3.3 ESTRUCTURA METÁLICA**

La estructura metálica es un elemento importante, se podría decir que es el esqueleto de Kinect dado que en ella se sujetan todos los componentes del dispositivo. Las únicas modificaciones que se han realizado sobre esta estructura han sido dos: reducir su longitud y practicarle cuatro orificios adicionales de 3 mm de diámetro cada uno. Para reducir su tamaño lo máximo posible hemos cortado sus dos extremos (Figura 3.24) ya que estos solo servían para unir la estructura a la carcasa de plástico. En la siguiente figura vemos como quedaría la estructura con los extremos recortados.



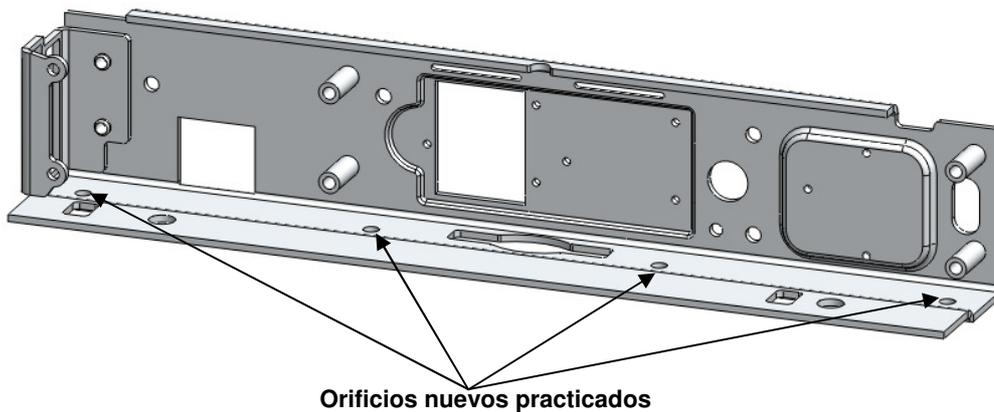
**Figura 3.24 Corte de extremos de la estructura metálica.**

La longitud de la estructura recortada será de 182 mm, la misma longitud que la placa electrónica de mayor tamaño. Su diseño en Solidworks es el siguiente:



**Figura 3.25** Diseño de la estructura metálica.

Los cuatro orificios se le practicarán en la parte inferior y serán utilizados para poder unir el dispositivo a la estructura de la cabeza (esto se verá más adelante).



**Figura 3.26** Perspectiva trasera de la estructura metálica.

Desde la perspectiva de la figura anterior vemos la parte trasera de la pieza metálica, apreciando así la complejidad de su diseño. Esta dificultad no es casual, ya que todo está pensado para la correcta y adecuada colocación de los diferentes componentes que forman el dispositivo.

### 3.3.3.4 MICRÓFONOS

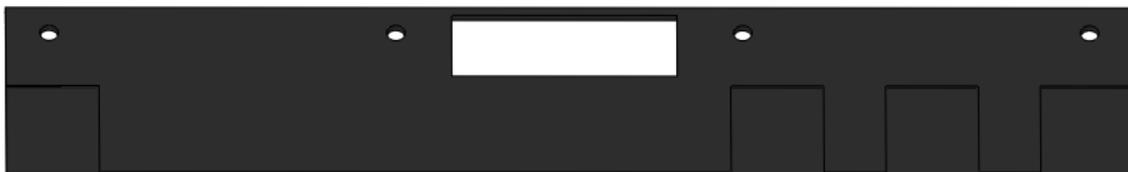
Kinect dispone de cuatro micrófonos (Figura 3.27), estos se encuentran pegados a la parte inferior de la carcasa de plástico mediante adhesivo.



**Figura 3.27 Micrófonos de Kinect.**

En nuestro diseño estos micrófonos irán acoplados también mediante adhesivo a una pieza rectangular de plástico que fabricaremos (Figura 3.28), por lo tanto lo que haremos primero será despegarlos de la carcasa para a continuación pegarlos en la nueva pieza fabricada. La distribución original de los micrófonos respecto a los demás componentes se mantendrá íntegra.

El diseño de la nueva pieza fabricada será muy sencillo. Tendrá forma rectangular, misma longitud que la estructura metálica (182 mm) para un perfecto acoplamiento, y se le practicarán cuatro taladros de 3 mm de diámetro cada uno para poder unir Kinect a la estructura de la cabeza. También se realizarán cuatro pequeños socavones para alojar los micrófonos adecuadamente. En la siguiente figura podemos ver la pieza diseñada en Solidworks:



**Figura 3.28 Diseño del soporte para los micrófonos.**

Las dimensiones de esta pieza son de 182 mm de largo, 32.4 mm de ancho, y 1.5 mm de grosor. Una vez pegados los micrófonos el diseño queda de la siguiente manera:



Figura 3.29 Diseño de los micrófonos.

### 3.3.3.5 DISEÑO COMPLETO DE KINECT

Con todos los componentes que formarán parte del dispositivo ya diseñados, llega el momento de ensamblarlos para realizar un diseño completo y final de dicho dispositivo. El ensamblaje de estos componentes girará en torno a la estructura metálica, ya que esta pieza dará soporte a la mayoría de ellos.

Para ensamblar los componentes en Solidworks se utilizarán las relaciones de posición como vimos en capítulos anteriores.

El primer paso del ensamblaje será unir las cámaras y el proyector a la estructura metálica (Figura 3.30). Físicamente la unión se realizará mediante tornillos.

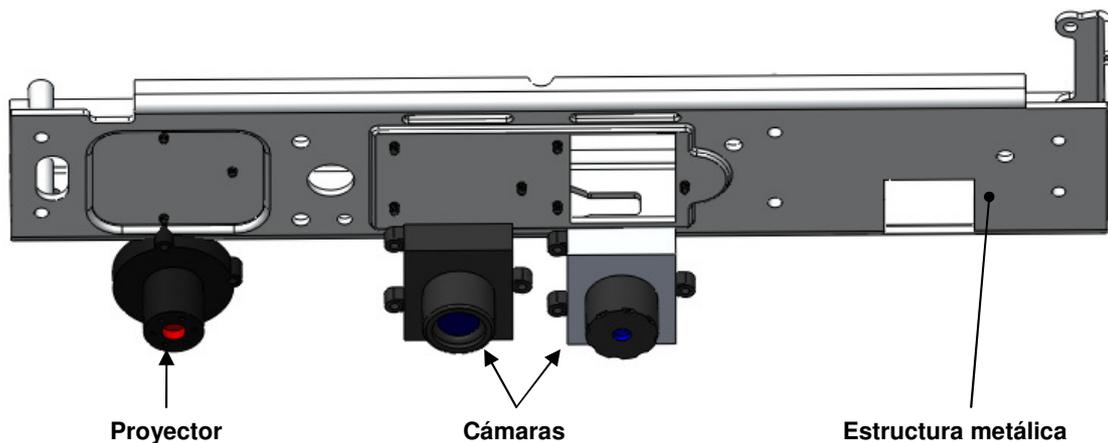
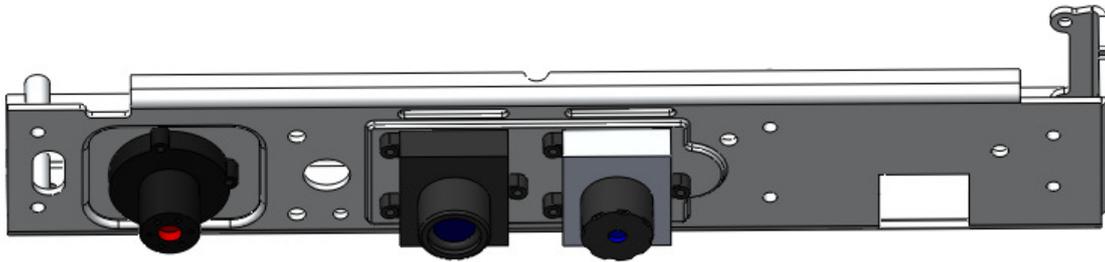


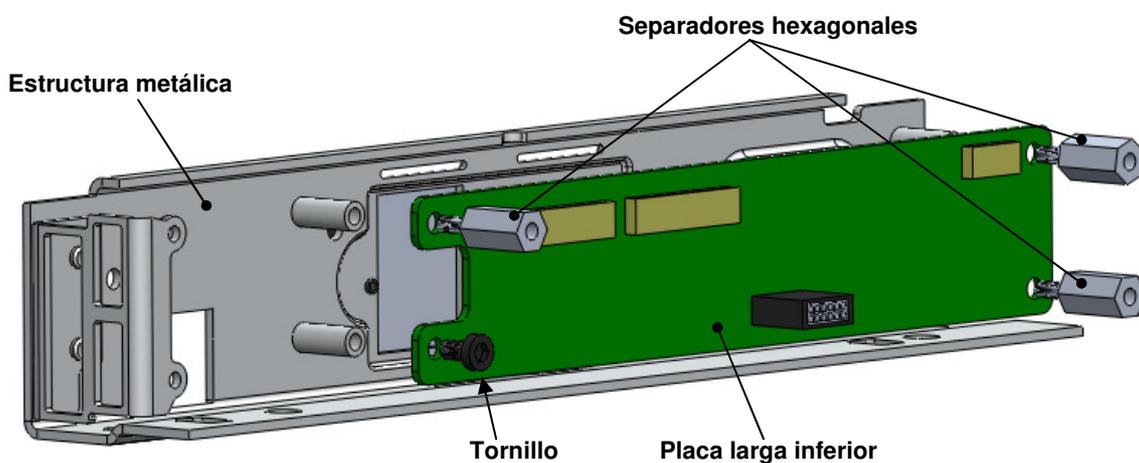
Figura 3.30 Ensamblando las cámaras y el proyector.

El resultado del ensamblaje anterior lo podemos ver en la siguiente figura:



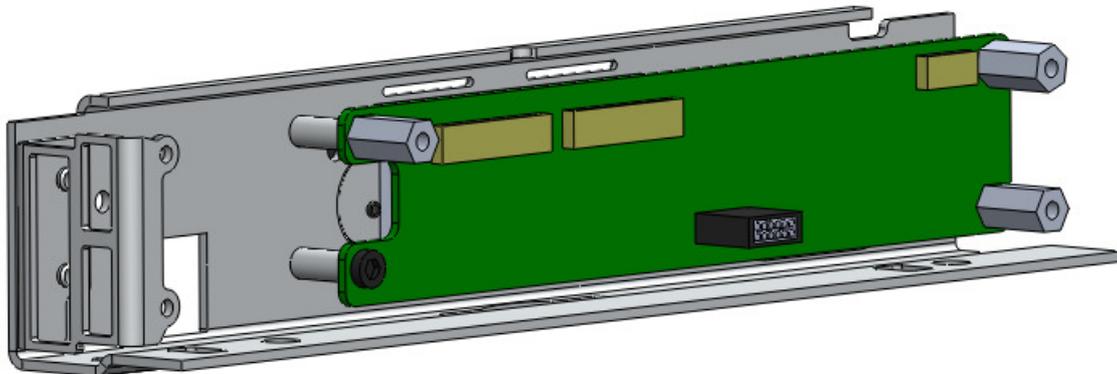
**Figura 3.31 Ensamblaje de cámaras y proyector.**

Una vez unidas las cámaras y el proyector a la estructura metálica empezaremos a ensamblar las placas electrónicas. La primera placa que uniremos a la estructura será la inferior larga (Figura 3.32). Su unión se realizará mediante tres separadores hexagonales roscados y un tornillo. En la siguiente figura vemos como se realiza este ensamblaje:



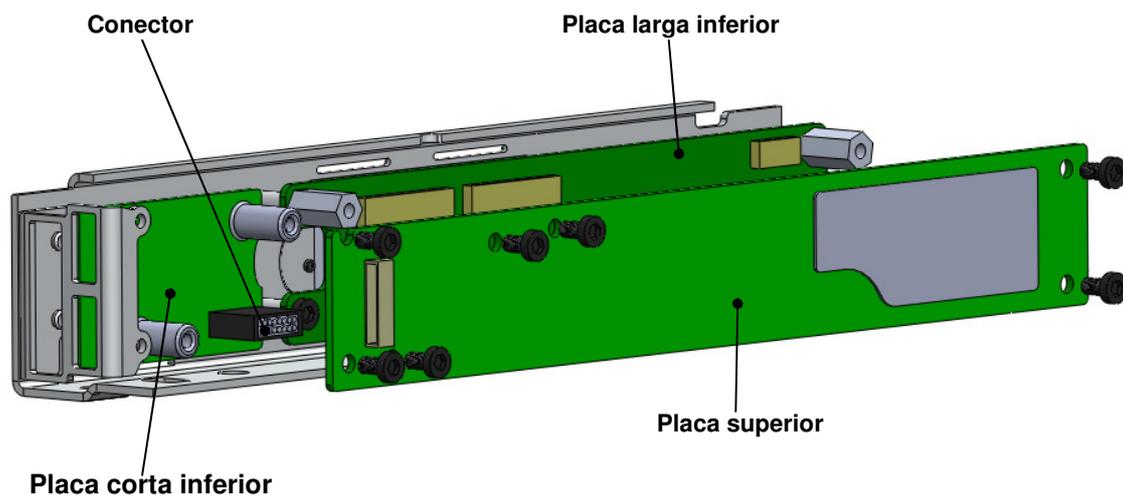
**Figura 3.32 Ensamblando la placa larga inferior.**

En la figura anterior vemos como tanto los separadores como el tornillo se introducen mediante rosca en los tubos roscados interiormente de la estructura metálica. A continuación observamos la placa ya ensamblada:



**Figura 3.33 Ensamblaje de la placa larga inferior.**

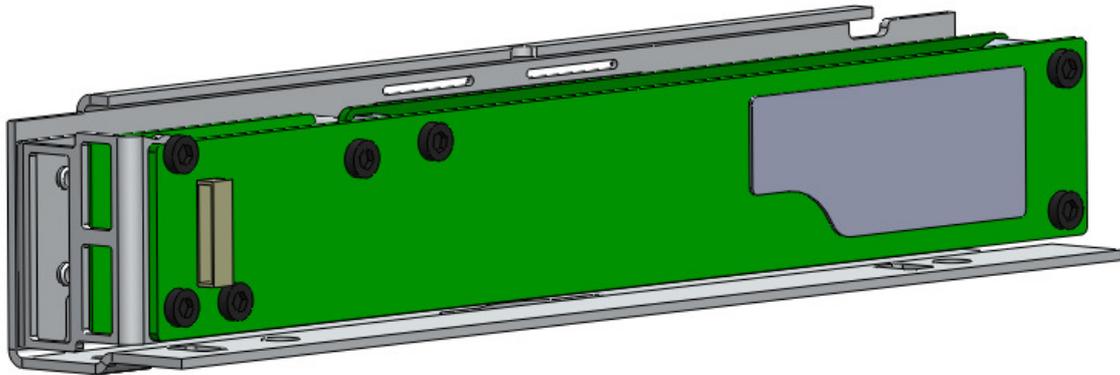
Una vez ensamblada la placa larga inferior es el turno de las dos placas restantes (Figura 3.34). La unión entre placas se realiza mediante conectores y tornillos como ya vimos anteriormente. La unión con la estructura metálica se lleva a cabo uniendo la placa superior a esta mediante dos tornillos. A continuación vemos como se realiza este ensamblaje:



**Figura 3.34 Ensamblando la placa superior y la corta inferior.**

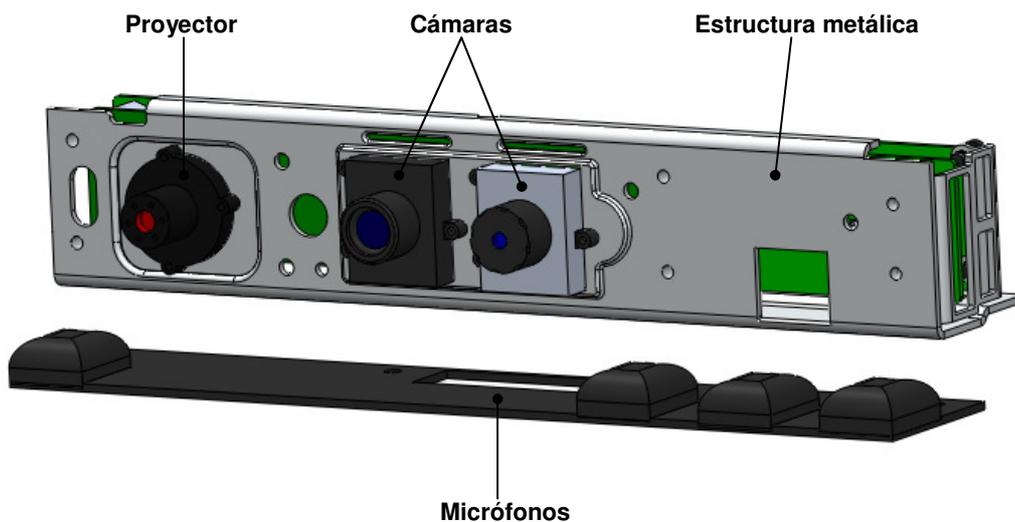
En la anterior figura vemos como los tornillos se introducirán en los separadores circulares y hexagonales para unir las placas. Además también observamos el

conector que une la placa superior con la corta inferior. En la siguiente figura se muestra el ensamblaje finalizado:



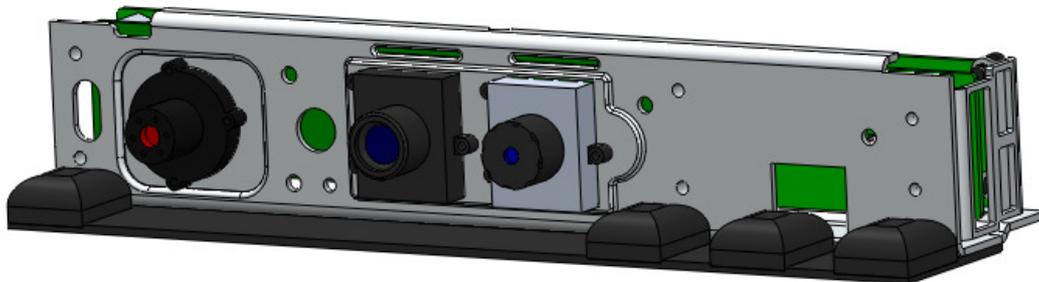
**Figura 3.35 Ensamblaje de placa superior y corta inferior.**

Para concluir el diseño ensamblaremos los micrófonos del dispositivo (Figura 3.36). Los micrófonos se situarán en la parte inferior de Kinect y se unirán a la estructura mediante adhesivo:



**Figura 3.36 Ensamblando los micrófonos.**

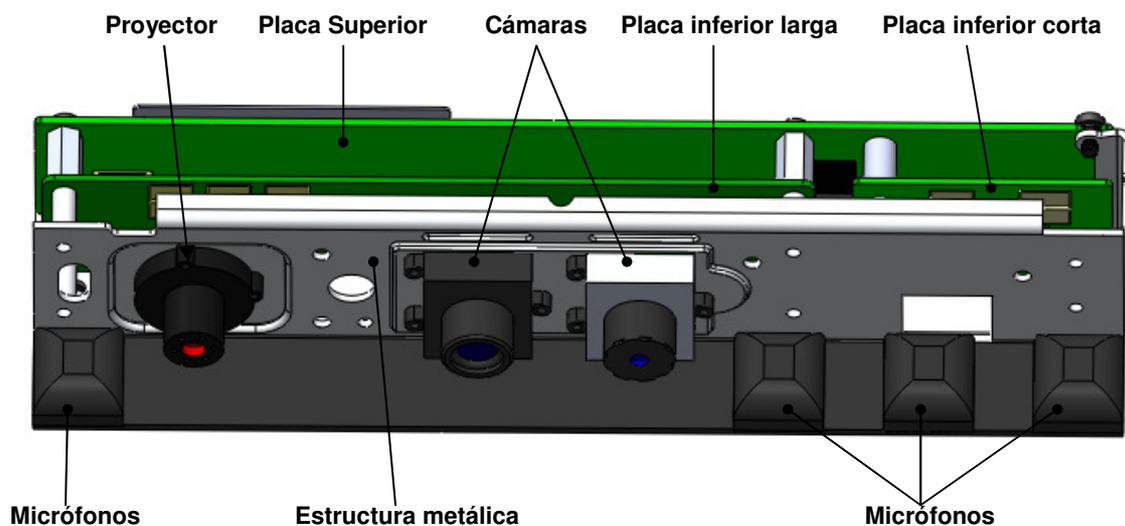
En la siguiente figura vemos los micrófonos ya unidos al dispositivo:



**Figura 3.37 Ensamblaje de micrófonos.**

Después de ensamblar todos los componentes anteriores podemos dar por finalizado el diseño del dispositivo Kinect. Recordemos que los principales elementos que forman este diseño y hemos ido ensamblando son: las placas electrónicas, las cámaras y el proyector de infrarrojos, los micrófonos, y la estructura metálica.

Físicamente para realizar las uniones nos hemos servido de distintos elementos de unión como son los tornillos, los separadores, tanto circulares como hexagonales, y el adhesivo. A continuación vemos como queda el diseño del dispositivo Kinect:



**Figura 3.38 Diseño completo del dispositivo Kinect.**

En la siguiente figura mostramos una perspectiva de planta del dispositivo para poder apreciar mejor todos los componentes que lo forman:

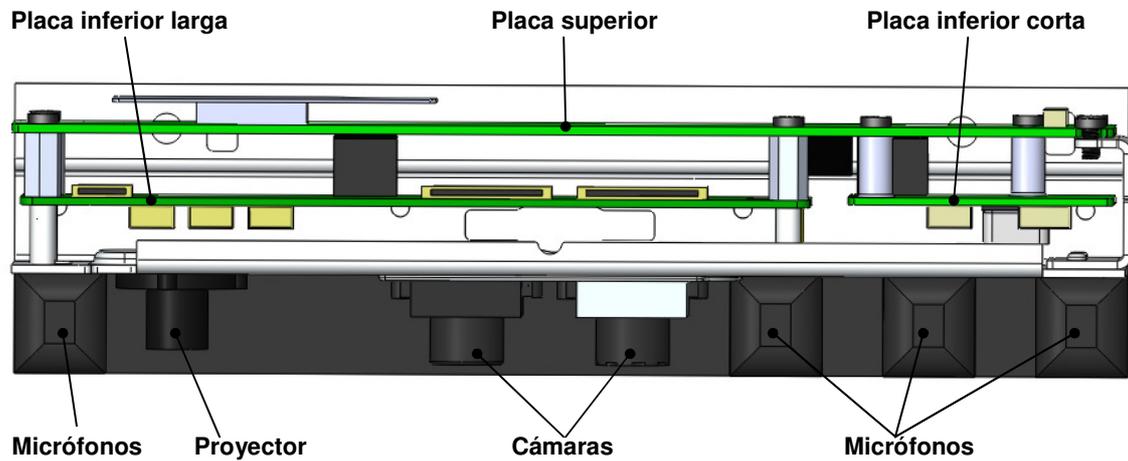


Figura 3.39 Perspectiva de planta del dispositivo diseñado.



## **4 DISEÑO DE LAS CARCASAS DE LA CABEZA Y EL CUELLO DEL ROBOT**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

Los diseños de las carcasas de la cabeza y el cuello del robot serán fundamentales, ya que tendrán el cometido de dar soporte a diferentes componentes. En concreto la carcasa de la cabeza dará soporte y alojará en su interior el dispositivo Kinect. Por su parte la carcasa del cuello albergará el sistema motor que generará los movimientos. Dicho lo anterior, los diseños, además de estar pensados para la correcta integración de estos elementos, intentaremos que sean lo más estéticos posible.

El desarrollo del capítulo discurrirá de la siguiente manera: comenzaremos diseñando la carcasa de la cabeza, para ello lo que haremos será guiarnos por las proporciones y formas ideales del ser humano. Una vez tengamos las formas y medidas claras, empezaremos a diseñar gráficamente las distintas partes que formen parte de dicha carcasa, para finalmente ensamblarlas en un diseño final. En el transcurso de este proceso se crearán varias versiones hasta llegar a la más adecuada para nuestro objetivo. Una vez hayamos finalizado el diseño de la carcasa de la cabeza, empezaremos a diseñar la carcasa del cuello. El proceso seguido será similar al de la carcasa de la cabeza. Para diseñar sus formas y medidas nos volveremos a guiar por las proporciones ideales del ser humano al igual que hicimos con la cabeza. Con las formas y medidas claras, comenzaremos a realizar el diseño gráfico de los distintos componentes que la forman. Finalmente ensamblaremos dichos componentes y se mostrará el diseño completo de la carcasa.

