



## RESUMEN

---

# TECNOLOGÍA DE MÁQUINAS BLOQUEI

---

### **Autor**

LEÓN PITA Pedro

Este documento es un resumen de la parte de la asignatura de diseño y robótica hasta la prueba del 17 oct 2017. No se recomienda usarlo como único soporte para el estudio. Cualquier errata, comentario o añadido, enviar el PDF comentado a [pleonpita@gmail.com](mailto:pleonpita@gmail.com), gracias.

Última actualización 16 de octubre de 2017

# Índice

<b>I</b>	<b>Introducción</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Conceptos básicos</b>	<b>3</b>
1.1	Definición . . . . .	3
1.2	Proceso de desarrollo vs proceso de diseño . . . . .	3
1.3	Características generales del Proceso de diseño . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Modelo de French</b>	<b>4</b>
2.1	Una necesidad . . . . .	4
2.2	Filosofías de diseño . . . . .	4
2.3	Diseño conceptual . . . . .	5
2.4	Ingeniería del producto . . . . .	5
<b>II</b>	<b>Fases de diseño</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Definición de los requisitos</b>	<b>7</b>
3.1	Resumen del proyecto, Project Brief . . . . .	7
3.2	Especificación de diseño, Pliego de condiciones . . . . .	7
3.3	Matrices de decisión . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Establecimiento de la estructura funcional</b>	<b>9</b>
4.1	Límites del sistema . . . . .	10
<b>5</b>	<b>Diseño conceptual</b>	<b>11</b>
5.1	Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) . . . . .	11
5.2	Matriz de despliegue de calidad (QFD) . . . . .	12
<b>6</b>	<b>Diseño preliminar, dimensional y detallado</b>	<b>13</b>
6.1	Modelado de sistemas . . . . .	13
6.2	Failure Models and Effects Analysis . . . . .	13

<b>III</b>	<b>Introducción</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>Definiciones</b>	<b>14</b>
7.1	Articulaciones . . . . .	14
7.2	Alcance . . . . .	14
<b>8</b>	<b>Tipos de robots</b>	<b>15</b>
8.1	Geometría . . . . .	15
8.2	Método de control . . . . .	15
8.3	Función . . . . .	16
<b>IV</b>	<b>Mecánica de un robot</b>	<b>17</b>
<b>9</b>	<b>Álgebra de Matrices</b>	<b>17</b>
9.1	Sistema de coordenadas . . . . .	17
9.2	Transformaciones . . . . .	17
9.3	Sistema de la mano . . . . .	18
9.4	Posición y orientación espacial . . . . .	18
<b>10</b>	<b>Cinemática directa, Denavit-Hatenberg</b>	<b>19</b>
10.1	Asiganción de sistemas de coordenadas . . . . .	19
10.2	Asignación de parámetros . . . . .	19

## Parte I

# Introducción

## 1. Conceptos básicos

### 1.1. Definición

"Diseño es una actividad interactiva con múltiple toma de decisiones, que toma información científica y tecnológica para producir un sistema, dispositivo o proceso, con el objetivo de resolver un problema o satisfacer una necesidad. Asimow, 1962.

### 1.2. Proceso de desarrollo vs proceso de diseño

- **Proceso de desarrollo del producto:** entender la oportunidad, desarrollar el concepto, implementar el concepto.
- **Proceso de diseño:** desarrollo del nuevo concepto, adecuación del producto a su especificación técnica, desarrollo de la ingeniería del producto. No incluye: actividades de negocio, ni financieras, ni marketing, ni distribución.

### 1.3. Características generales del Proceso de diseño

- Es un proceso de toma de decisiones tecnológicas dirigido por múltiples criterios de evaluación.
- Requiere información de varias disciplinas, y normalmente es incompleta. Además no toda la información es cuantitativa.
- Al principio muestra un alto nivel de incertidumbre y se inicia con un problema o necesidad.
- Rara vez se llega a una solución aceptable a la primera, es un proceso iterativo. Generalmente se puede obtener más de una solución.

