



GRADO

GUÍA DE ESTUDIO DE LA ASIGNATURA FUNDAMENTOS DE ROBÓTICA

2ª PARTE | PLAN DE TRABAJO Y ORIENTACIONES PARA SU DESARROLLO



2014-2015

Juan José Escribano Ródenas
GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA y
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

1. PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo de esta asignatura se desarrollará según la tabla de contenidos/actividades que se expone más adelante. Pero antes de entrar en detalles es preciso realizar ciertas consideraciones previas.

La asignatura de Fundamentos de Robótica requiere del alumno un estudio sistemático y continuado a lo largo del cuatrimestre, dado que se han de asimilar conceptos teóricos y prácticos simultáneamente. Para facilitar su superación es conveniente planificar las etapas de estudio desde el principio, teniendo en cuenta los plazos de entrega y dedicando semanalmente el tiempo necesario, ya que es difícil asimilar la asignatura si se deja el trabajo para el final del cuatrimestre. El objetivo de esta asignatura es que el estudiante adquiera los conocimientos y competencias reflejados en la primera parte de la Guía de Estudio en los 6 ETCS (créditos europeos) que tiene asignados. Un crédito equivale a 25 horas, lo que implica unas 150 horas de estudio y trabajo. Por otro lado, para un desarrollo razonable de este plan de trabajo se considera que el alumno dispone a lo largo del cuatrimestre de 15 semanas efectivas para el estudio y trabajo de la asignatura, lo que equivale a una distribución uniforme de la dedicación de 10 horas semanales a la misma. También es realizable el mismo plan en el supuesto de disponer solo de 13 semanas efectivas, en cuyo caso se requerirá una dedicación media de 11,5 horas semanales. En base a estas diferencias, el plan de trabajo que se presenta contiene la dedicación estimada para cada actividad y sub-actividad en horas, y las horas de dedicación acumuladas a lo largo del cuatrimestre.

Los créditos asignados a cada parte del temario están en consonancia con los contenidos, distribuidos en tres unidades didácticas de dos, tres y tres temas respectivamente tal y como se detalla en el programa de la asignatura. Por otro lado, todos los temas de la primera unidad didáctica y todos los de la tercera son de naturaleza descriptiva, mientras que todos los de la segunda requieren del trabajo con ejercicios prácticos para su mejor asimilación, dando un total de cinco temas de tipo *descriptivo (D)* y tres de tipo *práctico (P)*. Esta distinción está presente a lo largo de todo el plan de trabajo, como se aprecia en la mayor dedicación temporal a los temas prácticos que a los descriptivos, o en las diferencias en las actividades propuestas para unos y otros tipos de temas. Esta organización de temas se ilustra en la siguiente tabla.

UNIDAD DIDÁCTICA		TEMA		ACTIVIDAD EVALUABLE	
Denominación		Denominación	Tipo		
UD-I: Conceptos básicos de robótica		1. Introducción	D	1ª TAREA EVALUABLE (Bloque 1)	
		2. Morfología del robot	D		
UD-II: Modelado y Control de robots	Modelado de robots	3. Herramientas matemáticas para la localización espacial	P		
		4. Cinemática del robot	P		
	Control de robots	5. Control cinemático	P		
UD-III: Programación de robots y aplicaciones		6. Programación de robots	D		2ª TAREA EVALUABLE (Bloque 2)
		7. Criterios de implantación de un robot industrial	D		
		8. Aplicaciones de los robots	D		

En esta asignatura el material didáctico gira en torno al texto base, que contiene tanto teoría como problemas. El material está orientado a la aplicación práctica de los conceptos teóricos adquiridos durante todo el proceso de estudio. Hay que resaltar que tanto las figuras como los ejemplos que acompañan a gran parte de los conceptos desarrollados en el texto base constituyen elementos fundamentales en el aprendizaje, y se recomienda al lector que los estudie detalladamente. La correcta asimilación de todo lo anterior permitirá al alumno adquirir las destrezas básicas necesarias para abordar la realización de ejercicios prácticos de mayor complejidad como los que se proponen al final de cada tema cuando procede. Es recomendable que intente resolverlos sin ver la solución propuesta. De esta forma ejercitará su capacidad de afrontar problemas y podrá comprobar que puede haber diferentes formas de resolver un mismo ejercicio.

En base a las anteriores premisas en el cuadro siguiente se muestra el cronograma que marca unas pautas adecuadas para que el alumno medio alcance los objetivos al final del curso. Este cronograma incluye los contenidos de cada tema y el plan de actividades, tanto de estudio teórico como de trabajo con ejercicios prácticos, y las actividades de evaluación a realizar.