Para finalizar el capítulo uniremos las dos carcasas para mostrar el diseño completo que forman estas dos estructuras unidas.



## 4.2 LA CARCASA DE LA CABEZA

Tanto para diseñar la carcasa de la cabeza como la del cuello, nos hemos intentado guiar por las proporciones y formas ideales del cuerpo humano, lógicamente siempre dentro de las limitaciones que nos imponen los diferentes elementos del diseño. Estas proporciones nos dicen que la cabeza debe medir aproximadamente una octava parte de la altura total del individuo, por lo tanto teniendo en cuenta lo anterior, y que nuestro robot medirá 170 cm de altura, con una simple división concluimos que la cabeza debería medir aproximadamente unos 21 cm como máximo desde la barbilla hasta la parte más alta de la frente, ya que:

$$\frac{170 \text{ cm}}{8} = 21.25 \text{ cm}$$

En cuanto a su forma geométrica, escogeremos la esfera tanto por su sencillez como por su similitud con la cabeza humana. Teniendo en cuenta lo anterior hemos concebido el diseño de la cabeza como una esfera de 20 cm de diámetro (suficiente tamaño para alojar adecuadamente el dispositivo Kinect, que tiene una anchura de 18.2 cm).

Respecto a los requisitos que deberá cumplir el diseño, además de ser estético tendrá que estar preparado o incluir algún tipo de sistema de unión que permita ensamblar la cabeza con el cuello. También, como ya se ha mencionado, servirá de soporte al dispositivo Kinect.

Para cubrir todas las necesidades anteriores se han diseñado tres piezas: el casco, la cresta, y la máscara. De esta última pieza se han creado tres versiones, dando lugar a tres modelos de carcasa de la cabeza distintos.

### 4.2.1 EL CASCO

Comparando visualmente, el casco (Figura 4.1) sería al robot lo que el cráneo al ser humano. Su forma y dimensión definirán las formas y dimensiones de la cabeza del robot, por lo tanto como ya se dijo, se diseñará partiendo de una esfera de 20 cm de diámetro. La pieza además de cumplir una función estética, proporcionará protección a los componentes situados en el interior de la cabeza, como es el caso de la Kinect.



Figura 4.1 Casco.

## 4.2.2 LA CRESTA

La siguiente pieza que forma parte de la carcasa de la cabeza es la cresta (Figura 4.2), una pieza que su inclusión en este diseño obedece únicamente a cuestiones meramente estéticas, pero no por ello menos importantes, ya que nuestro robot aparte de funcionar correctamente deberá cumplir unos mínimos cánones estéticos.



Figura 4.2 Cresta.

La cresta se unirá a la parte superior del casco para formar lo que llamaremos el casco completo del robot.

### 4.2.3 LA MÁSCARA

La tercera y última pieza que forma parte de la carcasa de la cabeza es la máscara. Visual y estéticamente esta pieza será la cara del robot. En su diseño se incluirán el sistema de unión que ensamble la cabeza con el cuello, y el soporte estable para el dispositivo Kinect mencionados en apartados anteriores. De esta pieza se han diseñado varias versiones, en concreto tres, hasta llegar a la óptima que satisficiera todos los requisitos. En los siguientes apartados veremos estas versiones y se explicará el motivo de nuestra elección y de la evolución sufrida por parte de la pieza.

#### 4.2.3.1 MÁSCARA VERSIÓN 1

En esta primera versión la máscara está formada por dos piezas con la idea de que una haga la función de soporte de Kinect y la otra de visera o cara transparente a través de la cual pueda ver el dispositivo. En la siguiente figura podemos ver estas piezas:

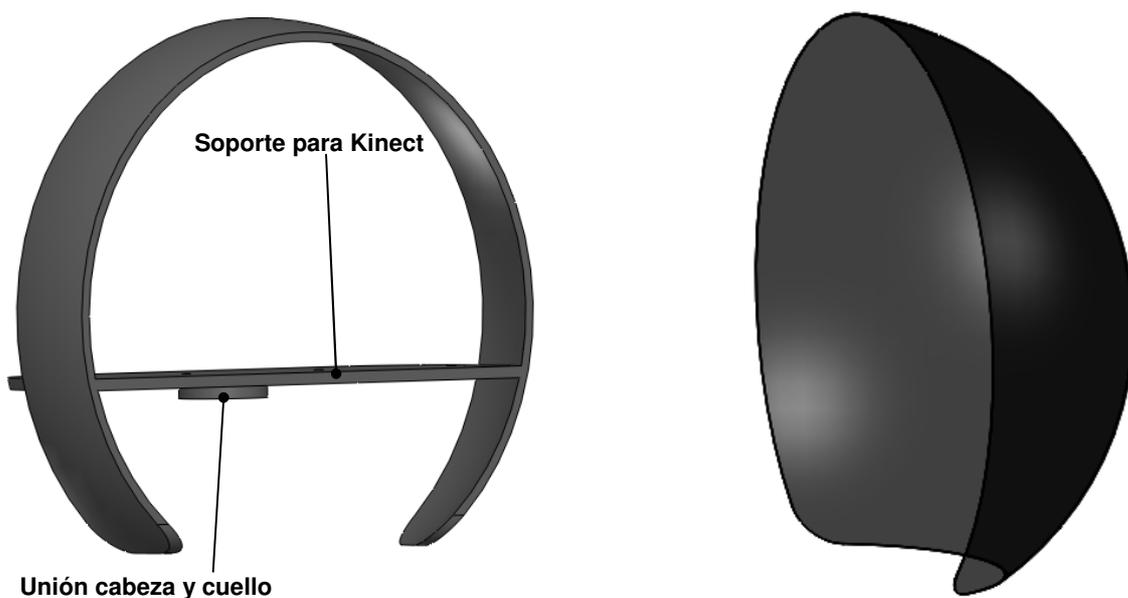


Figura 4.3 Máscara versión 1: soporte y visera transparente.

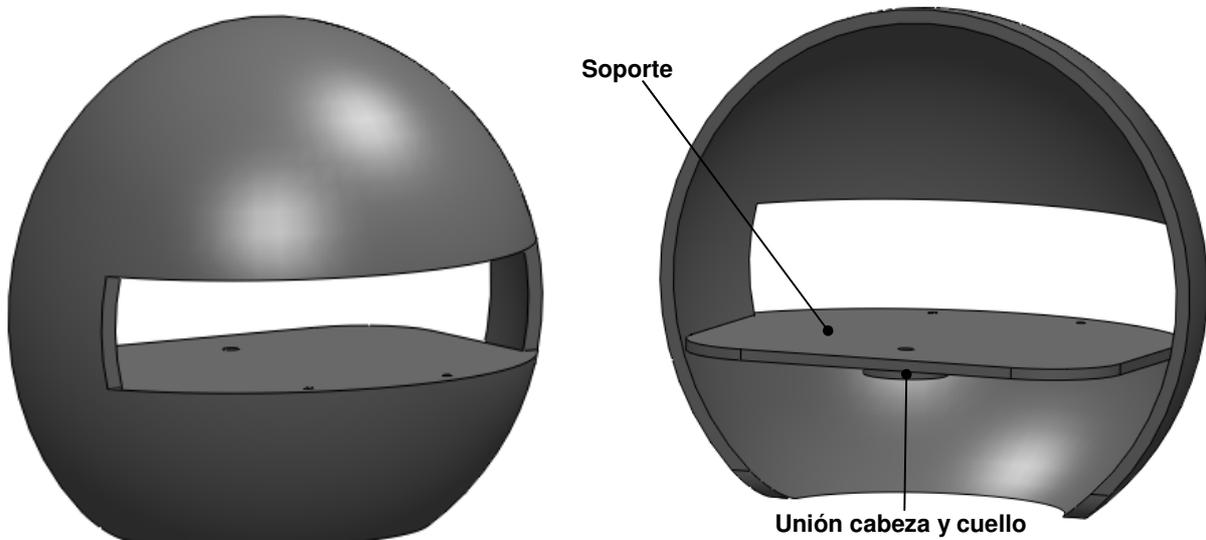
En la anterior figura vemos a la izquierda de la imagen el soporte para el dispositivo. El diseño toma la forma de una diadema con una pasarela o saliente que une sus dos extremos. Sobre este saliente se colocaría Kinect anclada mediante cuatro tornillos, utilizando para ello los cuatro orificios realizados en dicho saliente. Debajo de este saliente vemos que está ubicado el nexo de unión con el cuello. A la derecha de la imagen se representa la visera transparente a través de la cual podría ver el dispositivo. En la siguiente figura vemos estas dos piezas unidas formando la primera versión de la máscara:



**Figura 4.4 Máscara versión 1.**

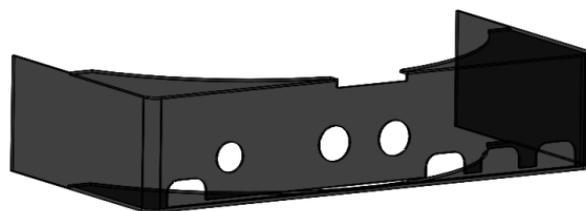
#### **4.2.3.2 MÁSCARA VERSIÓN 2**

La segunda versión de la máscara seguirá estando formada por dos piezas. La primera de ellas, a la que llamaremos máscara, se muestra a continuación:



**Figura 4.5 Máscara versión 2: máscara.**

En la anterior figura vemos como ha evolucionado el soporte de la primera versión hacia esta pieza a la que llamaremos máscara en la segunda versión. En nuestro intento de continuar optimizando la pieza, el soporte de Kinect evoluciona radicalmente representando prácticamente la totalidad de la cara del robot en esta versión. El diseño inspirado en un yelmo medieval dispondrá de una abertura a la altura de los ojos para la colocación del dispositivo. También se ha ampliado el saliente sobre el que se sostendrá Kinect anclado esta vez mediante dos tornillos. Por otra parte sus funciones seguirán siendo las mismas, dar soporte al dispositivo e incluir el nexo de unión con el cuello, que en este caso volverá a estar situado en la parte inferior o bajo el saliente como podemos ver en la imagen de la derecha. La otra pieza que forma parte de esta versión de la máscara es una visera o antifaz transparente que oculta y protege Kinect, además de aportar un interesante elemento estético al diseño:



**Figura 4.6 Máscara versión 2: Antifaz.**

Los orificios y formas peculiares de esta pieza están pensados para la correcta adaptación con las cámaras y micrófonos de Kinect. A continuación se muestran las dos piezas unidas formando la segunda versión de la máscara o cara del robot:

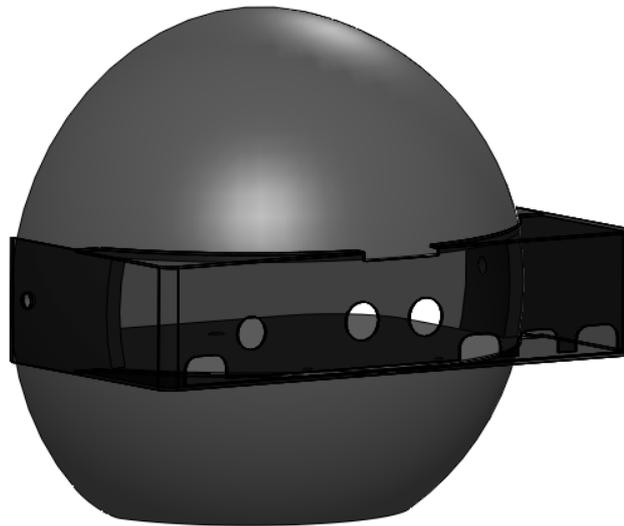
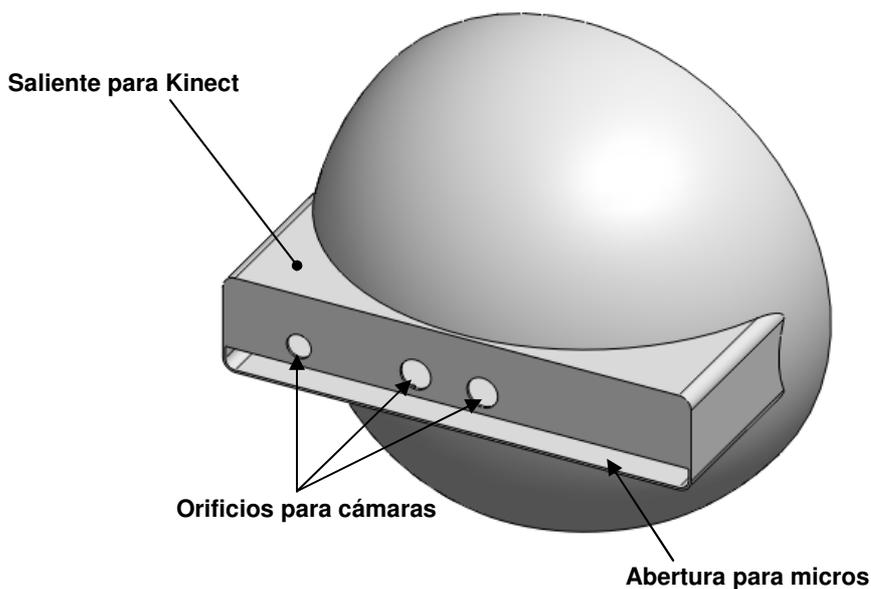
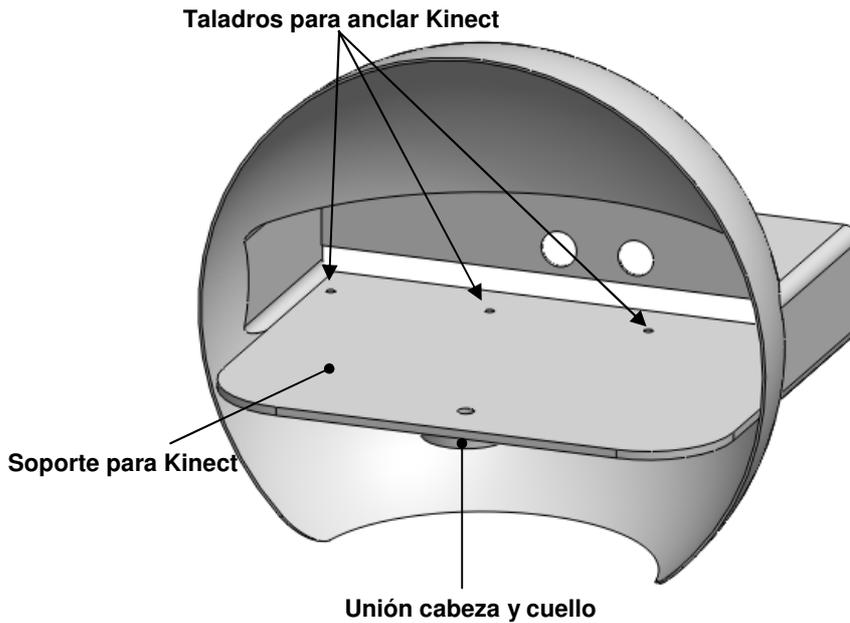


Figura 4.7 Máscara versión 2.

#### 4.2.3.3 MÁSCARA VERSIÓN 3

Al contrario que en la primera y segunda versión de la máscara, donde esta estaba formada por dos piezas, en la tercera y definitiva versión la máscara estará creada como pieza única (Figura 4.8) con el objetivo de mejorar la integración de Kinect y hacerla más compacta.





**Figura 4.8 Máscara versión 3: Vistas frontal y trasera.**

Una de las máximas preocupaciones a la hora de diseñar la carcasa de la cabeza del robot, es la de cómo integrar estéticamente y funcionalmente el dispositivo Kinect en ella, proporcionándole a dicho dispositivo un soporte adecuado y seguro. Para resolver este problema, como podemos ver en la anterior figura, la máscara se ha diseñado con un saliente rectangular de dimensiones similares al dispositivo, hueco por dentro y sobresaliendo de su diámetro. El saliente se ha realizado en su parte delantera a la altura en donde deberían estar los ojos del robot (para una correcta visión). Precisamente para ubicar correctamente las cámaras (ojos de Kinect) se han realizado tres orificios de dimensiones adecuadas en la parte frontal del saliente, además de una abertura inferior para los micros.

En definitiva, Kinect se colocará en el interior de dicho saliente, sobre un soporte previamente diseñado, y estará fijada mediante cuatro tornillos que se introducirán en cuatro orificios de 3 mm de diámetro cada uno, que se practicarán en dicho soporte, con el objetivo de lograr una sujeción estable del dispositivo (estos cuatro taladros serán concéntricos a los que se practicaron en el soporte de los micrófonos y en la estructura metálica, quedando así de este modo Kinect unida al soporte de la máscara).



La otra función que deberá cumplir el diseño de la máscara es la de unir las estructuras de la cabeza y el cuello del robot. Esto será clave para el movimiento de la cabeza, ya que esta unión deberá permitir el giro de esta respecto al cuello. Para conseguir dicha unión se ha diseñado un saliente circular en la parte inferior del soporte de la máscara (Figura 4.8), aproximadamente a la altura del eje vertical de la cabeza del robot. Este saliente se ensamblará con el realizado en el espacio habilitado para ello en la parte superior del cuello. La unión estará atravesada por un taladro, ya que por ella tendrá que pasar unos de los dos ejes de salida del sistema motor. Por último sugerir que se podrían utilizar rodamientos para lograr el movimiento o giro de la cabeza sobre el cuello, pero estas consideraciones sobre los componentes mecánicos utilizados para esta función, se dejarán abiertas para posibles trabajos futuros.

### **4.2.4 EL DISEÑO COMPLETO DE LA CARCASA DE LA CABEZA**

Una vez tenemos la piezas que forman parte de la carcasa de la cabeza diseñadas, solamente queda ensamblarlas. En los siguientes apartados primero veremos cómo las piezas se disponen para el ensamblaje. Una vez ensambladas podremos ver cómo queda el diseño de la carcasa en cada una de las tres versiones realizadas, para después seleccionar la más adecuada a nuestros intereses. Todo ello con Kinect formando parte ya del diseño.

#### **4.2.4.1 CARCASA DE LA CABEZA VERSIÓN 1**

En esta primera versión, la carcasa de la cabeza está compuesta por cuatro piezas: cresta, casco, soporte y visera. El dispositivo Kinect se colocará sobre el soporte, anclado mediante cuatro tornillos. En las siguientes figuras veremos cómo se disponen cada uno de los componentes que forman parte de este diseño para proceder a su ensamblaje, y a continuación mostrar el diseño finalizado:

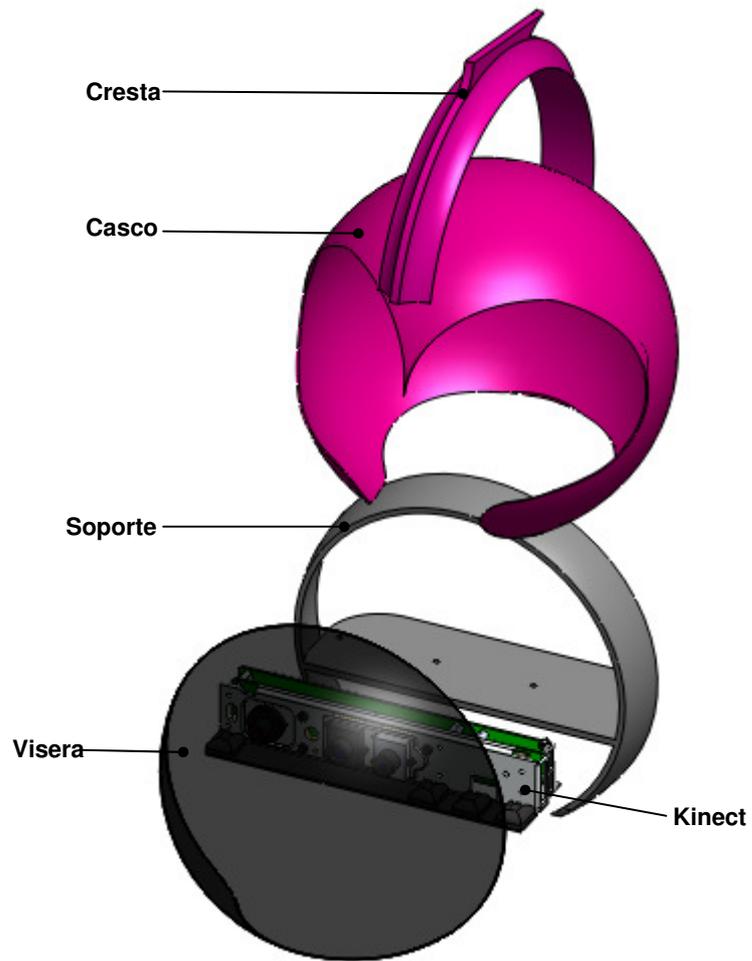


Figura 4.9 Ensamblando la carcasa de la cabeza versión 1.

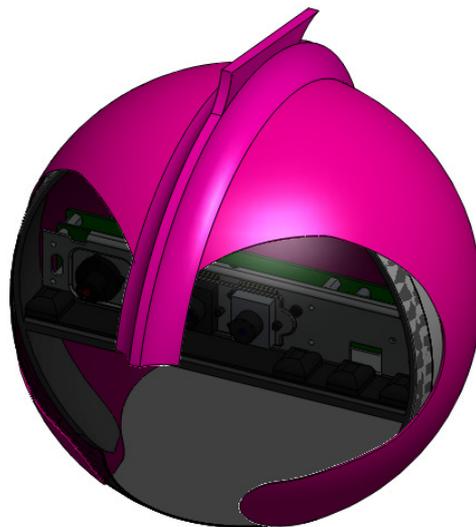


Figura 4.10 Carcasa de la cabeza del robot versión 1.

En esta primera versión identificamos varios problemas, el más importante tiene que ver con la visión del robot. En este diseño Kinect verá a través de una visera transparente de unas dimensiones considerables, por lo tanto cualquier tipo de suciedad sobre esta superficie perjudicará la visión de nuestro robot. Otro inconveniente tiene que ver con el diseño del soporte, este diseño tal vez demasiado simple, supone que el dispositivo quede lo bastante retrasado respecto a la visera perjudicando una vez más la visión del robot, así como también la capacidad de captar órdenes de los micrófonos. Por estos inconvenientes y otros pequeños detalles creemos que la mejor opción es seguir evolucionando el diseño de la carcasa de la cabeza del robot. De esta manera llegamos a la segunda versión.