## 2. Modelo de French

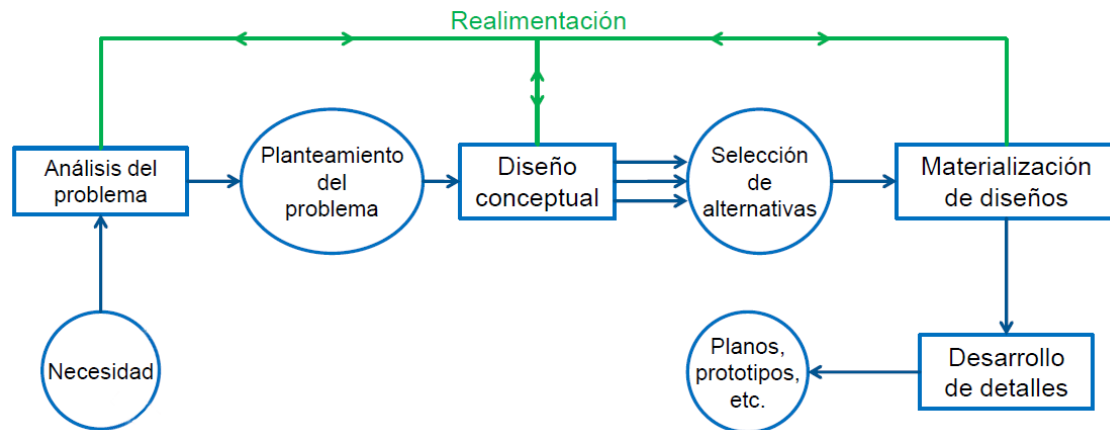


Figura 1: Modelo de French (1985) del Proceso del Diseño

### 2.1. Una necesidad

En una primera etapa, nuestro producto tiene que responder a una necesidad o problema. Para ello analizamos las oportunidades de mercado, las necesidades del cliente y el mercado. Un ejemplo de oportunidad de mercado puede ser la aparición de nuevos mercados como por ejemplo las aplicaciones móviles o los puntos de carga para coches eléctricos.

Las necesidades del cliente se pueden dividir en función de 3 parámetros:

- **Directa - Latente:** la expresa abiertamente o no.
- **Constante - Variable:** propia al producto o susceptible a los cambios.
- **General - Nicho:** aplicable a todos los clientes o a un segmento.

Llamamos análisis competitivo al estudio del mercado: competidores, barreras de entrada, demanda, estado del arte, canales de venta y expertos.

### 2.2. Filosofías de diseño

Una vez establecido el enunciado del problema o las necesidades podemos responder a estas con diferentes filosofías o formas de resolver el problema. Como por

ejemplo, un diseño sostenible sería aquel que permita reparar el producto fácilmente o que sus piezas fueran reutilizables.

- DFM - Diseño para fabricación
- DFaM - Diseño para fabricación aditiva (impresión 3D)
- DFA - Diseño para Montaje
- Diseño para Sostenibilidad
- Diseño para Excelencia
- Diseño para Ventaja Competitiva
- Diseño Concurrente
- Diseño robusto

## 2.3. Diseño conceptual

El diseño conceptual debe respetar los requerimientos externos, por ejemplo, una funda de un móvil debe respetar las dimensiones de este. Además de respetar la estrategia de la empresa en cuanto a su gestión de portfolio. Las distintas filosofías de portfolio son:

- **Fija y no compartida:** cada producto es único.
- **De plataforma:** comparten componentes. Dentro de esta diferenciamos: de coste reducido, extensiones de línea de productos, productos mejorables, productos escalables y productos estandarizados.
- **De personalización masiva:** de menor a mayor personalización tenemos: *fabriacte-to-fit*, *adjustable-for-purchase*, *adjustable-for-use*.

Las técnicas de diseño conceptual están explicadas en el tercer apartado de Fases de diseño.

## 2.4. Ingeniería del producto

Englobando las etapas de selección de alternativas, la materialización de diseños, el desarrollo de detalles y los planos y prototipos del Modelo de French, hablamos

de la ingeniería del producto en general. Tras el diseño conceptual ya hemos hecho los bocetos de nuestro producto y es momento de pasar a cosas serias. Este paso esta detallado en el apartado cuarto de Fases del diseño, como diseño preliminar, dimensional y detallado.

Hablamos de **PLM** (Product Lifecycle Management) como el apoyo a la creación colaborativa, gestión, difusión y uso de la información de definición del producto en toda la empresa. Un buen producto no es el que estás haciendo bien en ese momento sino el que más tarde vas a poder modificar de la forma más fácil.