CRONOGRAMA

CONTENIDOS: CONOCIMIENTOS, ACTITUDES HABILIDADES Y DESTREZAS	ACTIVIDADES ASOCIADAS	HORAS	TOTAL DE HORAS	HORAS ACUMULADAS
Tema 1.- Antecedentes históricos. Origen y desarrollo de la robótica. Definición y clasificación de los robots.	Lectura y estudio del capítulo 1 del libro de texto base.	10	10	10
Tema 2.- Estructura mecánica de un robot. Transmisiones y reductores. Actuadores. Sensores internos. Elementos terminales.	Lectura y estudio del capítulo 2 del libro de texto base.	10	10	20
Tema 3.- Representación de la posición. Representación de la orientación. Matrices de transformación homogénea. Aplicación de los Cuaternios. Relación y comparación de los distintos métodos de localización espacial.	Lectura y estudio del capítulo 3 del libro de texto base.	10	20	40
	Estudio y trabajo con los ejercicios resueltos al final del capítulo 3 del texto base.	10		
Tema 4.- Problema cinemático directo. Problema cinemático inverso. Modelo diferencial. Matriz Jacobiana.	Lectura y estudio del capítulo 4 del libro de texto base.	10	20	60
	Estudio y trabajo con los ejercicios resueltos al final del capítulo 4 del texto base.	10		
Análisis reflexivo de contenidos de los Temas 1 a 4.	Preparación 1ª Prueba de Evaluación Continua: El estudiante deberá resolver esta prueba tipo <i>test</i> en la plataforma aLF en el período establecido. Realización de la prueba (2 horas)	15	15	75
Tema 5.- Funciones del control cinemático. Tipos de trayectorias. Generación de trayectorias cartesianas. Muestreo de trayectorias cartesianas. Interpolación de trayectorias.	Lectura y estudio del capítulo 6 del libro de texto base.	10	20	95
	Estudio y trabajo con los ejercicios resueltos al final del capítulo 6 del texto base.	10		
Tema 6.- Métodos de programación de robots y su clasificación. Requerimientos de un sistema de programación de robots. Ejemplo de programación de un robot industrial. Características básicas de los lenguajes RAPID y V+.	Lectura y estudio del capítulo 8 del libro de texto base.	10	10	105
Tema 7.- Diseño y control de una célula robotizada. Características a considerar en la selección de un robot. Seguridad en instalaciones robotizadas. Justificación económica. Mercado de robots industriales.	Lectura y estudio del capítulo 9 del libro de texto base.	10	10	115

CONTENIDOS: CONOCIMIENTOS, ACTITUDES HABILIDADES Y DESTREZAS	ACTIVIDADES ASOCIADAS	HORAS	TOTAL DE HORAS	HORAS ACUMULADAS
Tema 8.- Aplicaciones de los Robots industriales Manipuladores. Clasificación. Aplicaciones industriales de los robots. Aplicaciones de los Robots de servicio. Clasificación.	Lectura y estudio del capítulo 10 del libro de texto base.	10	10	125
Análisis reflexivo de contenidos de los Temas 5 a 8.	Preparación 2ª Prueba de Evaluación Continua: El estudiante deberá resolver esta prueba tipo <i>test</i> en la plataforma aLF en el período establecido. Realización de la prueba (2 horas)	15	15	140
Análisis reflexivo y crítico del total de conocimientos adquiridos.	Preparación prueba de evaluación final. Realización de la prueba (2 horas)	10	10	150

2. ORIENTACIONES PARA EL ESTUDIO DE LOS CONTENIDOS

2.1. Introducción

En este apartado se analizan las competencias genéricas y específicas que se deben lograr con esta asignatura, los conocimientos previos precisos para la misma y los materiales necesarios para el estudio. Además, se incluyen algunos consejos sobre la forma de preparar satisfactoriamente la asignatura.

2.2. Contextualización

Dentro del contexto general del Plan de Estudios del Grado en Ingeniería Informática y del Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Información, esta asignatura se ubica en la materia denominada "Sistemas Autónomos" y ha de contribuir a la consecución de las siguientes competencias genéricas:

- Competencias de gestión y planificación: Iniciativa y motivación. Planificación y organización (establecimiento de objetivos y prioridades, secuenciación y organización del tiempo de realización, etc.). Manejo adecuado del tiempo.
- Competencias cognitivas superiores: selección y manejo adecuado de conocimientos, recursos y estrategias cognitivas de nivel superior apropiados para el afrontamiento y resolución de diversos tipos de tareas/problemas con distinto nivel de complejidad y novedad: Análisis y Síntesis. Aplicación de los conocimientos a la práctica. Resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos. Pensamiento creativo. Razonamiento crítico. Toma de decisiones.