#### 4.2.4.2 CARCASA DE LA CABEZA VERSIÓN 2

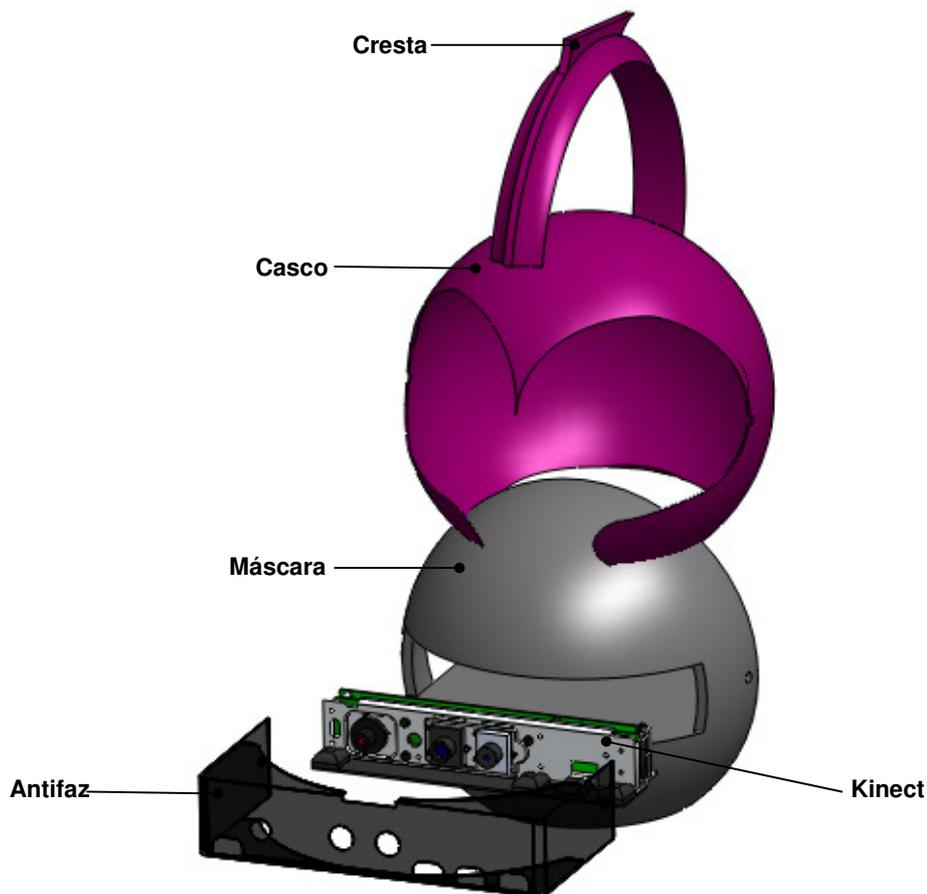
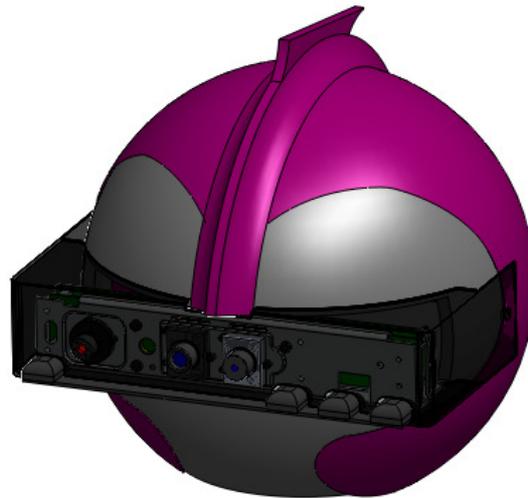


Figura 4.11 Ensamblando la carcasa de la cabeza versión 2.



**Figura 4.12 Carcasa de la cabeza del robot versión 2.**

En esta segunda versión (Figura 4.12) la carcasa de la cabeza del robot volverá a estar compuesta por cuatro piezas (Figura 4.11): cresta, casco, máscara, y antifaz. Vemos como los problemas que pudiera sufrir la visión del robot en la primera versión quedan solucionados, ya que el dispositivo Kinect se sitúa en la parte frontal, anclado mediante dos tornillos a la máscara, y sobresaliendo de esta protegido por el antifaz transparente, mejorando de esta manera notablemente el ángulo de visión, y salvando el obstáculo de la visera de la versión inicial. Por otra parte los micrófonos tampoco tendrán ningún impedimento para captar cualquier sonido puesto que están situados de manera externa. El inconveniente que vemos en este diseño y por ello la decisión de seguir evolucionando, tiene que ver con la integración de Kinect en la carcasa de la cabeza del robot. Kinect no se integra lo bastante con la máscara, sobresale en exceso, y la pieza del antifaz no parece lo suficientemente adecuada para conseguirlo.

#### **4.2.4.3 CARCASA DE LA CABEZA VERSIÓN 3**

En esta tercera versión la carcasa de la cabeza del robot estará compuesta por tres piezas (Figura 4.13): cresta, casco, y máscara. Seguiremos el método de exposición de los anteriores apartados, primero se mostrará el ensamblaje de la carcasa con Kinect ya incorporada, y a continuación veremos cómo queda el diseño final (Figura 4.14).

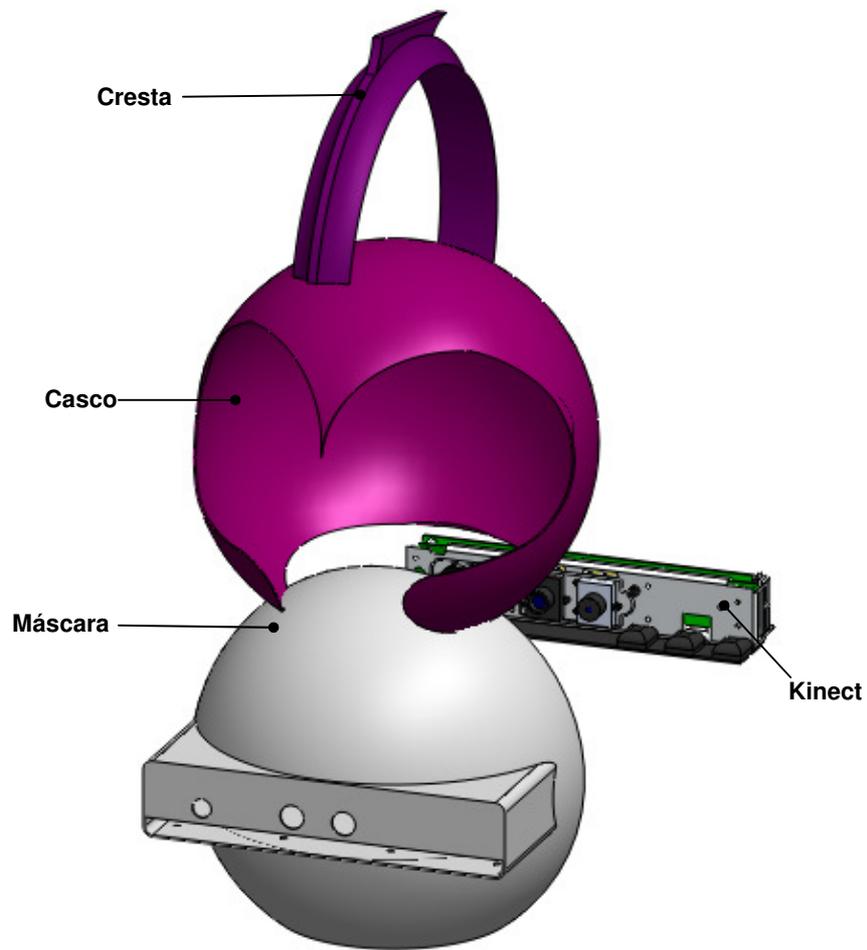


Figura 4.13 Ensamblando la carcasa de la cabeza del robot versión 3.

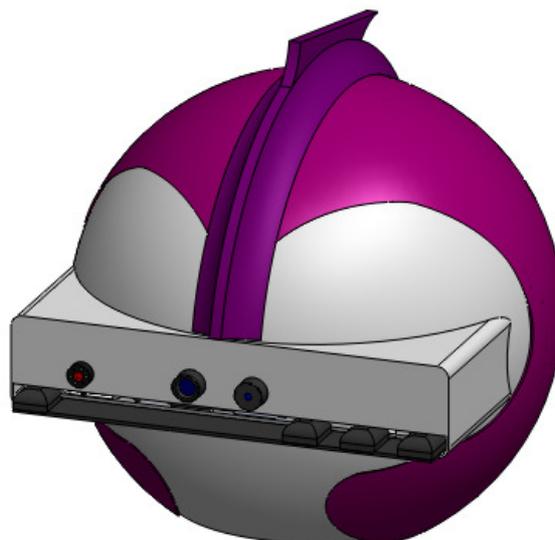


Figura 4.14 Cabeza del robot versión 3.



En esta tercera y definitiva versión vemos como Kinect queda totalmente integrada con los demás componentes del diseño, solucionando el principal inconveniente de la versión anterior. Para lograr este objetivo hemos eliminado la pieza a la que llamábamos antifaz (Figura 4.6) de la segunda versión, y hemos modificado la máscara para que esta pueda alojar adecuadamente en su interior, anclado mediante cuatro tornillos, a Kinect, quedando de esta forma el dispositivo totalmente integrado y protegido en el interior de la cabeza del robot. Por otro lado respecto a los asuntos más técnicos como son la visión de Kinect y la capacidad de captar sonidos de los micrófonos, reseñar que el ángulo de visión conseguido con este diseño es el máximo, ya que las tres cámaras sobresalen en la parte frontal del saliente de la máscara; y que la capacidad de los micrófonos de captar sonidos es óptima gracias a la abertura practicada para este cometido en el mismo saliente de la máscara, bajo las cámaras.

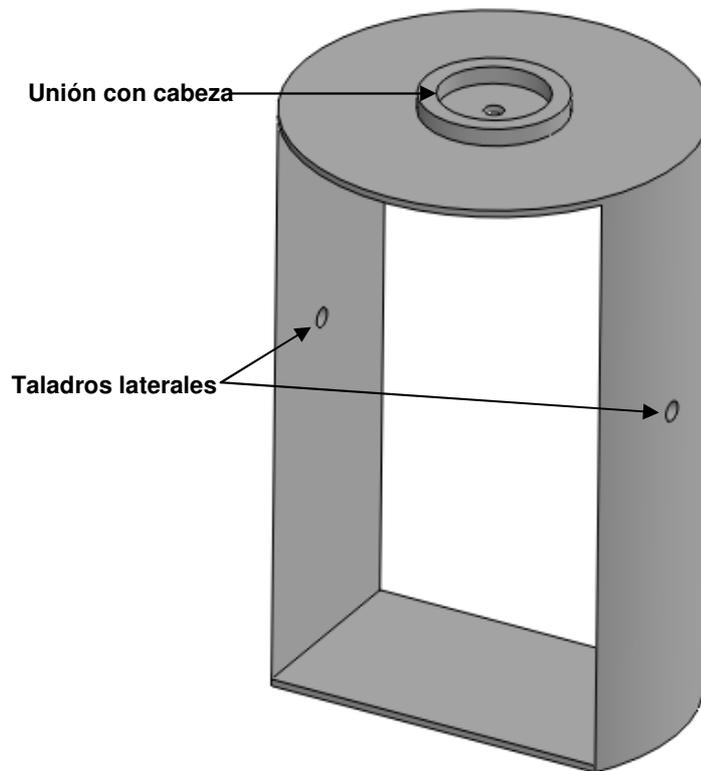
Teniendo en cuenta todo lo anteriormente comentado, creemos que no es necesario seguir evolucionando el diseño. De este modo finalmente nos quedamos con esta versión de la carcasa de la cabeza del robot.

### **4.3 LA CARCASA DEL CUELLO**

En este apartado nos centraremos en el diseño de la carcasa del cuello del robot, desarrollando y explicando su estructura. Para diseñar esta carcasa del cuello del robot crearemos dos piezas, una de ellas se unirá a la cabeza, y la otra al torso del robot.

#### **4.3.1 ESTRUCTURA PRINCIPAL DE LA CARCASA DEL CUELLO**

Para dar forma y entidad a la carcasa del cuello del robot crearemos una pieza cuya geometría sea semejante a la cilíndrica por ser la que más se asemeja al cuello estándar del ser humano. Además teniendo en cuenta que la cabeza deberá girar sobre esta pieza, es lógico pensar en una base circular sobre la que gire como mejor solución. Sus dimensiones serán 17 cm de altura y 11.2 cm de diámetro, medidas siempre en concordancia con las de la cabeza. En la siguiente figura vemos la pieza:



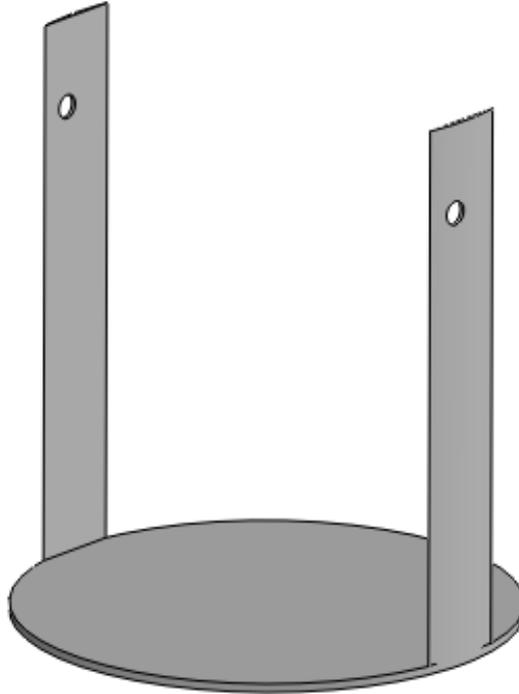
**Figura 4.15 Estructura principal de la carcasa del cuello.**

Como vemos, además de tener forma cilíndrica, el cuello se ha vaciado por dentro, dejando solamente dos paredes laterales, ya que en su interior albergará el sistema motor de la cabeza del robot. Su base circular inferior ha sido recortada, y en su base circular superior se ubica el punto de unión con la cabeza. También observamos dos taladros idénticos de 5 mm de diámetro cada uno en las paredes laterales, por los cuales pasará uno de los dos ejes de salida del sistema motor (véase el apartado diseño del sistema motor), e irá unida la segunda pieza que forma parte de la carcasa del cuello, la cual se presenta en el siguiente apartado.

### **4.3.2 EL SOPORTE DE LA CARCASA DEL CUELLO**

Una vez diseñada la estructura principal de la carcasa del cuello, debemos crear algún sistema que nos permita unir el cuello con el torso, siempre teniendo en cuenta que esa unión será fija e inamovible, y el cuello debe poder realizar el movimiento hacia adelante y hacia atrás junto con la cabeza siempre con el torso inmóvil. Para lograr el

objetivo se ha diseñado la siguiente pieza a la que llamaremos soporte de la carcasa del cuello:

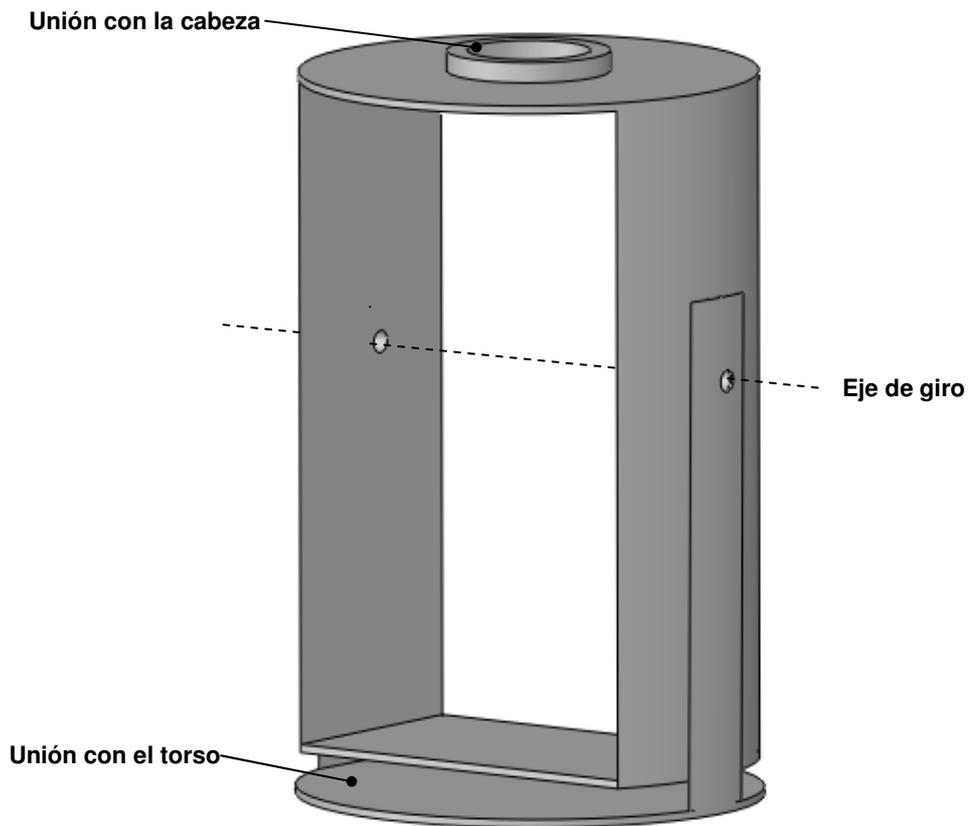


**Figura 4.16 Soporte de la carcasa del cuello.**

La base circular de la pieza irá pegada al torso del robot. La unión con el cuello se realizará a través de los dos orificios practicados en sus bandas laterales. En el siguiente apartado veremos cómo queda el diseño final de la estructura del cuello ensamblando las dos piezas anteriores.

### **4.3.3 DISEÑO FINAL DE LA CARCASA DEL CUELLO**

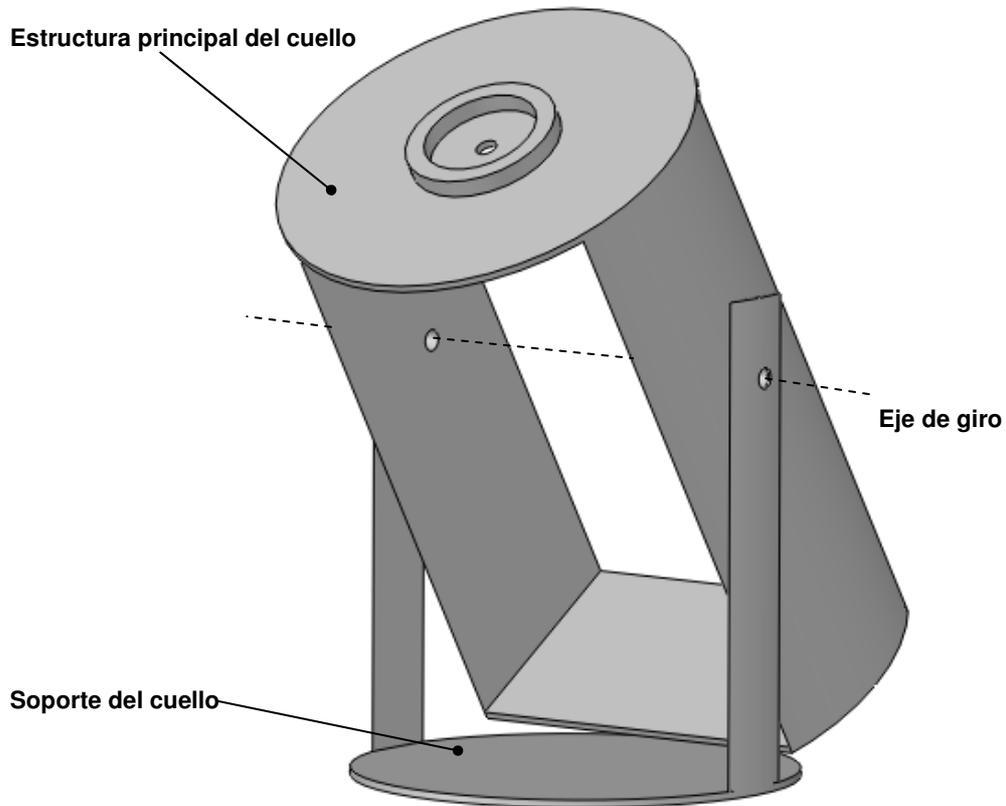
Como hemos dicho anteriormente, el diseño completo de la carcasa del cuello se obtiene ensamblando las dos piezas anteriores. En la siguiente figura vemos el resultado de dicho ensamblaje:



**Figura 4.17** Carcasa del cuello del robot.

En la anterior figura vemos como en la parte superior de la estructura está situado el punto de unión con la cabeza, y en la parte inferior el punto de unión con el torso. El soporte del cuello será una pieza fija que no realizará ningún tipo de movimiento. No así la estructura principal, que podrá girar sobre el eje indicado mediante uno de los ejes de salida del sistema motor, cuestión que veremos en el siguiente capítulo.

En la figura 4.18 vamos a ver como el cuello del robot se inclina hacia adelante, permaneciendo inmóvil el soporte del cuello, ya que este irá unido al torso. También observaremos que la base inferior de la estructura principal del cuello ha sido recortada para evitar cualquier tipo de roce o fricción con el soporte del cuello al realizar el movimiento, ya sea este hacia adelante o hacia atrás.

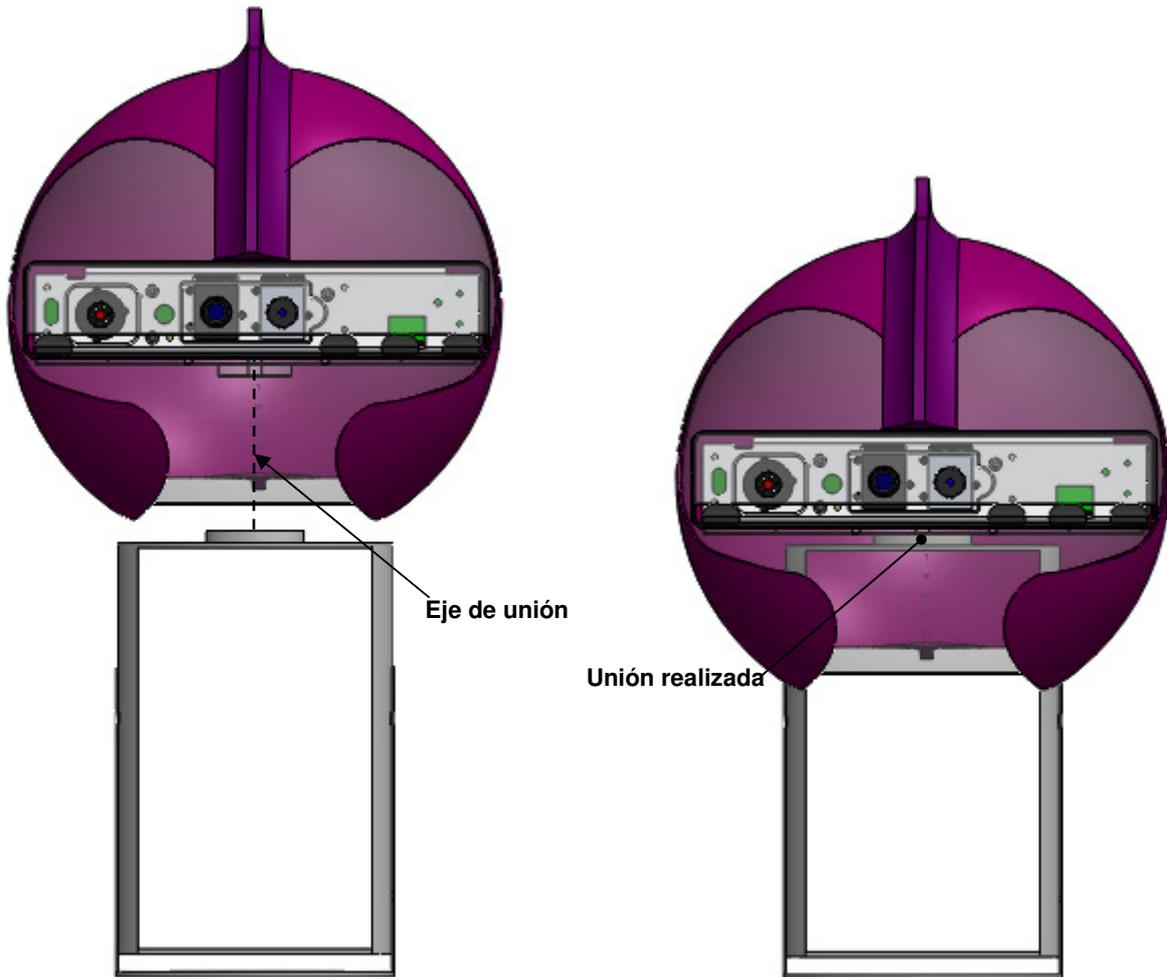


**Figura 4.18 El movimiento de la carcasa del cuello del robot.**

Con las carcasas de la cabeza y el cuello del robot diseñadas, llega el momento de ensamblarlas. En el siguiente apartado de este capítulo llevamos a cabo su ensamblaje dando lugar al diseño completo de la cabeza del robot a falta del sistema motor.

## 4.4 LA UNIÓN DE LA CABEZA Y EL CUELLO

Una vez realizados y explicados los diseños de las carcasas de la cabeza y el cuello del robot, es el momento de realizar su ensamblaje:



**Figura 4.19 Uniendo las carcasas de la cabeza y el cuello.**

En la figura anterior primero vemos en la imagen de la izquierda las carcasas justo antes de ensamblarse siguiendo la dirección del eje de unión, para a continuación aparecer perfectamente ensambladas en la imagen de la derecha. Obsérvese que la máscara se ha puesto en modo visión transparente para poder apreciar mejor esta unión.