## Parte II

# Fases de diseño

### 3. Definición de los requisitos

#### 3.1. Resumen del proyecto, Project Brief

La redacción de este documento se realiza tras un primer cuestionario de atributos de diseño. Además, contiene las condiciones de control que permiten detectar las especificaciones técnicas prioritarias de las que dependen el resto de especificaciones de diseño.

#### 3.2. Especificación de diseño, Pliego de condiciones

En este documento quedan detallados de forma precisa los atributos de diseño. Estos se pueden clasificar en:

- **Atributos Generales:** apariencia, coste, versatilidad, fiabilidad, seguridad, funcionalidad y calidad
- **Atributos Particulares:** según las necesidades del sistema
- **Atributos Obligatorios:** satisfacen a todos los usuarios
- **Atributos Opcionales:** segundo rango, a incluir si no hay conflicto con los obligatorios

Funcionalidad vs calidad: la funcionalidad es la capacidad de cumplir su misión adecuadamente mientras que la calidad es la capacidad de cumplir con los requisitos establecidos.



### 3.3. Matrices de decisión

Como su propio nombre indica, estas matrices permiten *decidir* qué atributos son más importantes en el diseño. Es recomendable practicar con ellas antes del examen ya que un ejercicio práctico de diseño es básicamente hacer una.

Existen dos tipos de matrices de decisión: matriz ascendente binaria y matriz ascendente centesimal. La centesimal compara todos los atributos respecto a un atributo base mientras que la binaria compara todos con todos pero pierde en precisión porque solo indica si un atributo es más o menos importante pero no cuánto.

Atributo	1- Barata	2- Fácil de usar	3- "Fotos a la primera"	4- Fácil de sujetar...	5- Larga duración...	6- Ligera
1- Barata	-	1	0	0	1	1
2- Fácil de usar	0	-	1	1	0	0
3- "Fotos a la primera"	1	0	-	1	1	1
4- Fácil de sujetar, estable	1	0	0	-	1	1
5- Larga duración de batería	0	1	0	0	-	1
6- Ligera	0	1	0	0	0	-
<b>Totales</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Orden</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

Figura 2: Ejemplo de matriz ascendente binaria de una cámara

Para rellenar la matriz colocamos todos los atributos como filas y columnas. Para cada atributo, en su columna tomará valor 1 si es más importante que el atributo fila y 0 si no. En su fila, tomará valor 0 si es más importante y 1 si no. Como se puede ver, es más lógico rellenar la tabla por columnas.

Una vez la tabla esta completa, sumamos las columnas y ordenamos de mayor a menor en orden de mayor a menor importancia. En caso de empate, comparamos los atributos individualmente.

Atributo	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	Factor	Capacidad
1- Barata	40%	60%	70%	30%	10%	1.000	0.067
2- Fácil de usar	60%	-	-	-	-	1.500	0.100
3- “Fotos a la primera”	-	40%	-	-	-	0.667	0.045
4- Fácil de sujetar estable	-	-	30%	-	-	0.429	0.029
5- Larga duración de batería	-	-	-	70%	-	2.333	0.156
6- Ligera	-	-	-	-	90%	9.000	0.603
<b>Totales</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>14.929</b>	<b>1.000</b>

Figura 3: Ejemplo de matriz ascendente centesimal de una cámara

En el ejemplo comparamos todos los atributos con el atributo barata. Por columnas vemos el porcentaje de importancia de ser barata y el porcentaje del otro atributo. Para calcular los factores de cada atributo suponemos el atributo de base con un factor de 1. El factor de *Fácil de usar* sería  $1 * \frac{60\%}{40\%} = 1,5$ . Una vez tenemos todos los factores, dividimos cada uno por la suma total, por tanto, un atributo será más importante cuando más se acerque a la unidad.

## 4. Establecimiento de la estructura funcional

Los objetivos principales son determinar las condiciones de entrada y salida del diseño mediante su representación en forma de caja negra. Una vez descomponemos esta caja negra en funciones más sencillas establecemos los principios tecnológicos y procesos técnicos requeridos para resolver el problema.

Las entradas y salidas del sistema se puede clasificar en: materia, energía e información.