También ha de contribuir a la consecución de las siguientes competencias específicas:

- Familiarizar al alumno con las principales teorías y técnicas físico-matemáticas que sustentan esta disciplina, tales como el modelado geométrico, la cinemática y el control de robots.

- Conocer y manejar los bloques básicos utilizados para el diseño y construcción de robots (sensores, efectores, bloques de control).
- Estudiar el robot como una máquina programable, analizando las diferentes formas de programación de robots.

2.3. Conocimientos previos

Tan sólo se requieren los conocimientos propios de la titulación exigida para poder comenzar los estudios del Grado en Ingeniería Informática y del Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Información. No se requieren conocimientos específicos.

2.4. Materiales de estudio

El material básico para preparar la asignatura, tanto desde el punto de vista teórico como práctico, es el libro que se indica a continuación.

Luis Felipe Peñín Honrubia, Carlos Balaguer Bernaldo De Quirós, Rafael Aracil Santonja, Antonio Barrientos Cruz: "FUNDAMENTOS DE ROBÓTICA". Editorial McGraw-hill, 2007, 2ª Edición.

2.5. Orientaciones generales para preparar la materia

Como se ha explicado con anterioridad, la programación de la asignatura es un punto fundamental para el éxito de su estudio. La materia que configura el programa no es difícil aunque en un primer momento puede parecer demasiado extensa. Para la correcta preparación de la asignatura es conveniente seguir en cada bloque temático el desarrollo que se incluye en el cronograma de la asignatura. No obstante, para obtener los mejores resultados, es recomendable que el estudiante siga los siguientes consejos:

- Realizar una lectura comprensiva de cada tema, profundizando en los contenidos teóricos de los mismos.
- Subrayar aquellos conceptos teóricos más importantes y estudiarlos.
- Al finalizar el estudio de cada unidad, conviene hacer un repaso de aquellos apartados que hayan resultado de especial dificultad.
- Esquematizar las ideas básicas del tema estudiado.
- Resolver los ejercicios resueltos al final de cada capítulo del libro, sin consultar la solución y posteriormente comparar la solución obtenida con la propuesta en el libro.
- Se recomienda reservar un periodo al final del cuatrimestre (una o dos semanas) para hacer un repaso general del temario, encaminado especialmente a la preparación específica del examen.

2.6. Orientaciones generales para afrontar el examen

En el estudio de la asignatura enfocado a la **superación de un examen** es necesario hacer unas consideraciones adicionales, como son el tiempo limitado y escaso del que disponemos (2 horas), y el tipo de examen al que nos enfrentamos.

No obstante, el estudiante junto a la realización de dicho examen (que supondrá el 90% de la nota final) podrá realizar la evaluación continua (que supondrá el 10% de la nota final) y que consistirá en dos actividades más a lo largo del cuatrimestre (véase el punto 3).

El estudiante debe considerar que si bien todos los temas que forman parte del temario son igualmente importantes, hay que tener en cuenta que unos requieren un estudio más profundo que otros.

En cuanto al tipo de examen, su modalidad hace que el estudio se afronte desde una perspectiva diferente que si se tratara de un examen de tipo test. Al ser un **examen tipo desarrollo** debemos tener claros los conceptos fundamentales, pero además es necesario ejercitar la memoria.

Cuando nos enfrentamos al estudio de cualquier materia, es importante la realización de lecturas rápidas y globales de todo su contenido para hacernos una idea del conjunto y de su contexto. Una vez hecho esto es aconsejable la redacción de resúmenes y esquemas que resalten las ideas básicas y más importantes.

En cuanto a la preparación de la parte práctica del *examen* recomendamos lo siguiente:

- Una vez estudiados y asimilados los conceptos teóricos, siga con detenimiento el desarrollo de los ejemplos que figuran en el libro recomendado.
- Aclarados los conceptos y entendidos los pasos realizados para la resolución de ejemplos, es conveniente que intente resolver los ejercicios resueltos del libro recomendado. No consulte la solución hasta haberlos resuelto por su cuenta.

2.7. Orientaciones concretas para el estudio de los contenidos

Una vez aportadas las orientaciones generales para el estudio de la asignatura es interesante conocer con mayor profundidad cada tema, de forma que su estudio, basado en unas pautas concretas, sea más provechoso para el estudiante.