Para finalizar este apartado mostramos en la siguiente figura una perspectiva dimétrica con las carcasas del robot ya ensambladas, y con todas sus piezas en visión estándar, para así poder ver mejor su diseño y geometría:

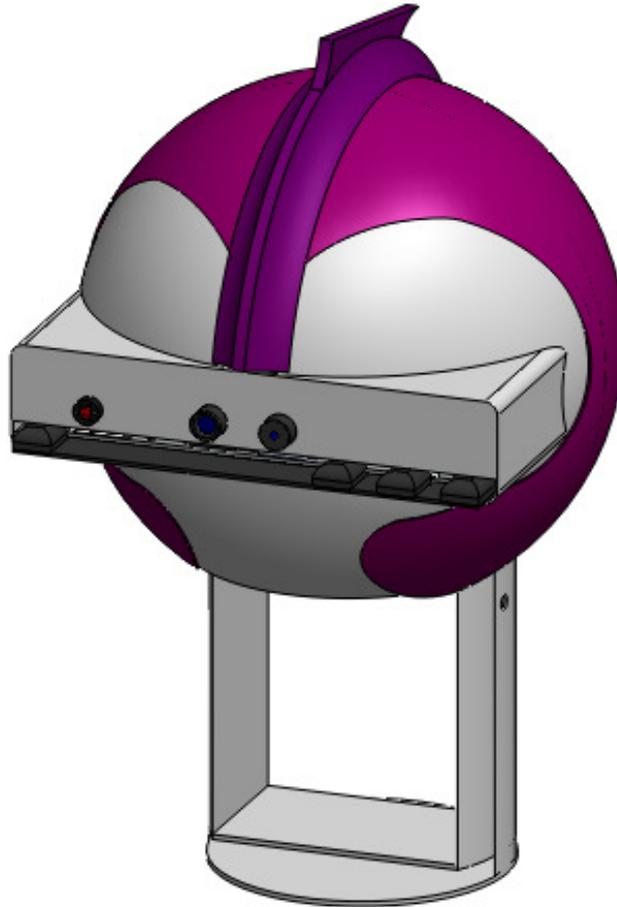


Figura 4.20 Perspectiva dimétrica de las carcasas ensambladas.

## 5 DISEÑO DEL SISTEMA MOTOR

### 5.1 INTRODUCCIÓN

Como se dijo en los objetivos del proyecto, la cabeza del robot dispondrá de un sistema motor que le permita realizar dos tipos distintos de movimientos (Figura 5.1), con el objetivo de abarcar un campo de visión lo más extenso posible. Uno de los dos movimientos solo implicará el desplazamiento de la cabeza, quedando el cuello inmóvil. Este movimiento será un giro rotacional de la cabeza sobre el cuello, y podrá ser en sentido horario o antihorario. El otro tipo de movimiento supondrá que se muevan tanto la cabeza como la estructura principal del cuello (quedando siempre el soporte de este último inmóvil), y será de inclinación hacia adelante o hacia atrás.

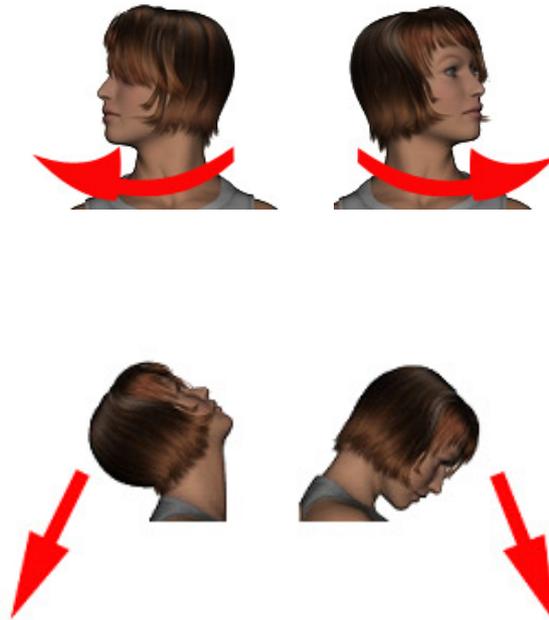


Figura 5.1 Movimientos de la cabeza del robot.

El sistema motor estará ubicado en el interior de la carcasa del cuello, y formado a su vez por dos sistemas independientes, uno para cada tipo de movimiento. Cada uno de



estos sistemas estará compuesto principalmente por un motor de corriente continua y una serie de ruedas dentadas encapsuladas que seleccionaremos más adelante.

Para comenzar el diseño de los dos sistemas, lo primero es saber cuál es el par o momento necesario que como mínimo cada sistema deberá desarrollar para que la cabeza del robot pueda realizar adecuadamente los movimientos correspondientes.

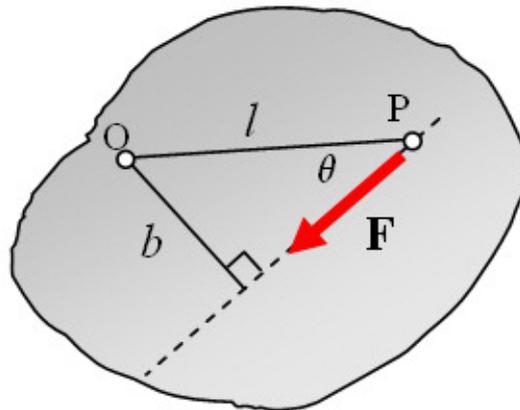
Como sabemos los sistemas encargados de generar el movimiento estarán compuestos por un motor de corriente continua y una serie de engranajes o ruedas dentadas. La utilidad de estas últimas reside en que el par generado por el motor no será lo suficientemente elevado para lograr el desplazamiento correcto, por lo tanto una vez calculado el momento y seleccionado el motor, tendremos que diseñar la combinación correcta de ruedas dentadas para cada movimiento. La combinación correcta será aquella que produzca el par o momento necesario. Para lograr esto nos serviremos de las relaciones de transmisión entre ruedas.

Con el momento calculado, y seleccionados el motor y las ruedas dentadas, diseñaremos los encapsulados donde se alojarán estas últimas. Para acabar realizaremos el diseño gráfico completo de cada sistema con todos sus componentes ya ensamblados.

En los siguientes apartados haremos una pequeña introducción al cálculo del momento de una fuerza y a las relaciones de transmisión entre ruedas dentadas, así como una breve descripción de los encapsulados.

### **5.1.1 MOMENTO DE UNA FUERZA**

Si aplicamos una determinada fuerza sobre un sólido rígido este girará alrededor de algún eje, dando origen a un momento de fuerza. El par o momento de una fuerza con respecto a un punto nos indica en qué medida existe capacidad en una fuerza o en un sistema de fuerzas para cambiar el estado de la rotación del cuerpo alrededor de un eje que pase por dicho punto. Para ilustrar mejor este concepto, a continuación veremos un ejemplo del momento de una fuerza:



**Figura 5.2 Momento de una fuerza.**

En la anterior figura de un sólido rígido se desea calcular el momento o par que produce la fuerza  $F$  respecto al punto  $O$  (punto por donde ha de pasar el eje de giro). La fuerza  $F$  hará que el sólido rígido gire alrededor de un eje que pase por el punto  $O$ . El momento en ese punto vendrá definido por la siguiente expresión:

$$M = Fb = Fl \sin \theta$$

Siendo  $b$  la distancia perpendicular desde el punto  $O$  hasta la línea de la fuerza. A  $b$  se le denomina brazo del momento y viene dado por  $b = l \sin \theta$  donde  $l$  es la distancia desde el punto  $O$  hasta el punto  $P$ , que es donde se aplica la fuerza, y  $\theta$  el ángulo que forman  $l$  y  $F$ .

### 5.1.2 RELACIONES DE TRANSMISIÓN

La relación de transmisión es una relación entre las velocidades de rotación de dos ruedas dentadas conectadas entre sí formando un engranaje (Figura 5.3). Esta relación surge de la diferencia de diámetros de las dos ruedas, lo que implica una diferencia entre las velocidades de rotación de ambos ejes. Para que dos ruedas dentadas engranen el paso y el módulo tienen que ser los mismos. Estos no intervienen en el cálculo de la transmisión, sino en el dimensionado del diente del engranaje:

$$d = 2r = mZ$$

Donde:

- $d$  es el diámetro de la circunferencia primitiva de la rueda.
- $r$  es el radio de la circunferencia primitiva de la rueda.
- $m$  es el modulo.
- $Z$  el número de dientes de la rueda.

También se debe considerar que al cambiar la relación de transmisión, se cambia el par de fuerza o momento aplicado.

La relación de transmisión  $Rt$  entre dos ruedas dentadas con un determinado número de dientes, se puede expresar de la siguiente manera:

$$Rt = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2}$$

Donde:

- $\omega_1$  es la velocidad angular de entrada.
- $\omega_2$  la velocidad angular de salida.
- $Z_1$  el número de dientes de la rueda de entrada.
- $Z_2$  el número de dientes de la rueda de salida.
- $\tau_1$  el par o momento de fuerza de entrada.
- $\tau_2$  el par o momento de fuerza de salida.

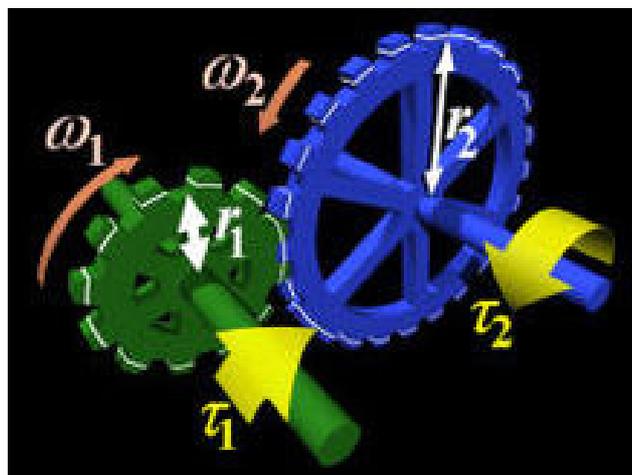


Figura 5.3 Relaciones de transmisión.



### 5.1.3 ENCAPSULADOS

La función de los encapsulados será la de alojar en su interior al mecanismo formado por las ruedas dentadas y sus ejes de rotación, proporcionándoles soporte y protección. El encapsulado estará compuesto por tres elementos o piezas diferentes: la caja, que es el habitáculo o espacio donde irán alojadas las ruedas dentadas y sus ejes de rotación; la tapadera, que será la pieza que cierre la caja; y los cojinetes, que se utilizarán como soporte de los ejes de rotación para que estos giren adecuadamente. Los ejes de rotación serán varillas metálicas de distintos diámetros y estarán unidos a la base de la caja por un extremo, y a la tapadera por el otro, a través de los cojinetes.

## 5.2 MOVIMIENTO HACIA ADELANTE O HACIA ATRÁS

Este movimiento supondrá que tanto la cabeza como la estructura principal del cuello del robot se inclinen hacia adelante o hacia atrás (siempre con el soporte del cuello fijo unido al torso) la inclinación que seleccionemos, con un ángulo máximo de 45 grados (Figura 5.4).

### 5.2.1 CÁLCULO DEL MOMENTO DE FUERZA

Como vimos en apartados anteriores, para calcular el momento de fuerza tenemos que saber la fuerza o fuerzas que lo producen, la distancia desde el eje de giro al punto de aplicación de la fuerza, y el ángulo que forman distancia y fuerza.

En la figura 5.4 se ha representado la cabeza del robot inclinada hacia adelante 45 grados, ya que es en ese instante de máxima inclinación cuando se alcanzará el mayor momento. Nos ayudaremos de esta representación para calcularlo.

En la figura observamos la fuerza  $F$  que origina el momento, que no es otra que el peso de la cabeza. También podemos ver la distancia desde el eje de giro  $O$  al punto de aplicación de la fuerza  $P$ , distancia representada por la letra  $L$ , y el ángulo  $\theta$  formado por  $L$  y  $F$ . Con estos datos podemos calcular el momento de  $F$  respecto al eje de giro  $O$ .

El valor de la fuerza como se ha dicho, es en este caso el peso de la cabeza, por lo que  $F = mg$  donde la masa  $m = 0.5 \text{ Kg}$  y la gravedad una constante de valor  $g = 9.8 \text{ N/Kg}$ , por lo tanto para calcular la fuerza procedemos del siguiente modo:

$$F = mg = 0.5 \text{ Kg} \times \frac{9.8 \text{ N}}{\text{Kg}} = 4.9 \text{ N}.$$

Hemos Considerado que la masa de la cabeza es igual a 0.5 Kg, ya que Kinect pesa 0.15 kg, y sumando el resto de elementos la masa no alcanzaría ese valor, pero siempre es conveniente dejar un margen de seguridad.

La distancia L desde el eje de giro al punto P es igual a  $L = 0.1313 \text{ m}$ , y el ángulo  $\theta = 45^\circ$  (máximo ángulo de inclinación). Por lo tanto el momento es igual a:

$$M = FL \sin \theta = 4.9 \text{ N} \times 0.1313 \text{ m} \times \sin 45^\circ = 0.455 \text{ N}$$

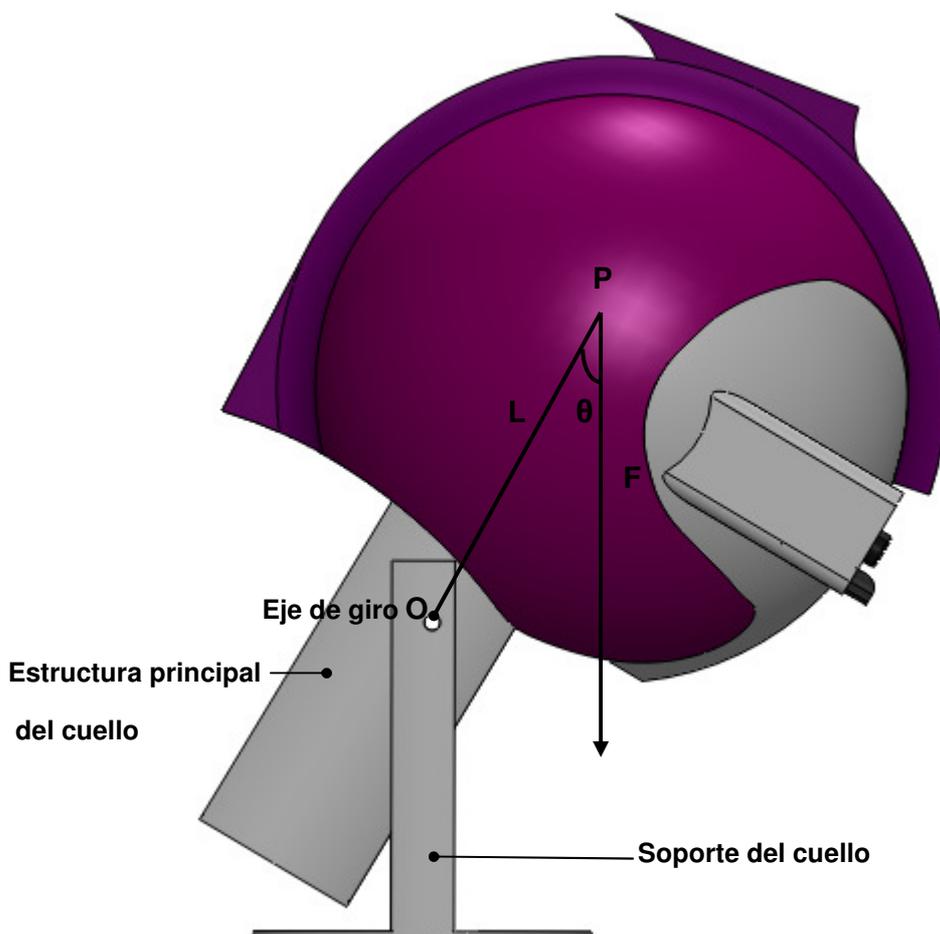


Figura 5.4 Cálculo del momento de fuerza en el movimiento hacia adelante o hacia atrás.

## 5.2.2- MOTOR Y RUEDAS DENTADAS

Con el par que como mínimo debemos generar calculado, podemos seleccionar el motor y las ruedas dentadas adecuadas para nuestro diseño.

### 5.2.2.1 MOTOR

Es el componente que generará el movimiento. El motor seleccionado (Figura 5.5) es un motor Maxon de corriente continua con escobillas de grafito, 6 W de potencia, cuyas hojas de características se adjuntan en el anexo. El motor soporta una tensión nominal de 36 V y tiene un par continuo máximo de 6.82 mNm. Se ha seleccionado por su buena relación precio-peso-par motor.



Figura 5.5 Motor de corriente continua seleccionado.

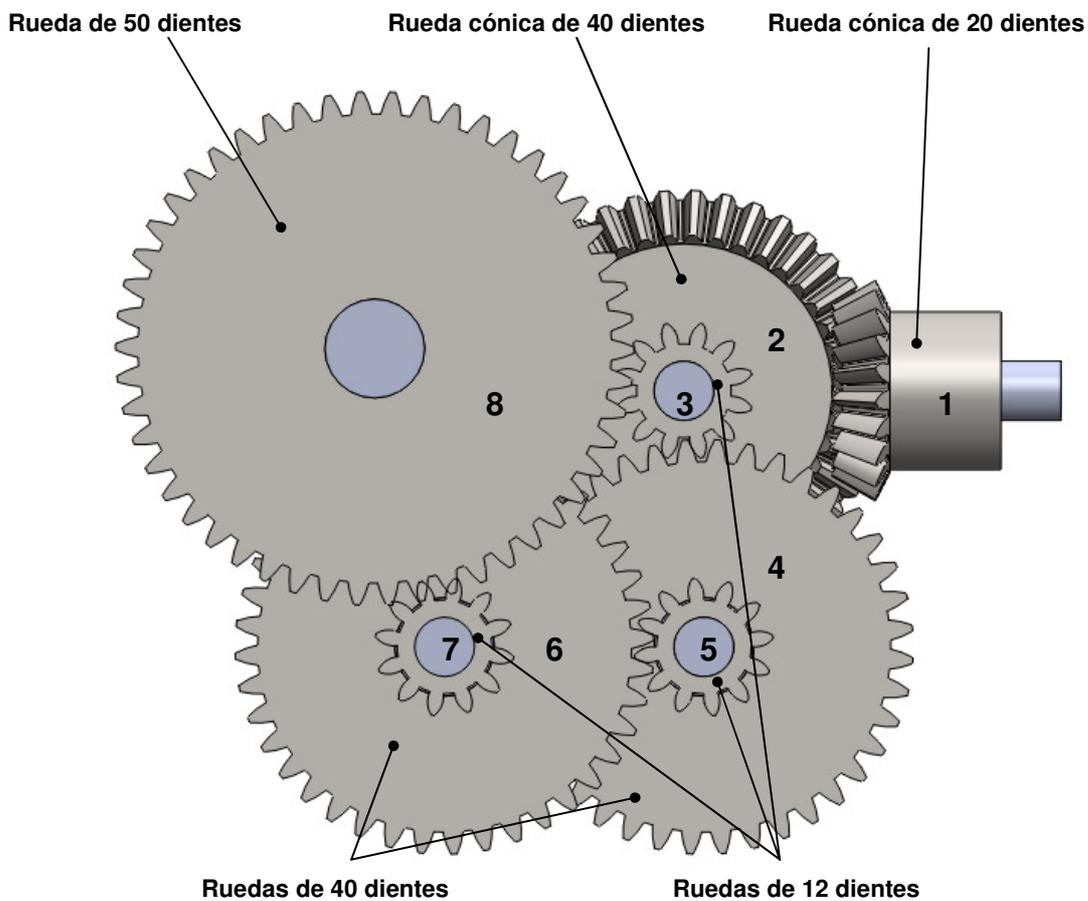
### 5.2.2.2 RUEDAS DENTADAS

El motor seleccionado nos ofrece un par continuo máximo de 6.82 mNm, por lo tanto tendremos que aumentarlo, ya que debemos superar el par calculado anteriormente para este movimiento de 0.455 Nm. Para este objetivo utilizaremos las ruedas dentadas, ya que con sus relaciones de transmisión lograremos aumentar lo necesario el par motor. Las ruedas seleccionadas son las siguientes:

- Dos ruedas cónicas de 20 y 40 dientes de módulo 1.
- Seis ruedas rectas de módulo 0.5. Tres de 12 dientes, dos de 40 dientes y una de 50 dientes.

Todas las ruedas estarán fabricadas en poliacetal, un termoplástico de ingeniería que hará que sean muy ligeras. Las demás características y medidas se adjuntan en el anexo.

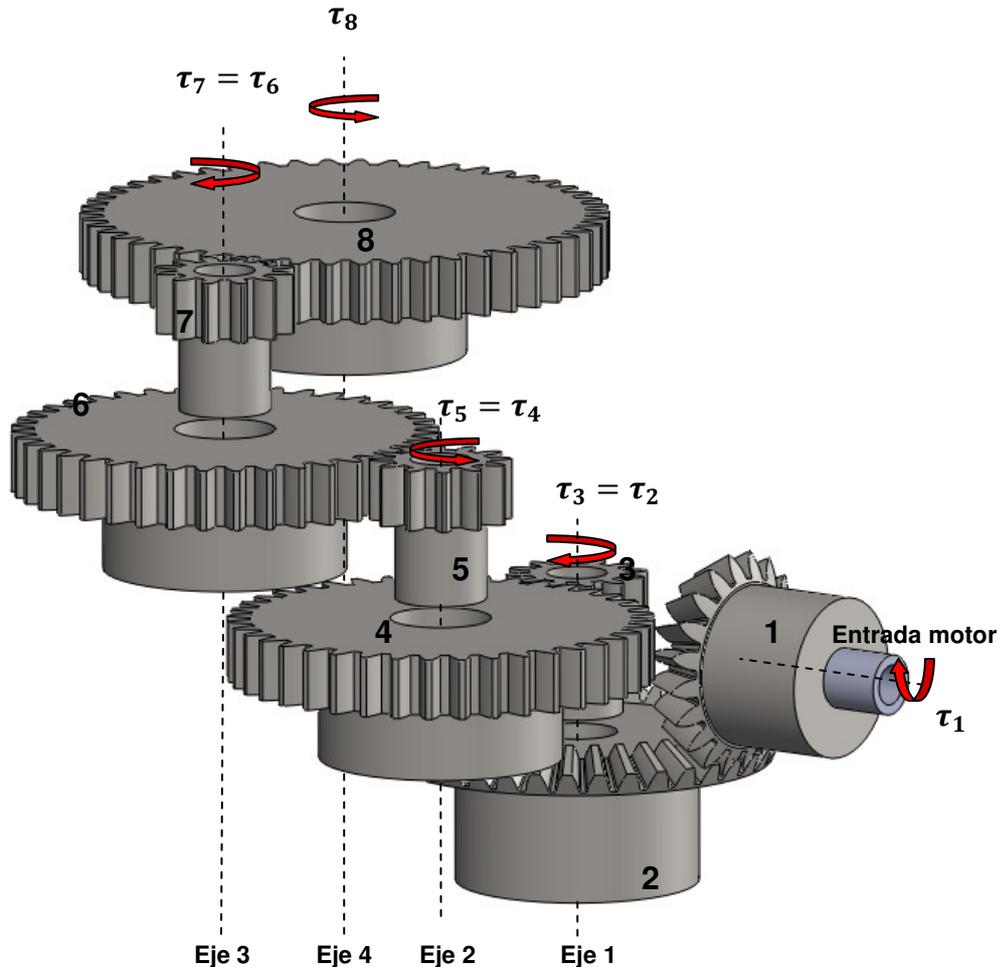
Después de haber seleccionado las ruedas dentadas tendremos que combinarlas o engranarlas correctamente para conseguir generar el par deseado. El diseño de la combinación realizado mediante Solidworks se muestra a continuación en la siguiente figura:



**Figura 5.6** Diseño del sistema de ruedas dentadas para el movimiento hacia adelante o hacia atrás.

Como podemos ver en la figura anterior las ruedas formarán cuatro parejas o engranajes de dos ruedas cada uno. La rueda que tenga menor número de dientes, y por lo tanto la de menor tamaño, será la de entrada en cada engranaje. De este modo iremos aumentando el par motor sucesivamente a medida que el movimiento vaya transmitiéndose por el mecanismo. El camino que sigue el movimiento a través del mecanismo lo podemos observar siguiendo el orden de los números en la figura 5.7,

así vemos que el movimiento se inicia en la rueda número 1 (rueda cónica de 20 dientes) gracias al motor (no incluido en la figura), y pasando por todas las ruedas llega hasta la número 8 (rueda de 50 dientes) donde se obtiene el par total de salida  $\tau_8$  generado por el sistema.