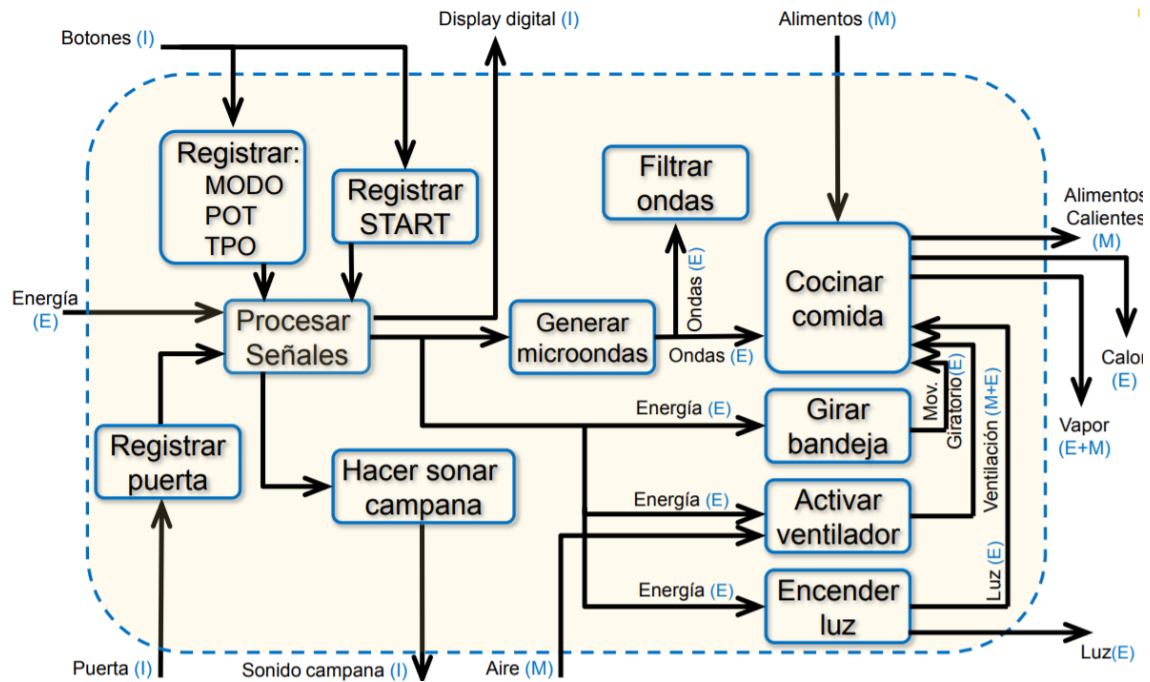


Figura 4: Ejemplo microondas moodle

Es importante saber que una estructura funcional no debe ser temporal. Porque un proceso se encuentre más a la derecha no significa que vaya a ocurrir al final de la cadena.

#### 4.1. Límites del sistema

##### ■ Fundamentales:

- **Materiales:** fuentes de energía, materiales y equipos
- **Tiempo y coste** de ejecución del proyecto
- **Espacio**

##### ■ Recursos secundarios:

- **Legales:** sobre requerimientos
- **Sociales:** códigos establecidos de comportamiento y creencias
- **Ecológicos:** protección del ambiente

## 5. Diseño conceptual

Recopilamos toda la información obtenida hasta ahora: *necesidades* de los clientes, las especificaciones de ingeniería del *pliego de condiciones* y la descomposición de funciones del producto de la *estructura funcional*. Con ello generamos un conjunto de soluciones y variantes lo más amplio posible. ¡No buscamos una solución única aún!

Los métodos para la generación de ideas pueden ser inductivos o discursivos. Y son: Brainstorming, Mapa de memoria, Brain-Writing, TRIZ y el método del *¿Por qué?*.

- **Brainstorming:** presencia de un líder, 5-15 personas sin presencia de expertos o jerarquía establecida.
- **Mapa de memoria:** deja plasmado en un diagrama los centros neurálgicos del problema y para cada uno los parámetros afectados.
- **Brain-wirting:** 6 personas plasman tres soluciones en un papel individual y estos rotan por todos los miembros, sufriendo modificaciones.

### 5.1. Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)

Se basa en la hipótesis de que existen patrones de solución de problemas y patrones de evolución tecnológica que se repiten.