**Figura 5.7** Diseño del sistema de ruedas dentadas para el movimiento hacia adelante o hacia atrás donde apreciamos los ejes de rotación y las relaciones entre los distintos pares de fuerza.

En esta otra perspectiva del sistema de ruedas dentadas podemos apreciar los pares de fuerza y las relaciones entre ellos. Además también observamos el eje de la entrada del motor donde se genera el par de entrada  $\tau_1$ , y los ejes de rotación de las ruedas dentadas, siendo el eje 4 el eje de salida del sistema donde se obtiene el par total de salida  $\tau_8$ .

Como dijimos anteriormente el objetivo que debe cumplir este sistema de ruedas dentadas, es que el par total de salida del sistema  $\tau_8$  sea mayor que el par calculado



teóricamente para este movimiento, cuyo valor era de 0.455 Nm. Para calcular dicho par de salida aplicaremos las relaciones de transmisión en cada pareja de ruedas:

- Primera pareja formada por las ruedas 1 y 2:

$$\tau_2 = \frac{Z_2}{Z_1} \tau_1$$

- Segunda pareja formada por las ruedas 3 y 4:

$$\tau_4 = \frac{Z_4}{Z_3} \tau_3$$

- Tercera pareja formada por las ruedas 5 y 6:

$$\tau_6 = \frac{Z_6}{Z_5} \tau_5$$

- Cuarta pareja formada por las ruedas 7 y 8:

$$\tau_8 = \frac{Z_8}{Z_7} \tau_7$$

Dado que el eje de salida de cada pareja de ruedas es el mismo que el eje de entrada de la siguiente pareja, como vimos en las figuras anteriores, se cumple que:

$$\tau_2 = \tau_3; \tau_4 = \tau_5; \tau_6 = \tau_7$$

Sustituyendo en las relaciones de transmisión se obtiene:

$$\tau_8 = \frac{Z_8}{Z_7} \cdot \frac{Z_6}{Z_5} \cdot \frac{Z_4}{Z_3} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} \tau_1$$

Siendo  $\tau_1$  el par de entrada del mecanismo, es decir el par generado por el motor, y  $Z_i$  el número de dientes de cada rueda, sustituimos valores:

$$\tau_8 = \frac{50}{12} \cdot \frac{40}{12} \cdot \frac{40}{12} \cdot \frac{40}{20} 6.82mNm = 631mNm = 0.631Nm$$

Vemos que el objetivo está sobradamente cumplido, y nuestro sistema podrá mover sin problemas la cabeza del robot hacia adelante o hacia atrás, ya que podrá vencer el par teórico calculado anteriormente:

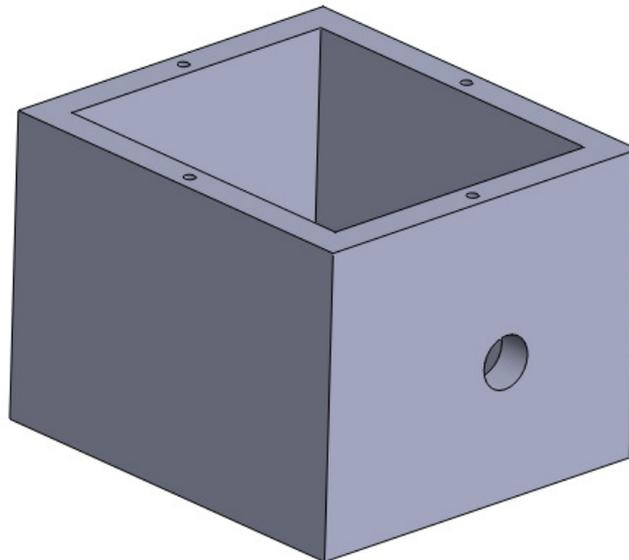
$$0.631Nm > 0.455Nm$$

### 5.2.3 ENCAPSULADO

Como mencionamos anteriormente el encapsulado lo formaran tres elementos distintos: la caja, la tapadera, y los cojinetes. A continuación se mostrarán detalladamente los diseños de estos elementos.

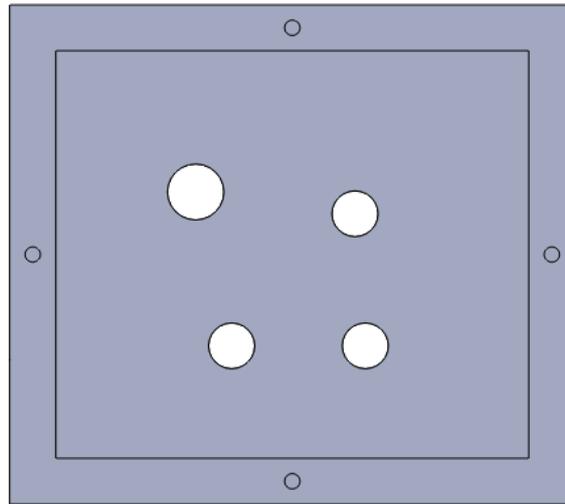
#### 5.2.3.1 LA CAJA

La dimensión de la caja dependerá exclusivamente del tamaño del mecanismo diseñado anteriormente, el cual se alojará en su interior. A continuación se muestra el diseño:



**Figura 5.8** Diseño de la caja del encapsulado para el movimiento hacia adelante o hacia atrás.

Como vemos en la imagen anterior, la caja dispone de cuatro pequeños orificios en la parte superior para su correcta unión con la tapadera, y un orificio de mayor tamaño en una de sus caras para conectar el motor de corriente continua con el sistema de ruedas dentadas.

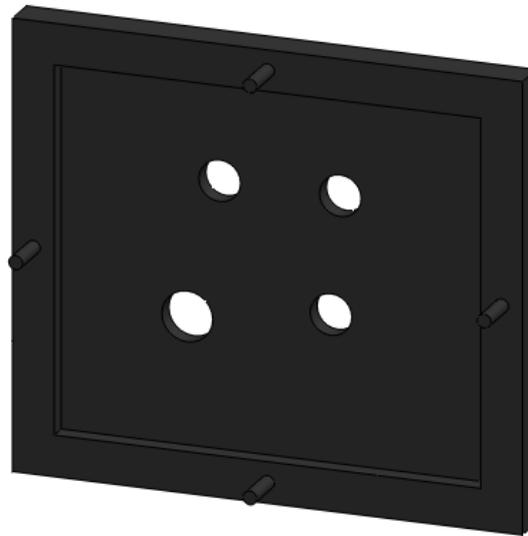


**Figura 5.9** Perspectiva de planta de la caja del encapsulado para el movimiento hacia adelante o hacia atrás.

En esta perspectiva de planta de la caja podemos ver los orificios practicados en la base para la colocación de los ejes de rotación de las ruedas dentadas. En todos estos orificios excepto en uno se introducirán cojinetes para que los ejes giren adecuadamente. La excepción será el orificio de mayor tamaño, ya que por este se dará salida al movimiento generado por el mecanismo. La distancia entre los orificios está perfectamente calculada para que los dientes de las ruedas engranen correctamente.

### **5.2.3.2 LA TAPADERA**

Otra pieza que forma parte del encapsulado es la tapadera (Figura 5.10). Sus dimensiones estarán pensadas para su adecuado ensamblaje con la caja. Esta pieza también tendrá cuatro orificios, los cuales coincidirán concéntricamente con los de la base de la caja para la correcta sujeción de los ejes de rotación. Además dispondrá de cuatro salientes que encajarán en los orificios de la parte superior de la caja para su ensamblaje. En la siguiente figura podemos ver esta pieza:



**Figura 5.10 Tapadera del encapsulado para el movimiento hacia adelante o hacia atrás.**

Al igual que en la caja, en los orificios de la tapadera también se introducirán cojinetes en todos excepto en uno, el de mayor tamaño, ya que por este orificio también se dará salida al movimiento generado por el mecanismo.

### **5.2.3.3 COJINETES**

Como hemos dicho anteriormente la función de los cojinetes es la de servir de sujeción a los ejes de rotación de las ruedas dentadas, y a su vez permitir su giro. Para este encapsulado serán necesarios seis cojinetes, tres para los orificios de la caja, y tres para los de la tapadera, ya que los dos orificios restantes son para la salida de movimiento del mecanismo. En la siguiente figura vemos el diseño del cojinete realizado con Solidworks:



**Figura 5.11 Cojinete.**

#### 5.2.3.4 ENCAPSULADO ENSAMBLADO

Una vez diseñados todos los elementos del encapsulado los ensamblamos para obtener el diseño final.

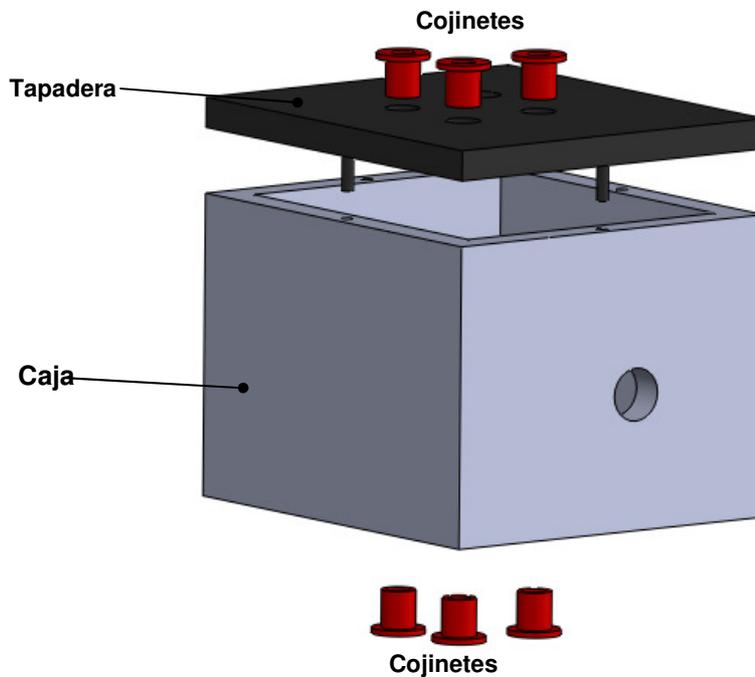


Figura 5.12 Ensamblando el encapsulado para el movimiento hacia adelante o hacia atrás.

Después de realizar el ensamblaje del encapsulado el diseño queda de la siguiente manera:

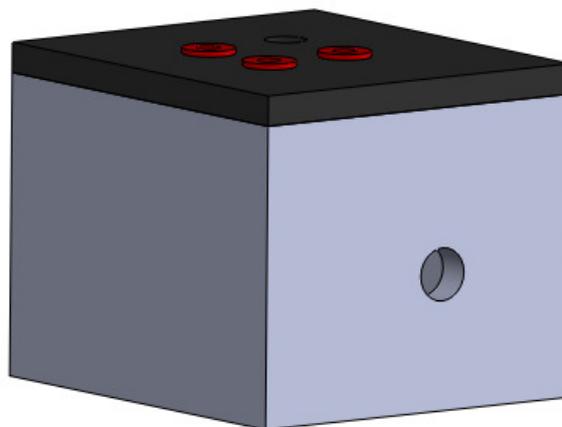
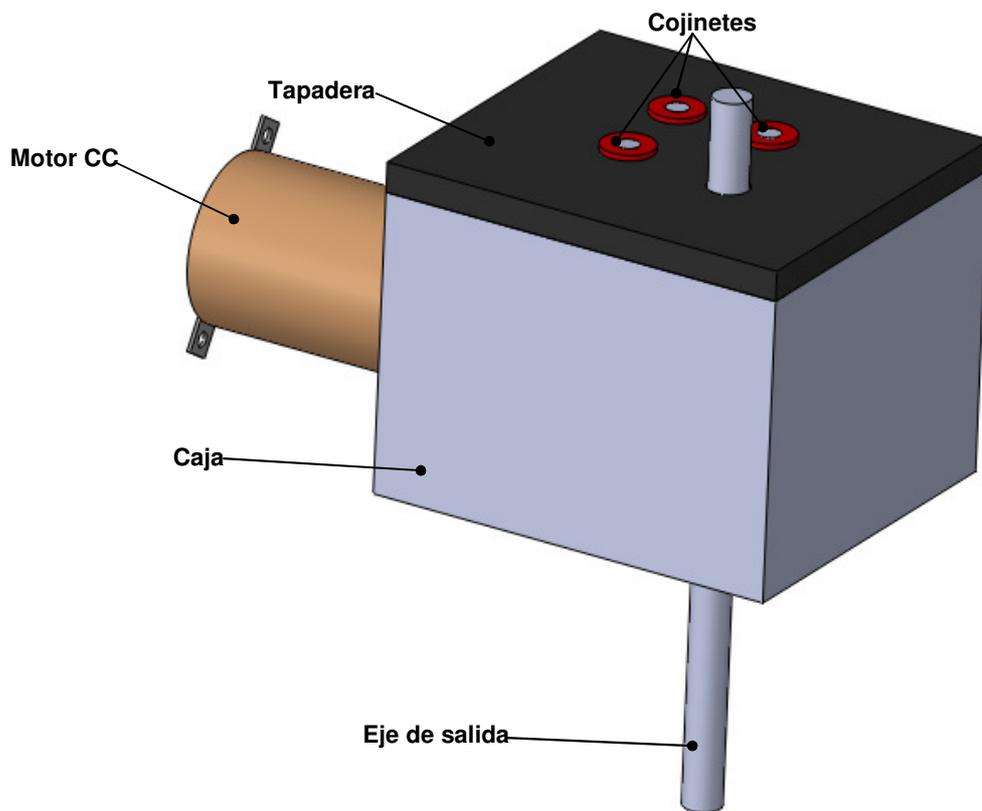


Figura 5.13 Diseño del encapsulado para el movimiento hacia adelante o hacia atrás.

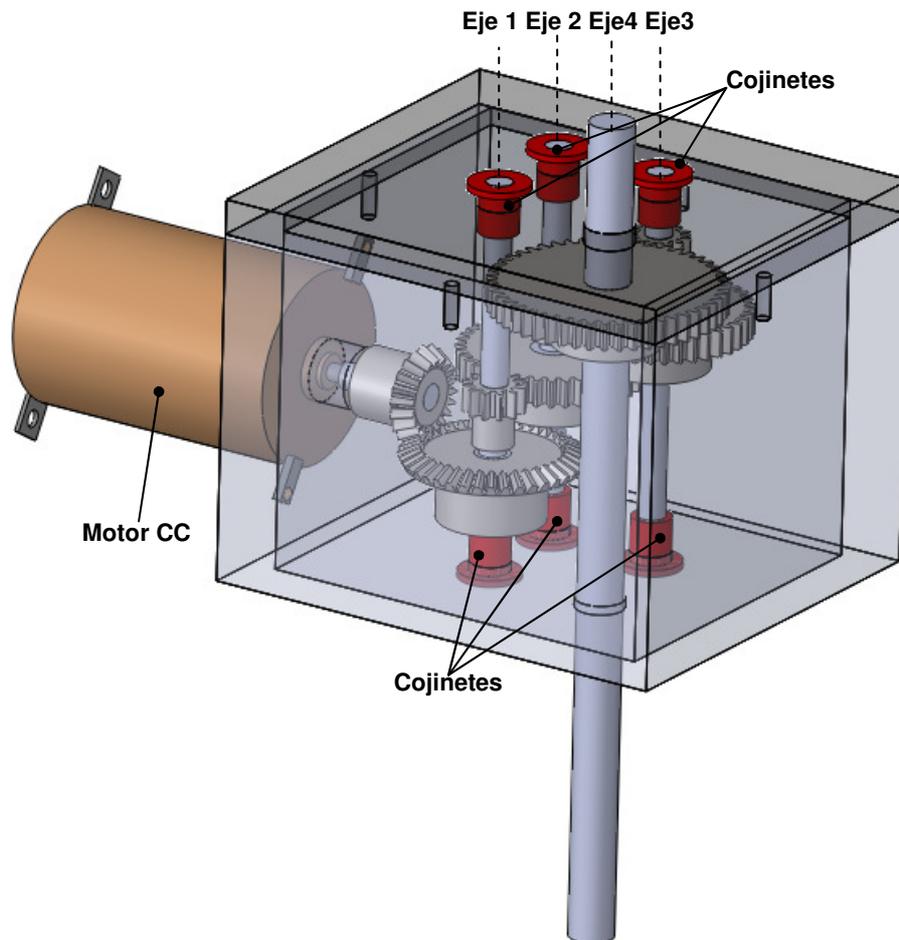
## 5.2.4 DISEÑO FINAL DEL SISTEMA MOTOR

Una vez completadas todas las etapas anteriores del diseño, podemos realizar el diseño final del sistema motor para el movimiento hacia delante o hacia atrás ensamblando todos los elementos:



**Figura 5.14** Diseño del sistema motor para el movimiento hacia adelante o hacia atrás.

En la figura anterior observamos el sistema motor para que la cabeza del robot pueda desarrollar el movimiento hacia delante y hacia atrás. El mecanismo formado por las ruedas dentadas y los ejes de rotación se encuentra en el interior del encapsulado. El movimiento es introducido en el mecanismo por el motor de corriente continua, y este se propaga por todo el sistema hasta llegar al eje de salida donde se obtiene el par deseado. En la siguiente figura podemos apreciar esto mejor cambiando la transparencia del encapsulado:



**Figura 5.15** Diseño del sistema motor para el movimiento hacia adelante o hacia atrás con la caja y la tapadera en vista modo transparente.

En la anterior figura vemos con claridad como el mecanismo formado por ruedas dentadas y sus ejes de rotación se aloja en el interior del encapsulado, y también vemos como esos ejes de rotación se introducen en los cojinetes para su correcta sujeción y rotación, todos excepto el eje 4, que es el de salida.

### 5.3 MOVIMIENTO GIRATORIO SOBRE EL CUELLO

En este movimiento tan solo la cabeza girará, lo hará sobre el cuello quedando este inmóvil. El giro podrá ser en sentido horario y antihorario, según se seleccione.

### 5.3.1 CÁLCULO DEL MOMENTO DE FUERZA

Calcular el momento en este caso es algo más sencillo que en el caso anterior, ya que no tenemos ángulo de inclinación y tan solo tenemos que conocer la fuerza y la distancia  $b$  desde el eje de giro hasta el extremo de la cabeza. Esta vez la fuerza es la mitad del peso, ya que el eje de giro corta por la mitad a la cabeza (figura 5.16), por lo tanto:

$$F = \frac{mg}{2} = \frac{0.5 \text{ Kg} \times 9.8 \frac{\text{N}}{\text{Kg}}}{2} = 2.45 \text{ N}$$

Una vez calculada la fuerza, y siendo  $b = 0.093\text{m}$  podemos obtener el momento:

$$M = Fb = 2.45 \text{ N} \times 0.1 \text{ m} = 0.245 \text{ Nm}$$

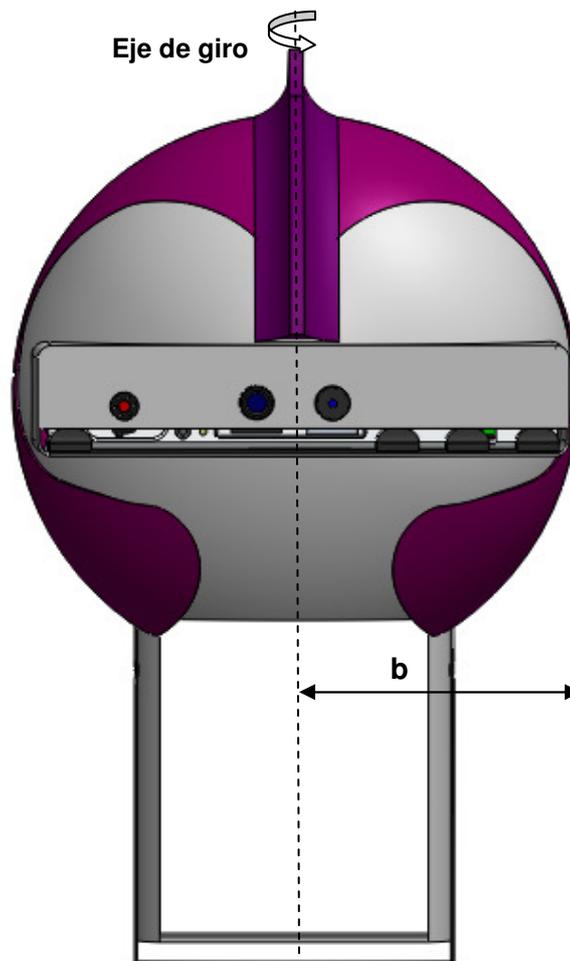


Figura 5.16 Cálculo del momento de fuerza en el movimiento giratorio sobre el cuello.

## 5.3.2 MOTOR Y RUEDAS DENTADAS

Con el par que como mínimo debemos generar calculado, podemos seleccionar el motor y las ruedas dentadas adecuadas para nuestro diseño.

### 5.3.2.1 MOTOR

Es el componente que generará el movimiento. El motor seleccionado (Figura 5.17) será el mismo que para el movimiento anterior, un motor Maxon de corriente continua con escobillas de grafito, 6 W de potencia, cuyas hojas de características se adjuntan en el anexo. El motor soporta una tensión nominal de 36 V y tiene un par continuo máximo de 6.82 mNm. Se ha seleccionado por su buena relación precio-peso-par motor.



Figura 5.17 Motor de corriente continua seleccionado.

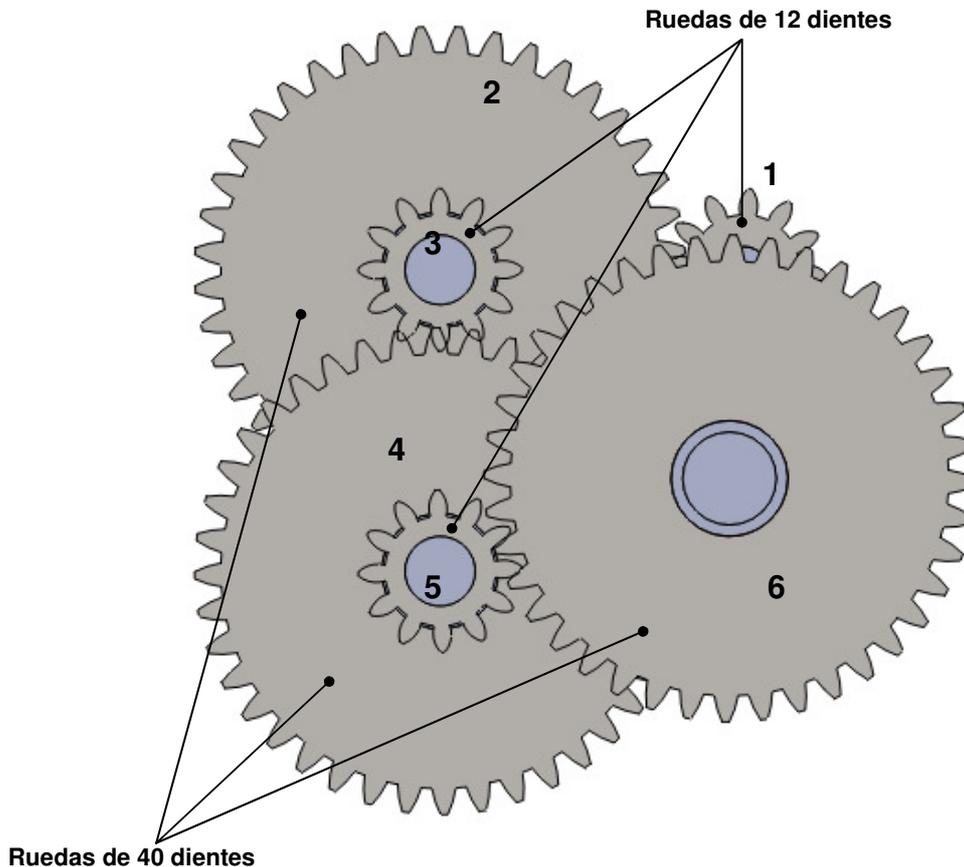
### 5.3.2.2 RUEDAS DENTADAS

El motor seleccionado nos ofrece un par continuo máximo de 6.82 mNm, por lo tanto tendremos que aumentarlo, ya que debemos superar el par calculado anteriormente para este movimiento de 0.228 Nm. Para esta objetivo utilizaremos las ruedas dentadas, ya que con sus relaciones de transmisión lograremos aumentar lo necesario el par motor. Las ruedas seleccionadas son las siguientes:

- Seis ruedas rectas de módulo 0.5. Tres de 12 dientes, y tres de 40 dientes.