- Dos categorías que no muestran innovación en la tecnología:
  - Adelantos paramétricos básicos.
  - Cambios de configuración.
- Tres categorías que incluyen soluciones inventivas:
  - Conflictos resueltos con principios físicos conocidos.
  - Identificación de nuevo principios.
  - Identificación de nuevas funciones de productos que se resuelven con principios nuevos o ya conocidos.

## 5.2. Matriz de despliegue de calidad (QFD)

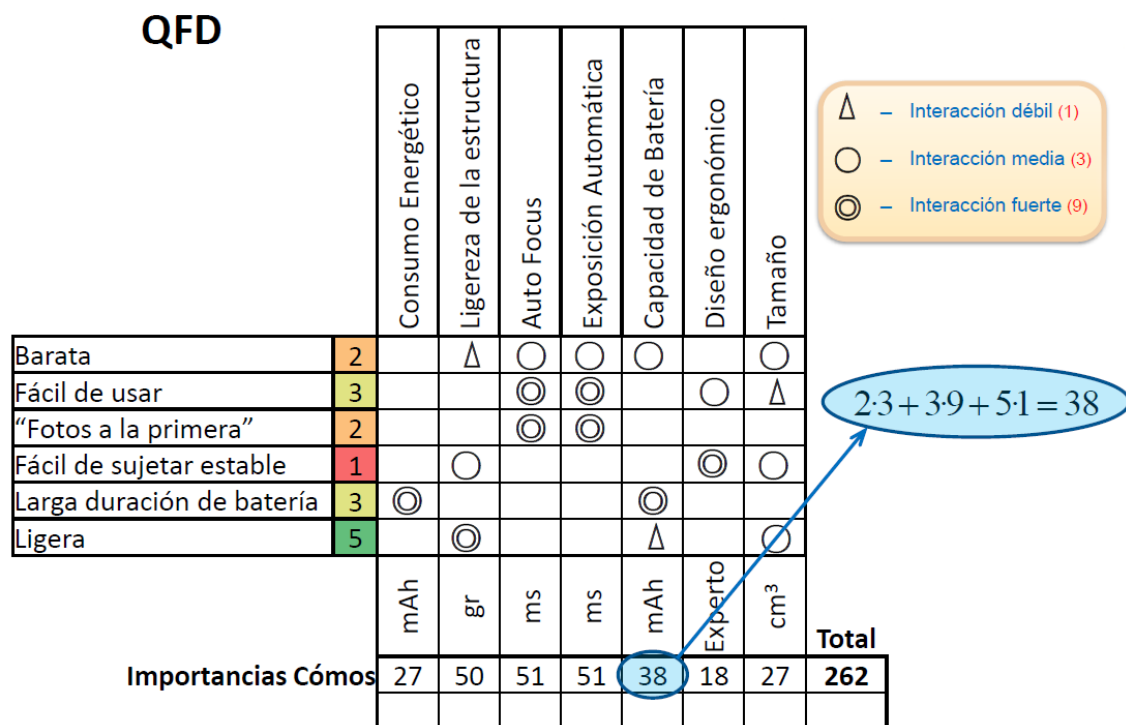


Figura 5: Ejemplo de matriz de despliegue de calidad de una cámara

En esta matriz se representa la relación entre los atributos de diseño y los parámetros técnicos a decidir en el diseño. Solo hay tres niveles de correlación: triángulo o interacción débil, círculo o interacción media y círculo doble o interacción fuerte. Para obtener las importancias es necesario haber realizado previamente la matriz centesimal.

Podemos usar esta matriz para escoger entre dos alternativas de diseño. Primero, para cada alternativa le damos un valor entre malo/medio/bueno (0,0.5,1) a los parámetros de ingeniería. Después, calculamos la suma de los productos de las importancias con estos nuevos factores y finalmente, escogemos la alternativa con mayor resultado.

## 6. Diseño preliminar, dimensional y detallado

El diseño preliminar indica la distribución global de espacios con modelos/planos básicos, identificación de los principales módulos funcionales y localización de su posición en el sistema. Mientras que los diseños dimensional y detallado contiene los componentes necesarios, su dimensionado en detalle, listas de materiales y planos de conjunto y despiece.

### 6.1. Modelado de sistemas

- **Paso 1:** flujo de materia, energía o información asociado al producto.
- **Paso 2:** relación de equilibrio y precisión.
- **Paso 3:** condiciones de contorno.
- **Paso 4:** convertir la relación de equilibrio en una forma matemática.
- **Paso 5:** mejora la capacidad predictiva.
- **Paso 6:** trabajar con experimentos y modelos físicos.

### 6.2. Failure Models and Effects Analysis

- **Paso 1:** listado de **subconjuntos** y componentes del sistema.
- **Paso 2:** lista de **fallos** potenciales de cada uno.
- **Paso 3:** listado de posibles **causas** del fallo.
- **Paso 4:** listado de **efectos** del fallo.
- **Paso 5:** probabilidad de ocurrencia (O) del fallo del 1-10.
- **Paso 6:** potencial severidad (S) del fallo del 1-10.
- **Paso 7:** listado de controles/tests para detectar (D) el fallo.
- **Paso 8:** factor de prioridad de riesgo.

$$FPR = S * O * D$$

- **Paso 9:** designar responsables y acciones de mejora.
- **Paso 10:** acciones correctivas y actualizar los FPR.

## Parte III

# Introducción

## 7. Definiciones

“Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas”, Robot Industries Association.

### 7.1. Articulaciones

Las articulaciones están encargadas de unir los eslabones del robot y existen varios tipos en función de sus grados de libertad. En robótica solo vamos a usar articulaciones de 1 gdl.

- **De revolución o rotacionales:** que permiten únicamente el **giro** entre dos eslabones.
- **Prismáticas o de deslizamiento:** que permiten únicamente el **desplazamiento lineal** entre dos eslabones.
- **De tornillo:** permiten un giro y una traslación relacionadas por el ángulo de una hélice. Se utiliza muy raramente.

### 7.2. Alcance

Existen dos tipos de alcance en función de las capacidades del robot en dicho punto. Por tanto, se distinguen dos tipos de espacios.

- **Totalmente accesible:** si el terminal del manipulador puede situarse en él, en todas las orientaciones que su construcción mecánica le permite. Su conjunto se denomina espacio de trabajo total.
- **Parcialmente accesible:** si se puede situar en él pero no en todas sus orientaciones. Su conjunto se denomina espacio de trabajo parcial.

Existen tres razones por las cuáles un robot no pueda alcanzar un punto:

- Geométrica: el punto está demasiado alejado.
- Mecánica: los enlaces del robot chocan.
- Constructiva: límites de fábrica.

Se denomina un **punto singular** aquel que es accesible aunque implica ciertas dificultades.

## 8. Tipos de robots

### 8.1. Geometría

- **Cartesianos** (voladizo/pórtico): las articulaciones hacen desplazar linealmente una pieza sobre otra.
- **Cilíndricos**: tienen un eje de revolución y dos lineales.
- **SCARA**: dos articulaciones de revolución excéntricas y una lineal paralela a ellas.
- **Esféricos**(Standford): su comportamiento se asemeja a las coordenadas esféricas.
- **Antropomórficos**(PUMA): anatomía de un brazo humano.
- **Paralelos**

### 8.2. Método de control

- **No servo-controlados**: cada articulación tiene un **número fijo de posiciones** con topes y sólo se desplazan para fijarse en ellas.
- **Servo-controlados**: cada articulación tiene un sensor de posición. Se pueden parar en **cualquier punto** deseado.
- **Servo-controlados punto a punto**: para controlarlos solo se indican el punto inicial y final.



### 8.3. Función

- **De producción:** de manipulación, de fabricación, de ensamblado y de test.
- **De exploración:** obtención de datos de terreno desconocido.
- **De rehabilitación:** de prolongación anatómica o sustitución completa.

## Parte IV

# Mecánica de un robot

## 9. Álgebra de Matrices

### 9.1. Sistema de coordenadas

Hablaremos simplemente de **sistema** cuando el sistema de coordenadas sea ortogonal (ejes perpendiculares) y dextrógiro (el tercer eje es el producto vectorial de los otros dos). Las coordenadas de un punto **P** son **(x,y,z)** que son las proyecciones perpendiculares a cada eje.

### 9.2. Transformaciones

Hablamos de traslación y rotación como únicas transformaciones. Para pasar de un sistema de coordenadas a otro es necesario multiplicar por una matriz de transformación **T** que tendrá en cuenta estos dos efectos.