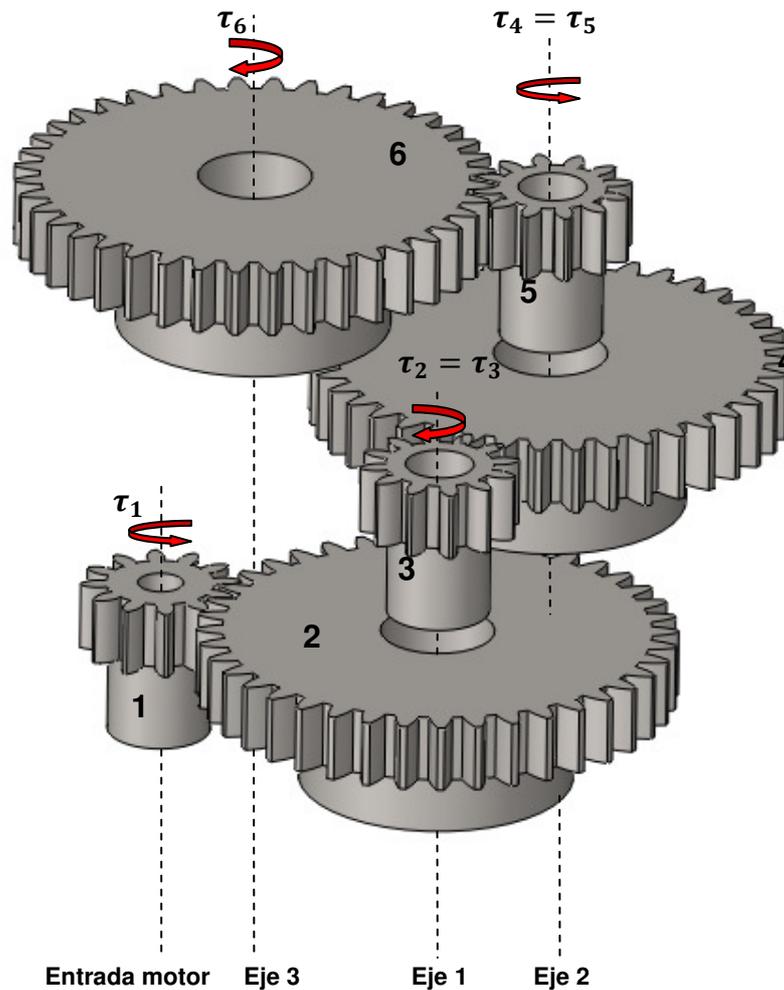
Todas las ruedas estarán fabricadas en poliacetal, un termoplástico de ingeniería que hará que sean muy ligeras. Las demás características y medidas se adjuntan en el anexo.

Después de haber seleccionado las ruedas dentadas tendremos que combinarlas o engranarlas correctamente para conseguir generar el par deseado. El diseño de la combinación realizado mediante Solidworks se muestra a continuación en la siguiente figura:



**Figura 5.18 Sistema de ruedas dentadas diseñado para el movimiento giratorio sobre el cuello.**

Como podemos ver en la figura anterior las ruedas formarán tres parejas o engranajes de dos ruedas cada uno. La rueda que tenga menor número de dientes, y por lo tanto la de menor tamaño, será la de entrada en cada engranaje. De este modo iremos aumentando el par motor sucesivamente a medida que el movimiento vaya transmitiéndose por el mecanismo. El camino que sigue el movimiento a través del mecanismo lo podemos observar siguiendo el orden de los números en la figura, así vemos que el movimiento se inicia en la rueda número 1 (rueda de 12 dientes) gracias al motor (no incluido en la figura), y pasando por todas las ruedas llega hasta la número 6 (rueda de 40 dientes) donde se obtiene el par total de salida  $\tau_6$  generado por el sistema.



**Figura 5.19** Diseño del sistema de ruedas dentadas para el movimiento giratorio sobre el cuello donde apreciamos los ejes de rotación y las relaciones entre los distintos pares de fuerza.

En esta otra perspectiva del sistema de ruedas dentadas, podemos apreciar los pares de fuerza y las relaciones entre ellos. Además también observamos el eje de la entrada del motor donde se genera el par de entrada  $\tau_1$ , y los ejes de rotación de las ruedas dentadas, siendo el eje 3 el eje de salida del sistema donde se obtiene el par total de salida  $\tau_6$ .

Como dijimos anteriormente el objetivo que debe cumplir este sistema de ruedas dentadas, es que el par total de salida del sistema  $\tau_6$  sea mayor que el par calculado teóricamente para este movimiento, cuyo valor era de 0.228 Nm. Para calcular dicho par de salida aplicaremos las relaciones de transmisión en cada pareja de ruedas:



- Primera pareja formada por las ruedas 1 y 2:

$$\tau_2 = \frac{Z_2}{Z_1} \tau_1$$

- Segunda pareja formada por las ruedas 3 y 4:

$$\tau_4 = \frac{Z_4}{Z_3} \tau_3$$

- Tercera pareja formada por las ruedas 5 y 6:

$$\tau_6 = \frac{Z_6}{Z_5} \tau_5$$

Dado que el eje de salida de cada pareja de ruedas es el mismo que el eje de entrada de la siguiente pareja, como vimos en las figuras anteriores, se cumple que:

$$\tau_2 = \tau_3; \quad \tau_4 = \tau_5$$

Siendo  $\tau_1$  el par de entrada del mecanismo, es decir el par generado por el motor, y  $Z_i$  el número de dientes de cada rueda, sustituimos valores:

$$\tau_6 = \frac{40}{12} \cdot \frac{40}{12} \cdot \frac{40}{12} 6.82mNm = 253mNm = 0.253Nm$$

Vemos que el objetivo está cumplido, y nuestro sistema podrá mover sin problemas la cabeza del robot de izquierda a derecha o viceversa, ya que podrá vencer el par teórico calculado anteriormente:

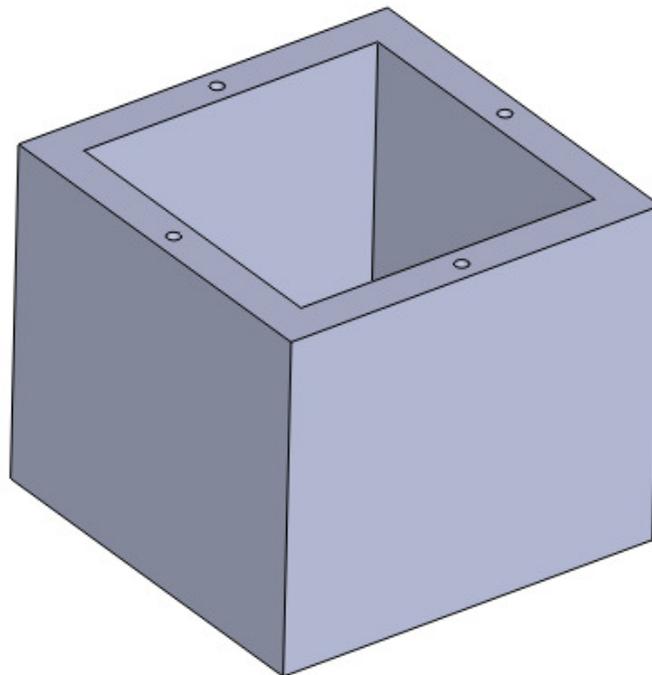
$$0.253Nm > 0.245Nm$$

### 5.3.3 ENCAPSULADO

Como mencionamos anteriormente el encapsulado lo formarán tres elementos distintos: la caja, la tapadera, y los cojinetes. A continuación se mostrarán detalladamente los diseños de estos elementos.

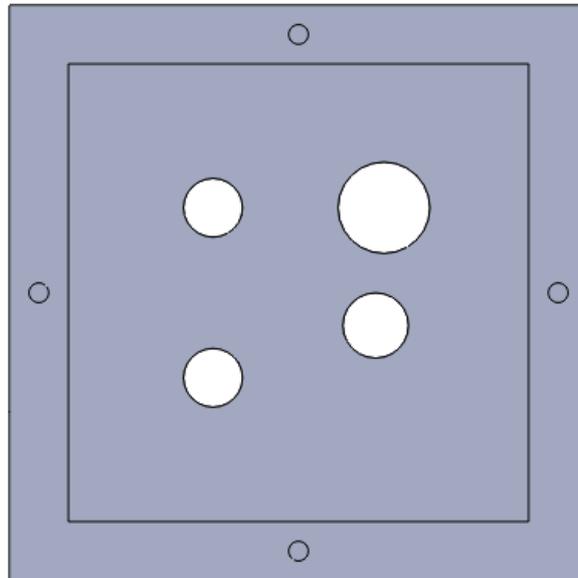
#### 5.3.3.1 LA CAJA

La dimensión de la caja (Figura 5.20) dependerá exclusivamente del tamaño del mecanismo diseñado anteriormente, el cual se alojará en su interior. A continuación se muestra el diseño:



**Figura 5.20** Diseño de la caja del encapsulado para el movimiento giratorio sobre el cuello.

Como vemos en la imagen anterior, la caja dispone de cuatro pequeños orificios en la parte superior para su correcta unión con la tapadera.

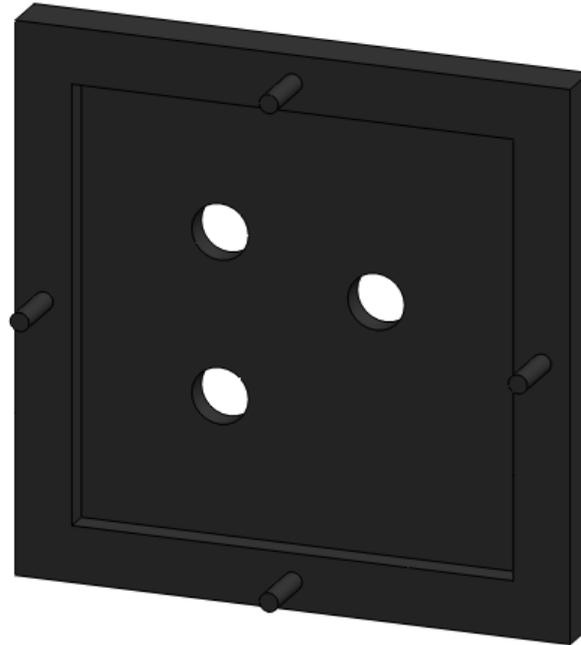


**Figura 5.21** Perspectiva de planta de la caja del encapsulado para el movimiento giratorio sobre el cuello.

En esta perspectiva de planta de la caja, podemos ver los orificios practicados en la base, uno es para la entrada del motor, y los otros tres son para la colocación de los ejes de rotación de las ruedas dentadas. En estos últimos tres orificios se introducirán cojinetes para que los ejes giren adecuadamente. La distancia entre los orificios está perfectamente calculada para que los dientes de las ruedas engranen correctamente.

### **5.3.3.2 LA TAPADERA**

Otra pieza que forma parte del encapsulado es la tapadera (Figura 5.22). Sus dimensiones estarán pensadas para su adecuado ensamblaje con la caja. Esta pieza tendrá tres orificios, los cuales coincidirán concéntricamente con los practicados para los ejes de rotación de las ruedas en la base de la caja, para lograr así una correcta sujeción y soporte. Además dispondrá de cuatro salientes que encajarán en los orificios de la parte superior de la caja para su ensamblaje. En la siguiente figura podemos ver esta pieza:

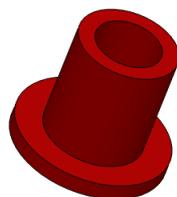


**Figura 5.22 Tapadera del encapsulado para el movimiento giratorio sobre el cuello.**

Al igual que sucedía en la caja, en los orificios realizados en la tapadera para los ejes de rotación de las ruedas, también se introducirán cojinetes, en todos excepto en uno, que será la salida del mecanismo.

### **5.3.3.3 COJINETES**

Como hemos dicho anteriormente la función de los cojinetes es la servir de sujeción a los ejes de rotación de las ruedas dentadas, y a su vez permitir su giro. Para este encapsulado serán necesarios cinco cojinetes, tres para los orificios de la caja, y dos para los de la tapadera, ya que el orificio restante es para la salida de movimiento del mecanismo. En la siguiente figura vemos el diseño del cojinete realizado con Solidworks:



**Figura 5.23 Cojinete.**

### 5.3.3.4 ENCAPSULADO ENSAMBLADO

Una vez diseñados todos los elementos del encapsulado los ensamblamos (Figura 5.24) para obtener el diseño final (Figura 5.25).

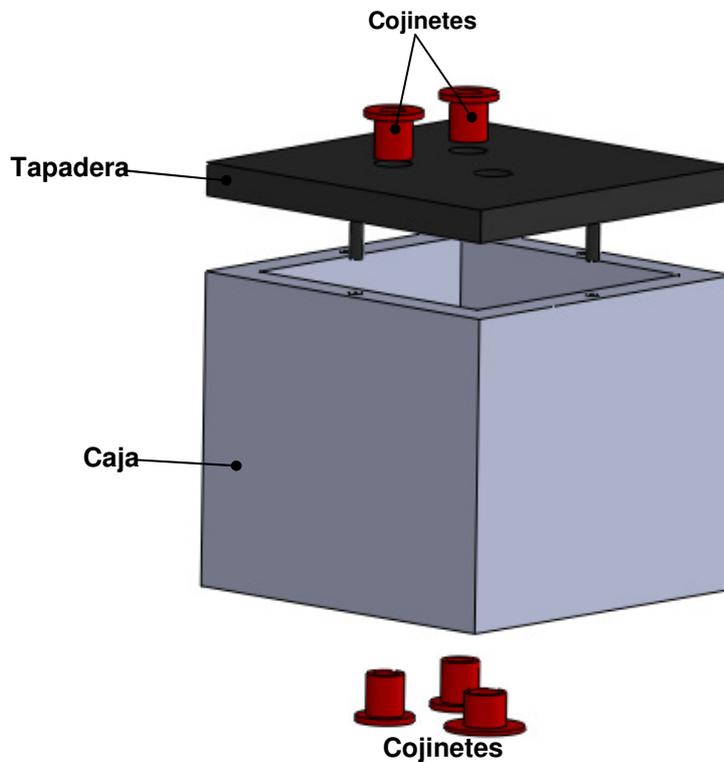


Figura 5.24 Ensamblando el encapsulado para el movimiento giratorio sobre el cuello.

Después de realizar el ensamblaje del encapsulado el diseño queda de la siguiente manera:

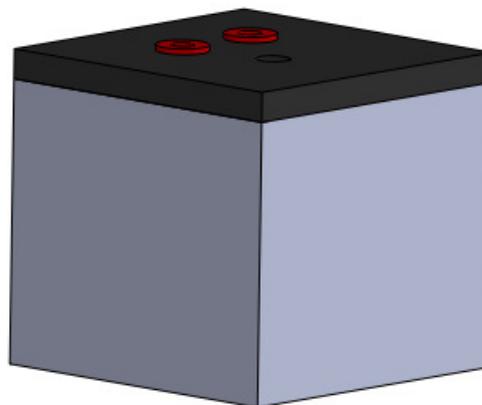
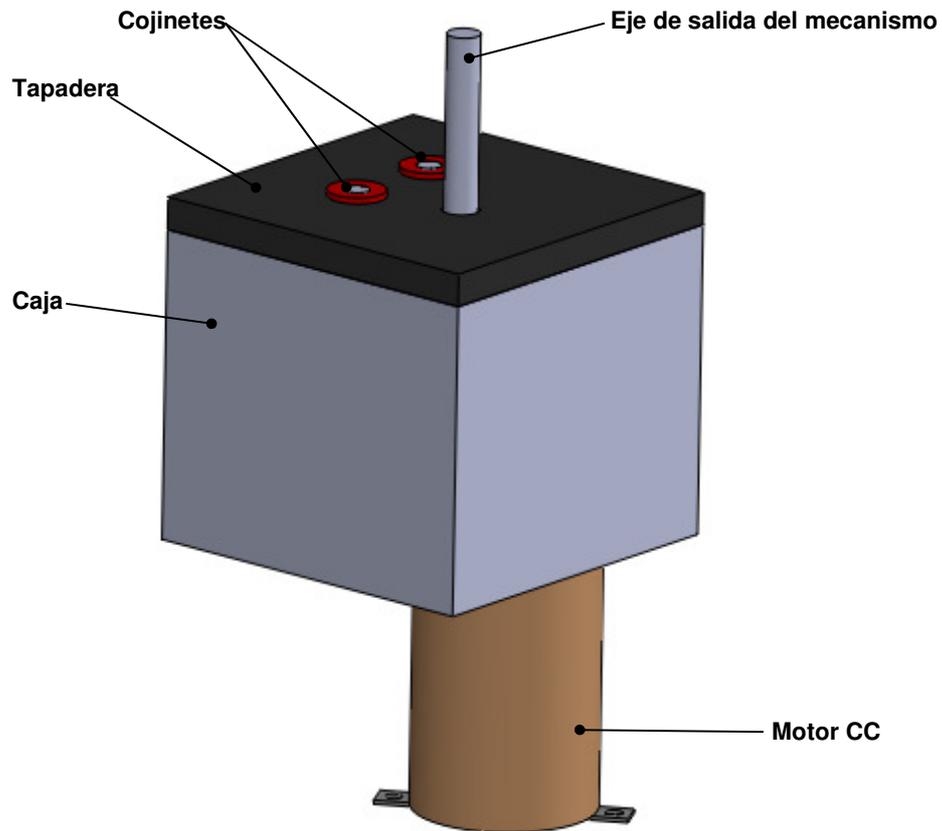


Figura 5.25 Diseño del encapsulado para el movimiento giratorio sobre el cuello.

### 5.3.4 DISEÑO FINAL DEL SISTEMA MOTOR

Una vez completadas todas las etapas anteriores, podemos realizar el diseño final del sistema motor para el movimiento giratorio sobre el cuello ensamblando todos los elementos (Figura 5.26).



**Figura 5.26** Diseño del sistema motor para el movimiento giratorio sobre el cuello.

En la figura anterior observamos el sistema motor para que la cabeza del robot pueda desarrollar el movimiento giratorio sobre el cuello. El mecanismo formado por las ruedas dentadas y los ejes de rotación se encuentra en el interior del encapsulado. El movimiento es introducido en el mecanismo por el motor de corriente continua, y este se propaga por todo el sistema hasta llegar al eje de salida donde se obtiene el par deseado. En la siguiente figura podemos apreciar esto mejor cambiando la transparencia del encapsulado:

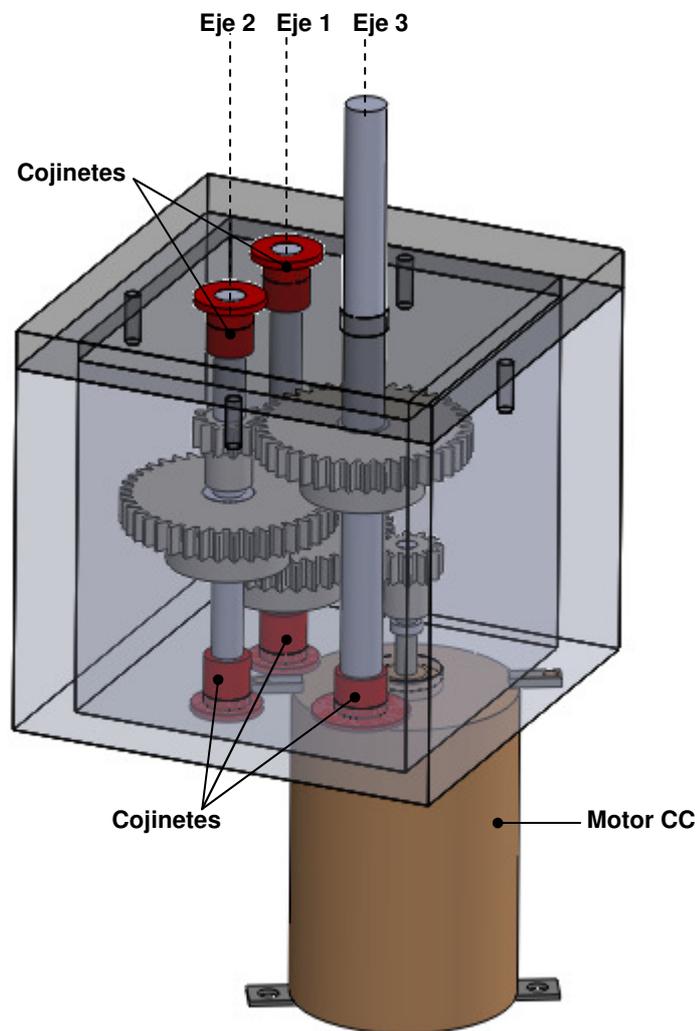


Figura 5.27 Diseño del sistema motor para el movimiento giratorio sobre el cuello con la caja y la tapadera en vista modo transparente.

## 6 DISEÑO COMPLETO DE LA CABEZA

### 6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se expondrá el diseño final de la cabeza del robot. Recordemos que en capítulos anteriores hemos diseñado el dispositivo adaptado Kinect de Microsoft, las carcasas de la cabeza y el cuello del robot, y el sistema motor. A continuación, en los siguientes apartados veremos una serie de figuras donde además de ver el diseño completo desde diferentes perspectivas creado con Solidworks, también observaremos los dos movimientos que la cabeza del robot es capaz de realizar.

### 6.2 EL DISEÑO FINAL DE LA CABEZA ROBÓTICA

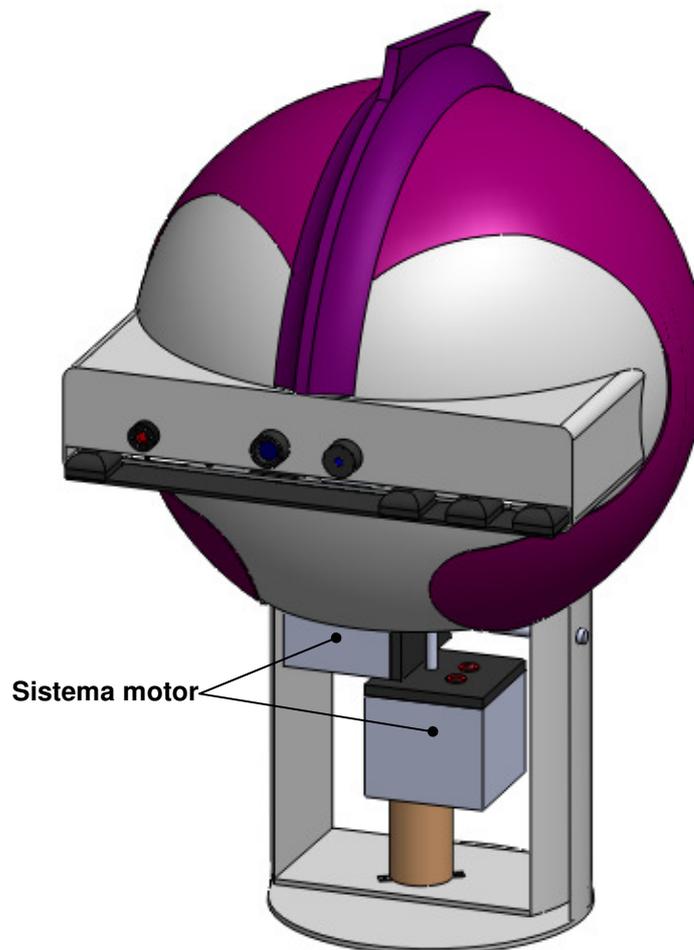
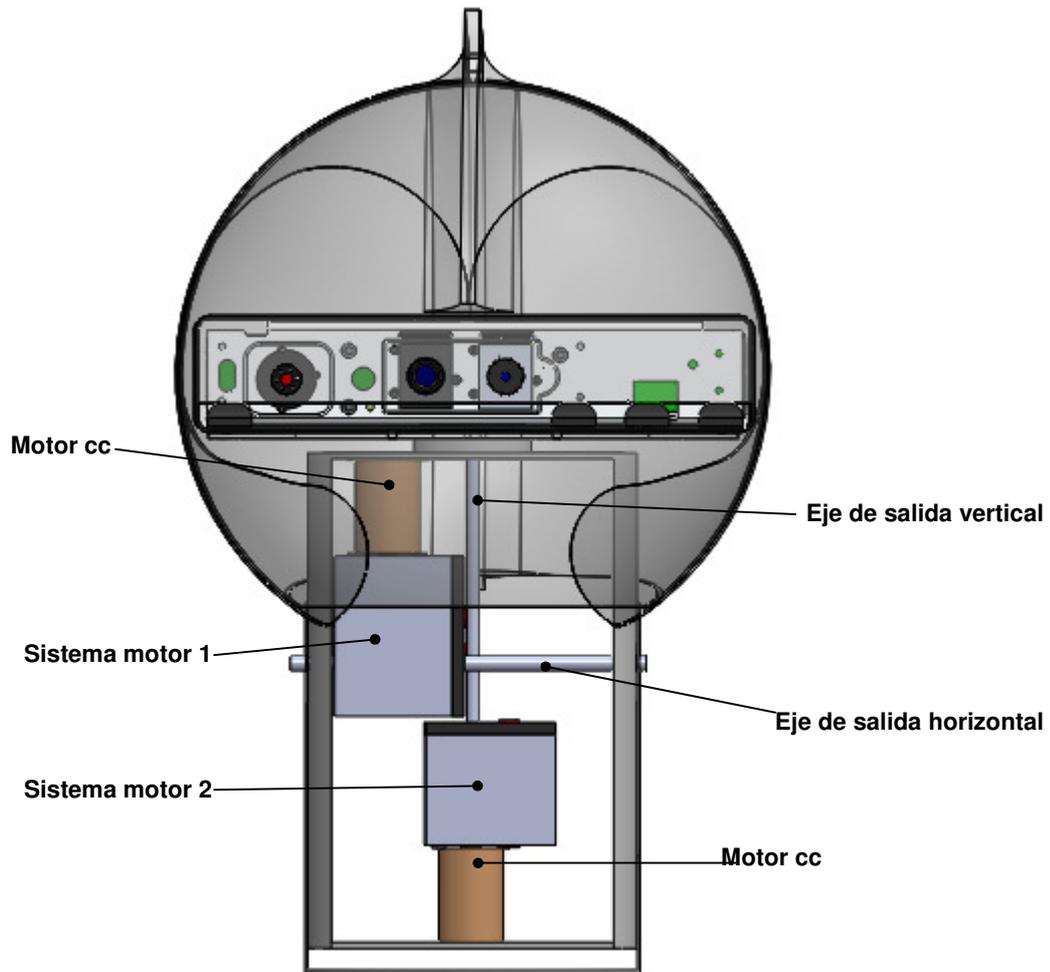


Figura 6.1 Diseño final de la cabeza robótica.