$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{ux} & i_{vx} & i_{wx} & a_x \\ i_{uy} & i_{vy} & i_{wy} & a_y \\ i_{uz} & i_{vz} & i_{wz} & a_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_u \\ p_v \\ p_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$P_{xyz} = \mathbf{T} \cdot P_{uvw}$$

Los vectores  $p_i$  representan las coordenadas en los sistemas **xyz** (o de salida) y **uvw** (o de llegada) respectivamente. Dentro de la matriz de transformación encontramos una acción de rotación (submatriz  $i_{jk}$ ) y otra de traslación (vector  $a_i$ ).

$$\vec{i}_u = (i_{ux} \cdot \vec{i}_x + i_{uy} \cdot \vec{i}_y + i_{uw} \cdot \vec{i}_z)$$

Para calcular la transformación inversa, de **uvw** a **xyz** podemos calcular la inversa de la matriz de la forma matemática o aplicar las características propias a

una matriz de rotación. Sabiendo que la inversa de una matriz de rotación es su traspuesta necesitamos transponer las componentes  $i_{jk}$  para invertir la acción de rotación.

Ahora, para invertir la acción de traslación sabemos que el vector  $(a_x, a_y, a_z)$  es el vector desde el origen del sistema **xyz** al origen del sistema **uvw**, por tanto para invertirlo basta con calcular el vector opuesto.

$$(a_u, a_v, a_w) = (-a_x, -a_y, -a_z)$$

- **Rotación:** para rotar una coordenada es suficiente con conocer la matriz de rotación. De esta matriz sabemos que su inversa es su traspuesta y que sus filas son las coordenadas de los vectores unitarios del sistema de partida ( $xyz$ ) expresados en el sistema de llegada ( $uvw$ ). Las matrices de rotación elementarias de los ejes x ( $\alpha$ ), y ( $\theta$ ), z ( $\psi$ ) son respectivamente:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- **Traslación:** para trasladar un punto es suficiente con conocer el vector de traslación, expresado en la matriz de transformación como los elementos  $a_i$ .

### 9.3. Sistema de la mano

Llamamos mano al último eslabón de nuestro manipulador. Su sistema de coordenadas solidario recibe un nombre particular, **nsa**.

- $\vec{a}$  dirección de acción, **z**.
- $\vec{s}$  dirección de agarre, **y**.
- $\vec{n}$  triedro dextrógiro, **x**.

### 9.4. Posición y orientación espacial

Para determinar un objeto es necesario conocer su posición y orientación. Por tanto, hablamos de 6 parámetros, 3 de posición  $xyz$  y 3 de orientación ( $E_x E_y E_z$ )

llamados ángulos de Euler, en robótica se denominan **yaw**(Y), **pitch**(P) y **roll**(R). Para determinar estos ángulos usaremos la atan2 que a diferencia de la atan normal, tiene en cuenta el signo de los vectores, por tanto, devuelve el ángulo y el cuadrante al que pertenece, de 0 a 360 grados.

## 10. Cinemática directa, Denavit-Hatemberg

### 10.1. Asignación de sistemas de coordenadas

Leyes de Denavit-Hatemberg:

- **1-** El eje  $z_{i-1}$  yace a lo largo de la articulación.
- **2-** El eje  $x_i$  es normal al eje  $z_{i-1}$  y se debe cortar con él.
- **3-** El eje  $y_i$  completa el sistema de coordenadas y debe ser dextrógiro según se requiera.

### 10.2. Asignación de parámetros

- $\theta_i$ : es el ángulo de la articulación del eje  $x_{i-1}$  al eje  $x_i$  respecto del eje  $z_{i-1}$  (utilizando la regla de la mano derecha).
- $d_i$ : es la distancia desde el origen del sistema de coordenadas (i-1)-ésimo hasta la intersección del eje  $z_{i-1}$  con el eje  $x_i$  a lo largo del eje  $z_{i-1}$ .
- $a_i$ : es la distancia de separación desde la intersección del eje  $z_{i-1}$  con el eje  $x_i$  hasta el origen del sistema i-ésimo a lo largo del eje  $x_i$  (o la distancia más corta entre los ejes  $z_{i-1}$  y  $z_i$ ).
- $\alpha_i$ : es el ángulo de separación del eje  $z_{i-1}$  al eje  $z_i$  respecto del eje  $x_i$  (utilizando la regla de la mano derecha).