En la anterior figura vemos el diseño final de la cabeza del robot una vez que el sistema motor se sitúa en el interior de la carcasa del cuello. Cada sistema motor estará unido a la carcasa del cuello (estructura principal) a través de su motor, ya que este irá sujeto a la superficie en la cual se apoye mediante dos pequeños tornillos.



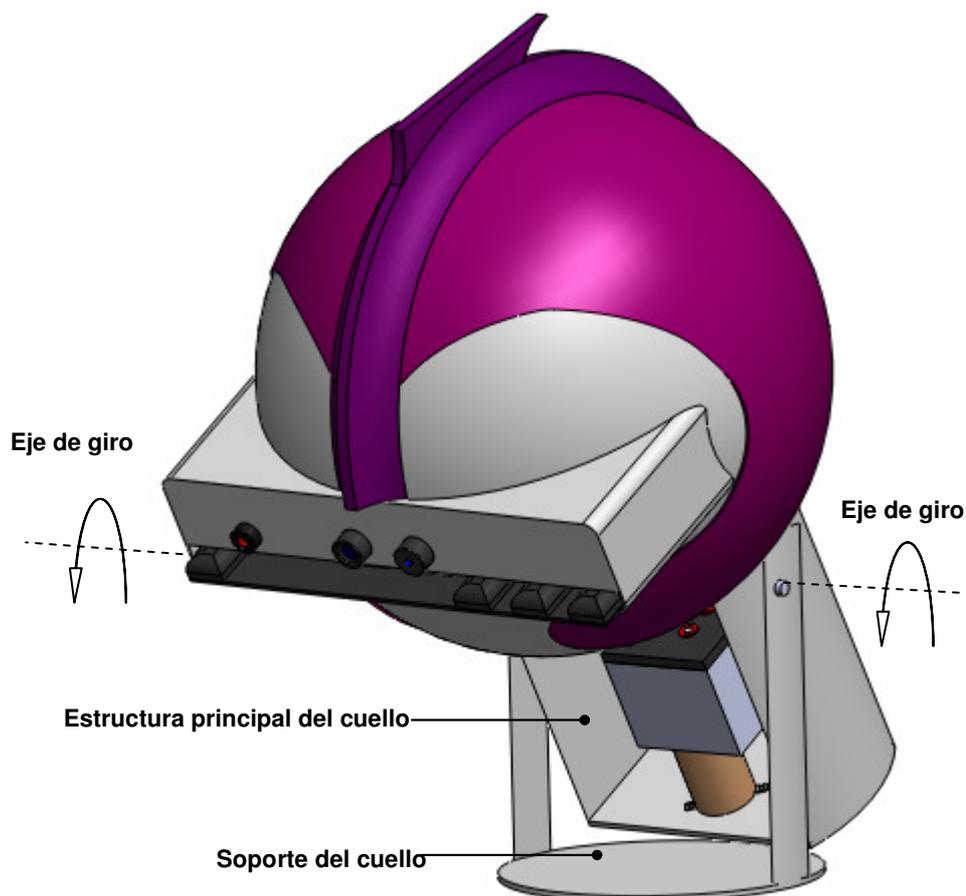
**Figura 6.2 Vista frontal de la cabeza del robot con la carcasa de la cabeza en modo visión transparente.**

En esta vista frontal del robot (Figura 6.2) al estar la cabeza en visión transparente podemos observar mejor la disposición que toma el sistema motor en el interior de la carcasa del cuello. El sistema motor 1 es el responsable del movimiento hacia adelante o hacia atrás a través del eje de salida horizontal, y el sistema motor 2 del movimiento giratorio sobre el cuello mediante el eje de salida vertical. Estos sistemas se unirán a la carcasa del cuello a través de la base de sus motores de corriente continua, la cual estará anclada con dos pequeños tornillos.

## 6.3 LOS MOVIMIENTOS DE LA CABEZA

Como es bien sabido, el robot podrá realizar dos tipos distintos de movimientos. Estos movimientos serán independientes el uno del otro, pudiéndose realizar a la vez o simultáneamente, ya que en nuestro diseño disponemos de dos sistemas motores para ello.

En el movimiento hacia adelante o hacia atrás (Figura 6.3), la cabeza y el cuello se inclinan en un sentido o en otro según seleccionemos, pivotando la estructura principal de la carcasa del cuello sobre el soporte a través del eje de salida horizontal (esto se podría conseguir con unos rodamientos acoplados al eje, y un sistema de bloqueo que mantenga la cabeza en su posición cuando el motor pare, cuestiones que dejaremos abiertas para futuros trabajos).



**Figura 6.3 La cabeza robótica inclinándose hacia adelante.**

En la anterior figura vemos como la carcasa de la cabeza y la estructura principal de la carcasa del cuello con Kinect y el sistema motor en su interior respectivamente, se

inclinan hacia adelante girando sobre el eje señalado, con el soporte del cuello permaneciendo inmóvil, fijado a un supuesto torso. Recordar que la inclinación máxima es de 45 grados.

En el movimiento giratorio sobre el cuello, únicamente la cabeza gira, permaneciendo el resto de elementos inmóviles. Esta vez la cabeza gira a través de su eje vertical, el cual sale de su encapsulado correspondiente y se une con la cabeza. El movimiento es posible gracias a la unión cabeza y cuello, mediante un rodamiento introducido en dicha unión (Véase capítulo 4).

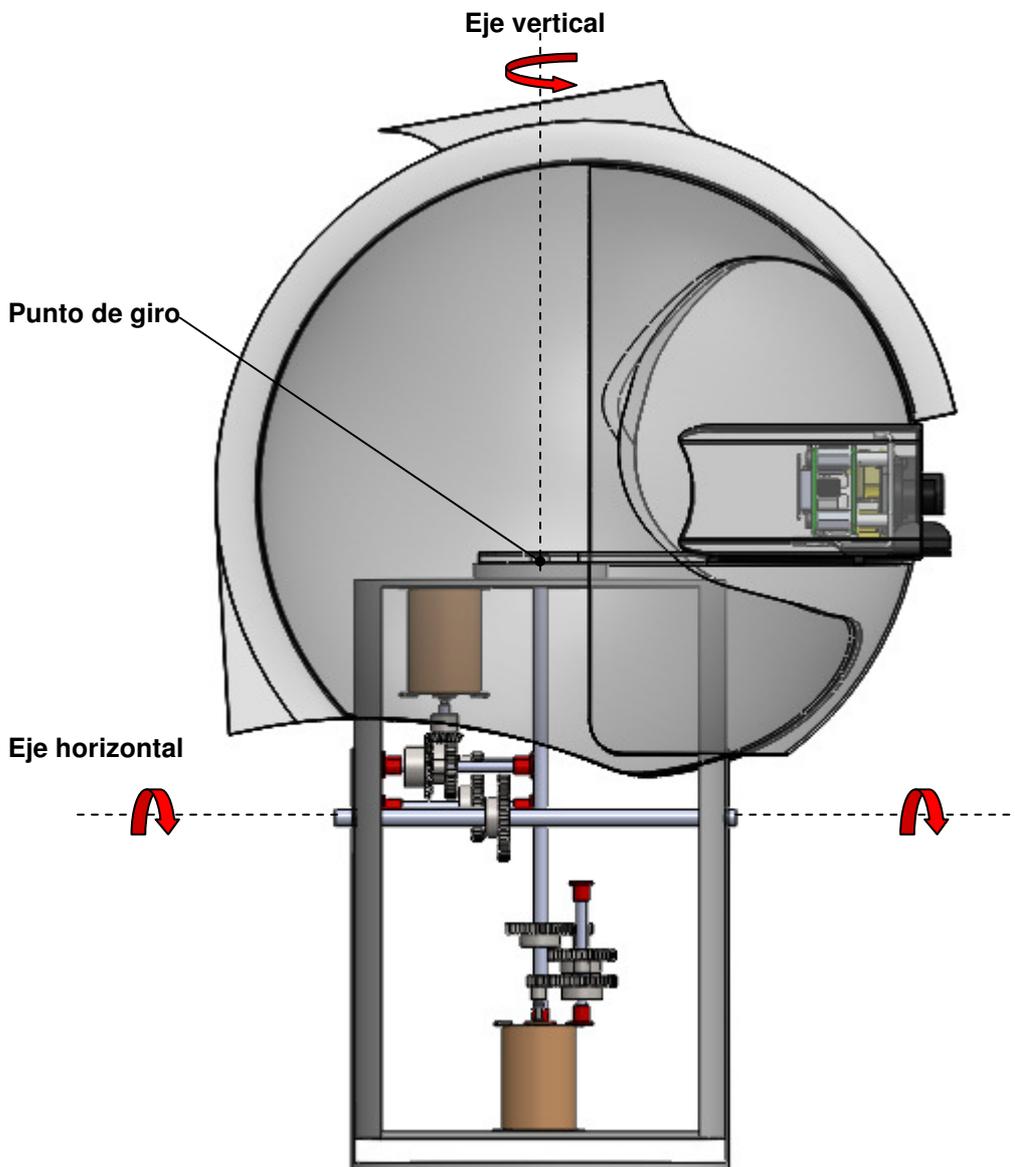
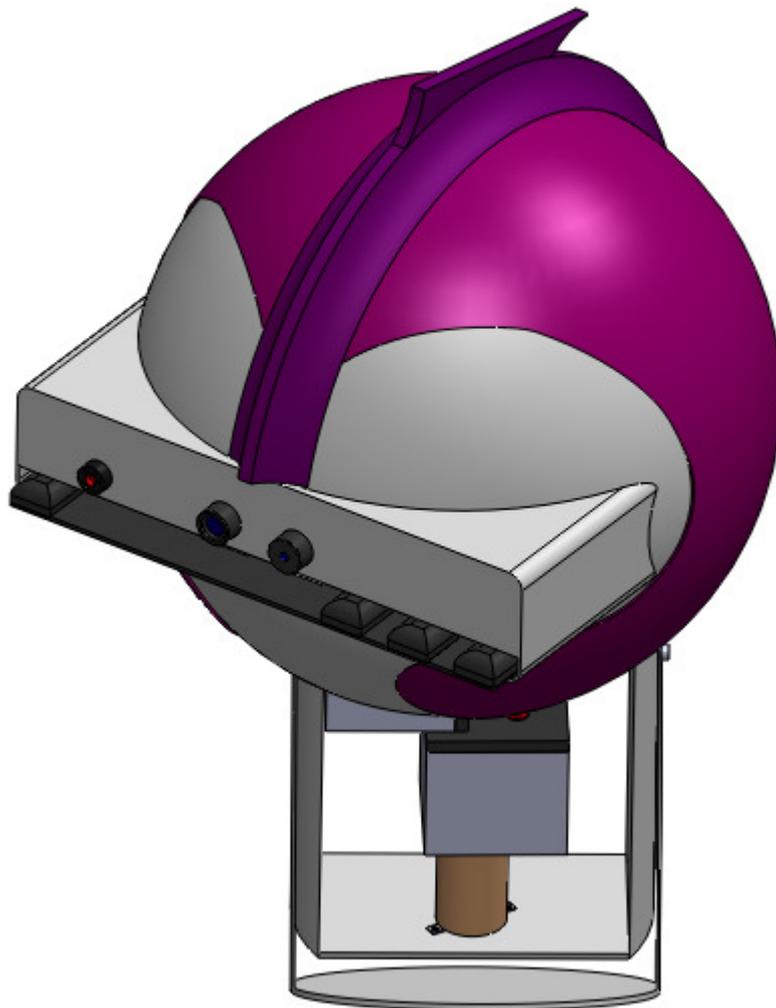


Figura 6.4 La cabeza del robot girada hacia la derecha.

En la anterior figura se muestra la cabeza del robot girada hacia la derecha, con la carcasa de la cabeza en modo visión transparente para así poder observar mejor el punto de giro de la cabeza sobre el cuello. También hemos suprimido los dos encapsulados y así apreciar como los sistemas de engranajes transmiten el movimiento. Recordamos que la amplitud del movimiento giratorio sobre el cuello (eje vertical) no tiene límites, pudiendo realizar el giro completo de 360°. Para el movimiento hacia adelante o hacia atrás (eje horizontal) el límite era de 45° para cualquiera de los dos sentidos. Para acabar este apartado y el capítulo, mostraremos una imagen del robot realizando los dos movimientos simultáneamente:



**Figura 6.5 La cabeza del robot realizando los dos movimientos simultáneamente.**

Con esta imagen del robot realizando los dos movimientos a la vez (cabeza inclinada hacia adelante y levemente girada hacia la izquierda), damos por finalizado este capítulo del proyecto.

## **7 PRESUPUESTO**

En este capítulo se muestra un presupuesto aproximado del coste del diseño de la cabeza robótica.

### **7.1 PRESUPUESTO DE COMPONENTES**

Se muestra el precio de los componentes que forman parte del diseño:

<b>Fabricante</b>	<b>componente</b>	<b>Nº unidades</b>	<b>Precio unidad (€/u)</b>	<b>Precio (€)</b>
Microsoft	Dispositivo Kinect	1	100	100
Maxon	Motor cc. A-max 22	2	47.18	94.36
RS	Rueda dentada 12 dientes	6	1.56	9.36
RS	Rueda dentada 40 dientes	5	2.46	12.30
RS	Rueda dentada 50 dientes	1	3.18	3.18
RS	Rueda cónica 40 dientes	1	3.21	3.21
RS	Rueda cónica 20 dientes	1	2.23	2.23
Igus	Cojinete Iglidur G 3mm	10	1.43	14.30
Igus	Cojinete Iglidur G 4mm	1	2.67	2.67
UC3M	Carcasas y encapsulados	-	-	50

**Total componentes.....291.61 €**



## 7.2 PRESUPUESTO DE DISEÑO

Se muestra el coste que supone el diseño realizado por el diseñador:

Concepto	Precio/Hora (€/h)	Nº horas	Precio (€)
Diseño	20	40	800

Total diseño.....800 €

## 7.3 PRESUPUESTO TOTAL

Total componentes.....291.61 €

Total diseño.....800 €

<b>Presupuesto total = 1091.61 €</b>
--------------------------------------



## **8 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

### **8.1 CONCLUSIONES**

El objetivo principal del presente proyecto era proponer un diseño para la cabeza robótica del robot TEO, utilizando y adaptando para ello, el dispositivo Kinect de Microsoft. Además, el diseño de la cabeza tenía que estar preparado para poder realizar dos tipos distintos de movimiento.

Después de haber finalizado todo el desarrollo del diseño tardando más tiempo del esperado a causa de algunos problemas de salud del que escribe estas líneas, podemos decir que los objetivos quedan cumplidos. Por una parte se desarrolló gráficamente un diseño adaptado de Kinect para que pudiera integrarse adecuadamente en el interior de la carcasa de la que cabeza que diseñamos, viéndose cumplido el objetivo de incluir e integrar satisfactoriamente el dispositivo en nuestra cabeza. Por otra parte diseñamos íntegramente un sistema motor que permitiese a la cabeza realizar dos tipos distintos de movimiento, creando a su vez para ello dos sistemas independientes compuestos principalmente por motores de corriente continua y engranajes encapsulados. Para alojar e integrar dicho sistema en nuestra cabeza robótica diseñamos una carcasa para el cuello que estuviese preparada para ello. De esta manera nuestro diseño estaría preparado para poder realizar los movimientos correspondientes.

Como conclusión final decir que es interesante poder aplicar cierta tecnología disponible en el mercado en la disciplina de la robótica, aunque inicialmente esta tecnología no estuviera pensada para ello, esta es la esencia del trabajo que nos ocupa.

### **8.2 TRABAJOS FUTUROS**

En cuanto a los posibles trabajos futuros quedan abiertos los siguientes:

- Se podría implementar un sistema de bloqueo utilizando algún tipo de sensor conectado a los motores, con el objetivo de mantener a la cabeza en la



posición alcanzada mediante sus movimientos cuando el motor pare, y que esta no pueda volver a su posición de equilibrio, o moverse lo más mínimo por efecto de la inercia.

- Especificar los elementos o componentes utilizados para el correcto movimiento de la cabeza a través de los ejes, ya sean rodamientos como se sugirió en el presente proyecto, u otra clase de componentes.
- Desarrollar una parte electrónica para controlar los movimientos de la cabeza a través de un ordenador.
- En el presente año 2015 ha salido al mercado un nuevo dispositivo Kinect, por lo tanto se podría estudiar su integración en la cabeza robótica y así aprovechar las mejores cualidades de esta evolución.



# **BIBLIOGRAFÍA**

## **Manuales**

*-Manuales y tutoriales que se incluyen dentro del propio programa Solidworks 2011.*

## **Libros**

*-El gran libro de Solidworks office professional, Sergio Gómez González, S.A. Marcombo, 2007.*

*-Mecánica Vectorial para Ingenieros. Estática. Decima edición. Russel C. Hibbeler. Pearson, 2004.*

## **Páginas web**

<http://es.rs-online.com/web/>

<http://www.maxonmotor.es/>

<http://www.igus.es/>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Relaci%C3%B3n\\_de\\_transmisi%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Relaci%C3%B3n_de_transmisi%C3%B3n)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Momento\\_de\\_fuerza](https://es.wikipedia.org/wiki/Momento_de_fuerza)

<https://es.wikipedia.org/wiki/Kinect>

<https://www.youtube.com/watch?v=aposWBGnpdE>

<https://www.ifixit.com/Teardown/Xbox+360+Kinect+Teardown/4066>

<http://www.microsoft.com/>

## **Anexos**

## **Anexo 1: Motor maxon**



## **Anexo 2: Ruedas dentadas**



## Spur Gears 0.5MOD - 20° p.a. in moulded Delrin® 500 to gear quality AGMA 7

Intermediate sizes & Special gears to drawing (tooling charges may apply)	
All dimensions in mm	
Standard tolerances, unless otherwise stated ±0.25mm. Bore tolerance +0.02 / -0.04	

Code	No. of Teeth	Pitch Ø B	Bore Ø	Hub/Boss Ø D	Outside Ø A	O/A Width F	Face Width G
DS05-12B	12	6	2	4.5	7	7	3
DS05-15B	15	7.5	2	4.5	8.5	7	3
DS05-16B	16	8	3	6	9	7	3
DS05-18B	18	9	3	6	10	7	3
DS05-20B	20	10	4	8	11	7	3
DS05-24B	24	12	4	8	13	7	3
DS05-25B	25	12.5	4	8	13.5	7	3
DS05-28B	28	14	4	8	15	7	3
DS05-30B	30	15	5	10	16	7	3
DS05-32B	32	16	5	10	17	7	3
DS05-35B	35	17.5	5	10	18.5	7	3
DS05-36B	36	18	5	10	19	7	3
DS05-40B	40	20	5	12	21	7	3
DS05-45B	45	22.5	5	12	23.5	7	3
DS05-48B	48	24	5	12	25	7	3
DS05-50B	50	25	5	12	26	7	3
DS05-56B	56	28	6	14	29	8	3
DS05-60B	60	30	6	14	31	8	3
DS05-64B	64	32	6	14	33	8	3
DS05-70B	70	35	6	14	36	8	3
DS05-72B	72	36	6	14	37	8	3
DS05-80B	80	40	6	14	41	8	3

Sintered bronze bushes (see below) are available to be used with these gears

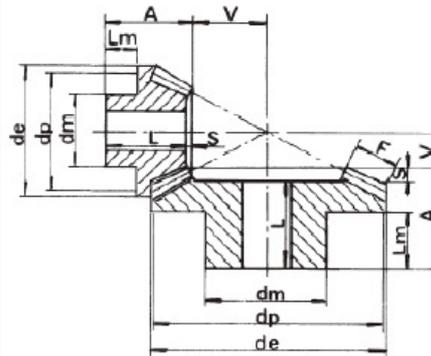
Please note : All dimensions including bore sizes subject to change.  
If a dimension is critical to your application please contact our sales department for confirmation.

## **Anexo 3 Engranajes cónicos**



## Metric Moulded Bevel Gear Sets in DELRIN® 500 0.5 to 1.0 MOD 2 : 1 Ratio

20° pressure angle  
Bore tolerance -0.02 / -0.04 mm  
Gear Quality AGMA 7  
Supplied in pairs  
Max. recommended working temperature 90°C  
Intermediate sizes & Special bevels to drawing (Tooling charges may apply)  
All dimensions in mm.  
Shaft axes to intersect within  $\pm 0.025$  mm  
Angular accuracy between shafts  $\pm 5$  mins  
Mounting distance tolerance  $\pm 0.05$  mm  
Standard tolerances, unless otherwise stated  $\pm 0.25$  mm.

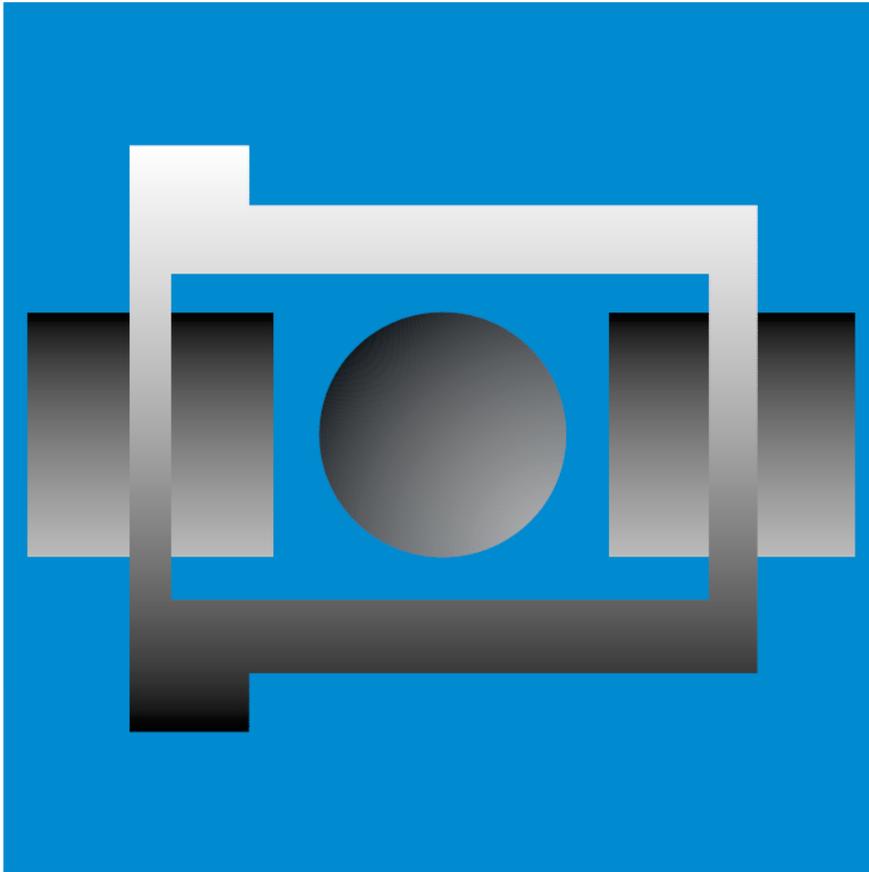


Code	Pitch Module	No teeth	Bore	dp	de	F	A + V	dm	Lm	S	A
DRB05/2	0.5	40	4	20	20.29	2.5	12	12	4	1.33	8.33
	0.5	20	3	10	11.2	2.5	16	8	4	0	9.46
DRB08/2	0.8	40	5	32	32.47	3.5	18	15	6	1.3	11.91
	0.8	20	4	16	17.92	3.5	24	12	5	0	11.5
DRB10/2	1	40	6	40	40.59	4.5	22	19	7	2.45	14.45
	1	20	5	20	22.4	4.5	30	15	7	0	14.49

[Sintered bronze bushes are available to be used with these gears](#)

Please note : All dimensions including bore sizes subject to change.  
If a dimension is critical to your application please contact our sales department for confirmation.  
for [special gears](#) or [reworked](#) gears please contact our manufacturing department.

## **Anexo 4: Cojinetes**



## iglidur® G - El que todo lo puede



Funcionamiento en seco libre de mantenimiento

Alta resistencia a la abrasión

Insensible al polvo y a la suciedad

Más de 900 medidas disponibles en el almacén

Económico

G

iglidur® G

Teléfono +34 - 936 473 950  
Fax +34 - 936 473 951

+

i

mm

pulgadas

2.1



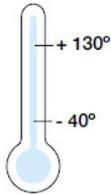
iglus®

iglidur® G

iglidur® G

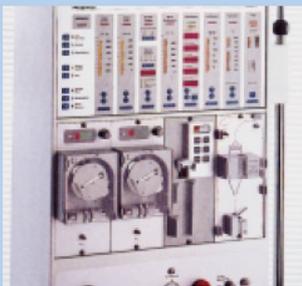
3 diferentes formas  
> 904 medidas  
ø 1 - 150 mm

Teléfono +34 - 936 473 950  
Fax +34 - 936 473 951



iglus® S.L.

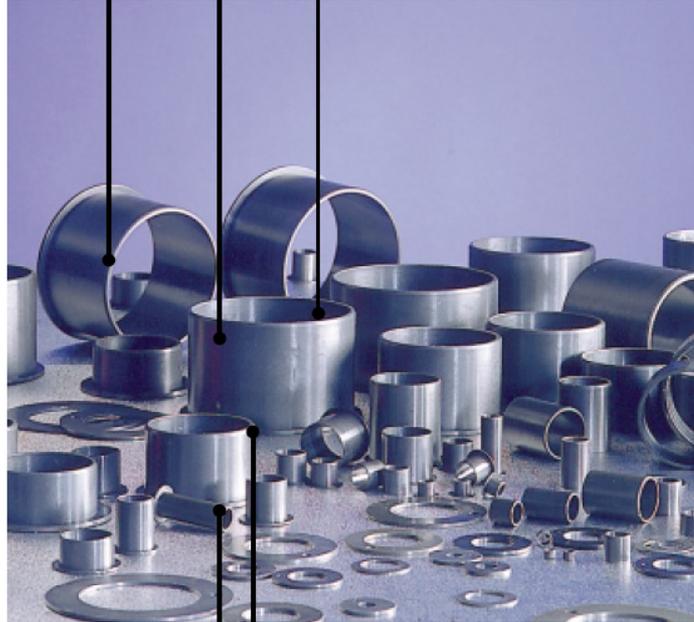
Indice de precios



Imágen 2.1: De toda confianza bajo altas cargas, resistente al desgaste con rotaciones en utilización continua

2.2

Utilizable en los casos más variados  
Funcionamiento en seco  
Económico



Insensible a la suciedad  
Insensible a las oscilaciones

### El que todo lo puede



**Cuándo utilizar cojinetes de deslizamiento iglidur® G:**

- Cuando se necesita un cojinete económico universal
- Con una carga extremadamente alta
- Con velocidades de deslizamiento de bajas a medias
- Cuando el cojinete debe ser apropiado para ejes diversos
- Para movimientos oscilantes y giratorios sencillos



**Cuándo no utilizarlos:**

- Cuando es necesario un tratamiento mecánico ulterior de las superficies de las paredes  
▶ iglidur® M250
- Cuando se requiere la máxima resistencia al desgaste  
▶ iglidur® W300
- Cuando las temperaturas están permanentemente por encima de los 130°C  
▶ iglidur® H, X, F
- Con un empleo subacuático  
▶ iglidur® H, H370

### Tabla del material

Propiedades generales	Unidad	iglidur® G	Método de prueba
Densidad	g/cm³	1,45	
Color		gris mate	
Absorción máx. de humedad a 23°C / 50% r.F.	% peso	0,70	DIN 53495
Absorción máx. de agua	% peso	4,00	
Coefficiente de fricción por deslizamiento dinámico contra el acero (μ)		0,08 - 0,15	
Valor p x v, máx. (seco)	MPa x m/s	0,42	
<b>Propiedades mecánicas</b>			
Módulo E de flexión	MPa	7800	DIN 53457
Resistencia a la flexión a 20°C	MPa	210 DIN	53452
Resistencia a la presión	MPa	78	
Presión superficial estática permitida (20°C)	MPa	80	
Dureza D Shore		81	DIN 53505
<b>Propiedades físicas y térmicas</b>			
Temperatura superior de aplicación a largo plazo	°C	130	
Temperatura superior de aplicación a corto plazo	°C	220	
Temperatura inferior de aplicación	°C	-40	
Conductibilidad térmica	[W/m x K]	0,24	ASTM C 177
Coefficiente de dilatación al calor (a 23°C)	[K <sup>-1</sup> x 10 <sup>-6</sup> ]	9	DIN 53752
<b>Propiedades eléctricas</b>			
Resistencia volúmica específica	Ωcm	> 10 <sup>13</sup>	DIN IEC 93
Resistencia superficial	Ω	> 10 <sup>11</sup>	DIN 53482

Tabla 2.1: Datos del material

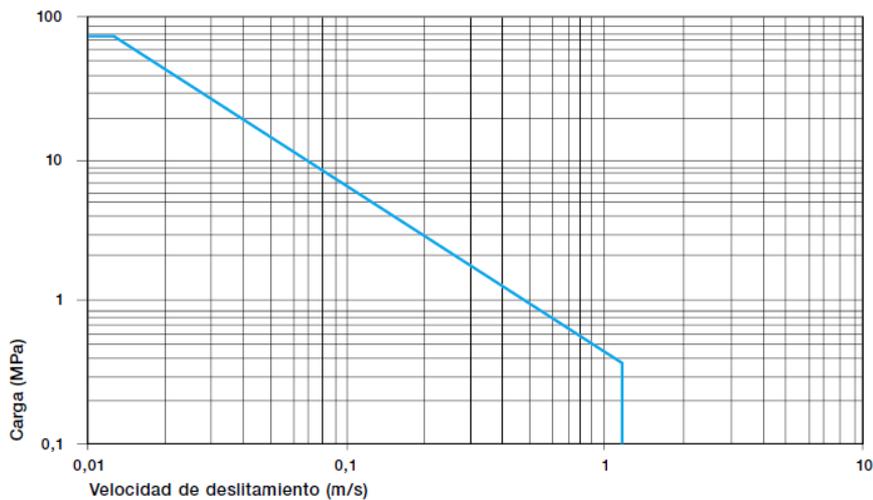


Fig. 2.1: Valores p x v permitidos para iglidur® G en funcionamiento en seco contra un eje de acero, a 20°C



Imagen 2.2: Testados 10000 ciclos con una carga de 18000 N con un desgaste inapreciable



Imagen 2.3: El accionamiento neumático de giro se emplea en conducciones de vapor con temperaturas del vapor de hasta 135°C

+
-

←
→

i

mm

↕

pulgadas

↕

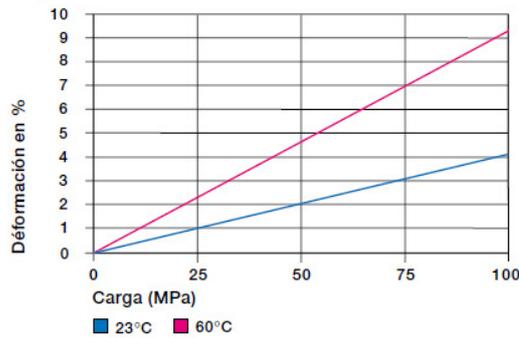


Fig. 2.2: Deformación bajo carga y temperatura



Imágenes 2.4: Vibraciones, suciedad y temperaturas hasta los 130°C caracterizan las aplicaciones en el entorno de los motores



Imágenes 2.5: Cadenas de transporte: Mediante cargas en los bordes pueden presentarse en tiempos breves presiones superficiales de más de 50 MPa

m/seg en	rotación	oscilante	lineal
permanente	1	1.5	4
breve	2	2.5	5

Tabla 2.2: Velocidad de deslizamiento máxima

iglidur® G	Temperatura de aplicación
mínima	- 40 °C
máxima, a largo plazo	+ 130 °C
máxima, a corto plazo	+ 220 °C

Tabla 2.3: Temperatura de aplicación de iglidur® G

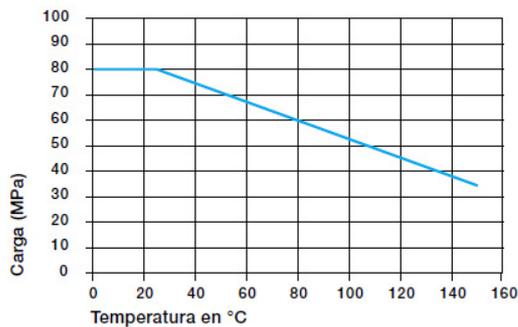


Fig. 2.3: Presión superficial permitida recomendada (estática) de iglidur® G en dependencia de la temperatura

## Resistencia a la presión

La figura 2.2 muestra la deformación elástica de iglidur® G con cargas radiales. Bajo la carga máxima admitida de 80 MPa, la deformación es de menos del 5%. La deformación plástica puede dejar de ser tomada en consideración hasta una presión de aprox. 100 MPa. Depende también, sin embargo, de la duración del influjo.

Fig. 2.2

Resistencia a la presión, pág. 1.12

## Velocidades de deslizamiento permitidas

iglidur® G ha sido desarrollado para velocidades de deslizamiento entre bajas y medias.

Los valores máximos indicados en la tabla 2.2 pueden alcanzarse sólo con pequeñas cargas de presión. Con las velocidades indicadas, debido a la fricción, puede producirse un aumento hasta el límite de la temperatura permanentemente permitida. En la práctica, debido a un efecto recíproco de influjos, no resulta siempre posible alcanzar estos valores límite.

Velocidad de deslizamiento, pág. 1.14  
Valor p x v, pág. 1.15

## Temperaturas

Las temperaturas ambiente influyen en gran medida en las propiedades de los cojinetes de deslizamiento.

La temperatura máxima breve permitida es de 220°C y hace posible así la aplicación de los cojinetes de deslizamiento iglidur® G en aplicaciones en las que los cojinetes, sin otras cargas, son sometidos, por ejemplo, a un proceso de secado de barniz.

Con temperaturas en aumento, disminuye la resistencia a la presión de los cojinetes de deslizamiento iglidur® G. La figura 2.3 clarifica esta relación. Bajo la temperatura de aplicación permitida a largo plazo de carga máxima admitida de 130°C, la presión superficial permitida queda todavía por encima de los 40 MPa.

Las temperaturas existentes en el sistema de cojinete influyen también en el desgaste del cojinete. Con temperaturas en aumento aumenta el desgaste, y la influencia resul-

ta especialmente clara a partir de una temperatura de 120°C.

☑ Fig. 2.3

► Temperaturas de aplicación, pág. 1.17

### Fricción y desgaste

Al igual que la resistencia al desgaste, dependiendo de la carga también se modifica el coeficiente de fricción  $\mu$ , también llamado simplemente factor de fricción. Es interesante la constatación de que el coeficiente de fricción se hace menor conforme aumenta la carga, en tanto que el mismo coeficiente de fricción aumenta conforme se incrementa la velocidad de deslizamiento. Esta circunstancia explica la excelente aptitud de los cojinetes de deslizamiento iglidur® G con altas cargas y velocidades reducidas (vs. figs. 2.4. y 2.5.).

La fricción y el desgaste, sin embargo, dependen también en gran medida de la parte que trabaja en sentido opuesto. Ejes demasiado lisos hacen aumentar tanto el factor de fricción como el desgaste del cojinete. Una superficie pulida con una rugosidad media de 0,8mm es la más adecuada para iglidur® G. (vs. fig. 2.6)

☑ Figs. 2.4 hasta 2.6

► Coeficientes de fricción y superficies, S. 1.19

► Resistencia al desgaste, S. 1.20

### Materiales de los ejes

Las figuras 2.7 y 2.8 presentan una muestra de los resultados de ensayos con materiales de ejes diversos, los cuales han sido llevados a cabo con cojinetes de deslizamiento hechos de iglidur® G.

En la fig. 2.7 puede comprobarse que iglidur® G puede combinarse con muchos materiales de ejes diferentes. Con cargas reducidas, los que mejor se han acreditado son los materiales simples acero automático y St37. Esto es una ayuda para la construcción de sistemas de cojinetes económicos, pues tanto iglidur® G como también la otra parte deslizante se encuentran en el extremo inferior de la banda de precios.

En este contexto es importante reparar en que conforme aumentan las cargas también aumen-

iglidur® G	seco	grasa	aceite	agua
C. d. f. ( $\mu$ )	0,08 - 0,15	0,09	0,04	0,04

Tabla 2.4: Coeficientes de fricción para iglidur® G contra acero (Ra = 1 mm, 50 HRC)

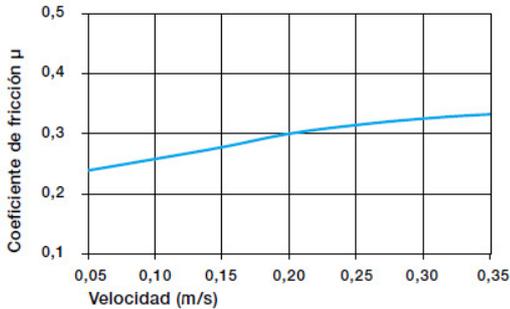


Fig. 2.4: Coeficientes de fricción de iglidur® G en dependencia de la velocidad de deslizamiento;  $p = 0,75$  MPa

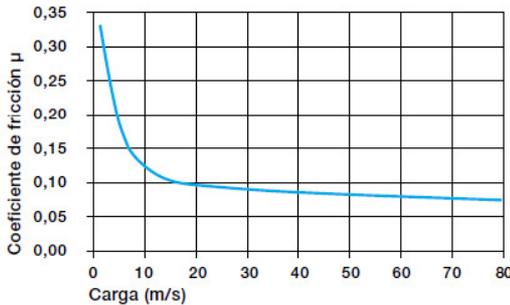


Fig. 2.5: Coeficientes de fricción de iglidur® G en dependencia de la carga

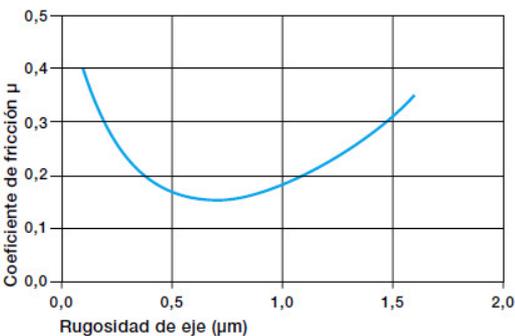


Fig. 2.6: Coeficiente de fricción en dependencia de la superficie del eje (eje CF 53)

G

iglidur® G

Teléfono +34 - 936 473 950  
 Fax +34 - 936 473 951

+  
-

i

mm

pulgadas

2.5



igidur® G

Teléfono +34 - 936 473 950  
Fax +34 - 936 473 951

igus® S.L.

Internet www.igus.es  
email info@igus.es

2.6

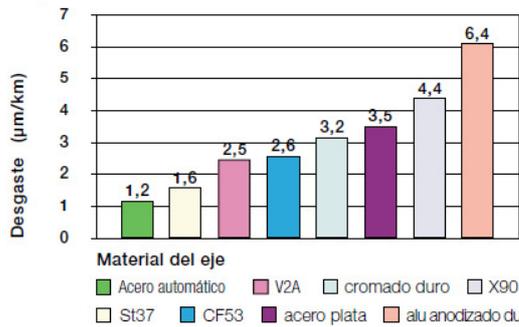


Fig. 2.7: Desgaste de iglidur® G, en rotación con diversos materiales de eje, carga p = 0,75 MPa, v = 0,5 m/s

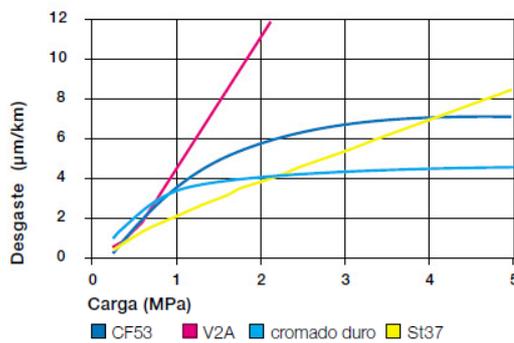


Fig. 2.8: Desgaste con diferentes materiales de eje en servicio rotatorio, dependiente de la carga

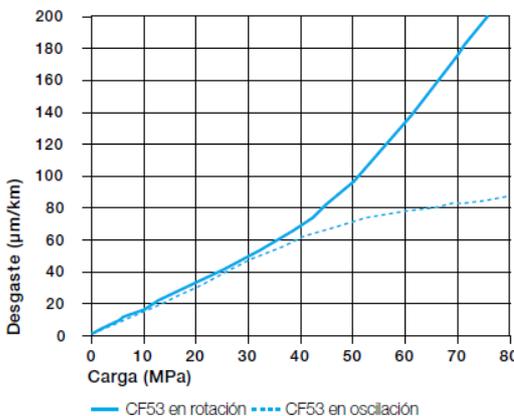


Fig. 2.9: Desgaste con aplicaciones oscilantes y rotatorias con material de eje CF53, dependiente de la carga

ta la dureza recomendada de los ejes. Los ejes "blandos" tienden más al desgaste propio y aumentan así el desgaste de la totalidad del sistema cuando las cargas sobrepasan los 2 MPa. Se puede comprobar bien que la tasa de desgaste (la inclinación de las curvas) decrece cuando la parte que trabaja en sentido opuesto es dura.

La comparación entre movimientos rotatorios y oscilantes muestra que iglidur® G puede ser empleado con ventaja con movimientos oscilantes. El desgaste del cojinete es por lo demás menor con el resto de las condiciones iguales. Cuanto mayor la carga, tanto mayor resulta la diferencia. Esto conduce incluso tan lejos, que con movimientos oscilantes los cojinetes de deslizamiento iglidur® G pueden ser empleados aún mucho más por encima de la carga máxima indicada de 80 MPa. Con estas cargas se recomienda la utilización de ejes endurecidos.

Aparte de los materiales aquí mostrados han sido investigados también muchos otros. En caso de que el material de eje previsto por usted no se encuentre entre los aquí presentados, póngase por favor en contacto con nosotros.

Fig. 2.7 hasta 2.9

► Materiales de los ejes, pág. 1.22

### Tolerancias de montaje

Los cojinetes de deslizamiento iglidur® G son cojinetes estándar para ejes con tolerancia h (mínimo recomendado h9). Después del montaje en una perforación de alojamiento con la tolerancia H7, el diámetro interior del cojinete se ajusta por sí mismo en la tolerancia E10.

► Procedimiento de ensayo, S. 1.27

### Resistencia a productos químicos

Los cojinetes de deslizamiento iglidur® G tienen una buena resistencia a los productos químicos. Son resistentes a la mayoría de las sustancias lubricantes.

igidur® G no es atacado por la mayoría de los ácidos débiles, ya sean orgánicos o inorgánicos. La absorción de humedad de los cojinetes de deslizamiento iglidur® G es de aprox. 1% en un clima normal. El límite de saturación dentro del agua es de 5%. Ello debe ser tenido en cuenta con las condiciones de aplicación correspondientes.

Fig. 2.10

Tabla de productos químicos, pág. 35.1 y sigs.

### Radioactividad

Los cojinetes de deslizamiento de iglidur® G son resistentes a la radiación hasta una intensidad de  $3 \times 10^2$  Gy.

### Resistencia a la luz ultravioleta

Los cojinetes de deslizamiento iglidur® G son permanentemente resistentes a la radiación ultravioleta.

### Vacío

En el vacío, los cojinetes de deslizamiento iglidur® G emanan gases. La aplicación en el vacío sólo es posible para cojinetes secos.

### Propiedades eléctricas

Los cojinetes de deslizamiento iglidur® G son aislantes a la electricidad.

### Ejemplos de aplicación



Imágen 2.7: Los cojinetes de deslizamiento iglidur® G se acreditan en palancas de mando y pedales de tractores de labranza y vehículos de construcción



Imágen 2.8: En las válvulas de aspiración de las máquinas fresadoras se produce una extrema densidad de polvo

Diámetro d1 (mm)	eje h9 (mm)	igidur® G E10 (mm)
hasta 3	0 - 0.025	+0.014 + 0.054
de 3 a 6	0 - 0.030	+0.020 + 0.068
de 6 a 10	0 - 0.036	+0.025 + 0.083
de 10 a 18	0 - 0.043	+0.032 + 0.102
de 18 a 30	0 - 0.052	+0.040 + 0.124
de 30 a 50	0 - 0.062	+0.050 + 0.150
de 50 a 80	0 - 0.074	+0.060 + 0.180
de 80 a 120	0 - 0.087	+0.072 + 0.212
mayor de 120	0 - 0.100	+0.085 + 0.245

Tabla 2.5: Tolerancias importantes para cojinetes de deslizamiento iglidur® G después del montaje a presión

Medio	Resistencia
Alcoholes	resistente
Hidrocarburos clorados	resistente
Ester	no resistente
Grasas, aceites	resistente
Cetonas	condicionalmente resistente
Combustibles	resistente
Ácidos débiles	resistente
Ácidos fuertes	no resistente
Lejías débiles	resistente
Lejías fuertes	resistente

Tabla 2.6: Resistencia a los productos químicos de iglidur® G - para lista detallada vs. página 35.1 y sigs.

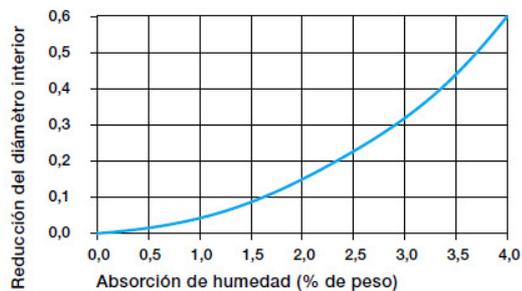


Fig. 2.10: Influencia de la absorción de humedad de los cojinetes de deslizamiento iglidur® G

igidur® G	
Resistencia	
volúmica específica	$> 10^{13} \Omega \text{cm}$
Resistencia superficial	$> 10^{11} \Omega$

Tabla 2.7: Propiedades eléctricas de iglidur® G



Imágen 2.6 : En test bajo altas fuerzas radiales distancia de 3000 km sin desgaste apreciable

Controles de navegación: +, -, flechas, información (i), unidades (mm, pulgadas).