2.7.1. Unidad Didáctica I: Conceptos Básicos de Robótica

Tema 1: Introducción

- Correspondencia con los capítulos del libro

Este tema se corresponde con los cuatro primeros apartados del capítulo 1 del libro recomendado.

- Resumen

El objetivo fundamental de este primer tema es presentar la Robótica como tecnología multidisciplinar, definiendo al robot industrial y comentando su desarrollo histórico y estado actual. Para ello se comenzará analizando los antecedentes históricos de los robots, señalando importantes muestras en el ámbito de la ingeniería de todos los tiempos. No obstante, se pone de manifiesto que es en la literatura y a través de los medios de comunicación donde el término robot adquiere una dimensión social sin precedentes que ha permitido a cualquier ciudadano medio tener una idea aproximada de las capacidades de los robots. A continuación se formalizan estas ideas introduciendo las diversas definiciones acuñadas por las diferentes

organizaciones internacionales relacionadas con la Robótica. Por último el tema finaliza presentando varias clasificaciones de los robots existentes atendiendo a diversos criterios.

- Esquema

1. Antecedentes históricos
2. Origen y desarrollo de la robótica
3. Definición del robot
 - 3.1. Definición de Robot Industrial Manipulador
 - 3.2. Definición de otros tipos de robots
4. Clasificación de los Robots
 - 4.1. Clasificación atendiendo a la Generación
 - 4.2. Clasificación atendiendo al Área de Aplicación
 - 4.3. Clasificación atendiendo al tipo de Actuadores
 - 4.4. Clasificación atendiendo al Número de Ejes
 - 4.5. Clasificación atendiendo a la Configuración
 - 4.6. Clasificación atendiendo al Tipo de Control

- Resultados del aprendizaje

Al final del estudio de este tema, el estudiante deberá ser capaz de:

- Conocer cómo se ha desarrollado la robótica desde sus orígenes hasta la actualidad
- Conocer la definición de Robot Industrial Manipulador
- Distinguir los diferentes tipos de robots

- Materiales

Al ser un tema fundamentalmente teórico y de introducción, para su preparación únicamente será necesaria la consulta de los cuatro primeros apartados del capítulo 1 del libro recomendado.

- Orientaciones para el estudio

Se trata de un tema sencillo en su lectura y en su contenido, por lo que no deben existir grandes dificultades para su estudio. Bastará con seguir las recomendaciones generales de estudio.

Tema 2: Morfología del robot

- Correspondencia con los capítulos del libro

Este tema se corresponde con los cinco primeros apartados del capítulo 2 del libro recomendado.

- Resumen

Fundamentos de Robótica

Un robot está formado por los siguientes elementos: estructura mecánica, transmisiones, sistema de accionamiento, sistema sensorial, sistema de control y elementos terminales.

En este tema se examinan estos elementos constitutivos de un robot. Se estudia primero la estructura mecánica, haciendo referencia a los distintos tipos de articulaciones existentes. Seguidamente se analizan los sistemas de transmisión y reducción necesarios para transmitir a cada una de las articulaciones el movimiento generado por los actuadores, que como elementos con capacidad para desplazar la estructura mecánica, son examinados en el siguiente apartado.

Se repasan después los denominados sensores internos, necesarios para el control de los movimientos del robot. Finalmente, el último apartado del tema se ocupa de los elementos terminales (pinzas, herramientas, dispositivos de sujeción, etc.), que situados generalmente en el extremo del robot, sirven para que éste pueda interactuar con el mundo exterior realizando las operaciones que le han sido asignadas.

- Esquema

1. Estructura mecánica de un robot
2. Transmisiones y reductores
 - 2.1. Transmisiones
 - 2.2. Reductores
 - 2.3. Accionamiento directo
3. Actuadores
 - 3.1. Actuadores neumáticos
 - 3.2. Actuadores hidráulicos
 - 3.3. Actuadores eléctricos
4. Sensores internos
 - 4.1. Sensores de posición
 - 4.2. Sensores de velocidad
 - 4.3. Sensores de presencia
5. Elementos terminales
 - 5.1. Elementos de sujeción
 - 5.2. Herramientas terminales

- Resultados del aprendizaje

Al final del estudio de este tema, el estudiante deberá ser capaz de:

- Conocer la forma, misión, estructura, propiedades y funcionamiento de los principales elementos que componen físicamente un robot convencional.
- Distinguir una transmisión de un reductor.
- Conocer qué es un actuador y sus distintos tipos.
- Distinguir los diferentes tipos de sensores internos de un robot .
- Conocer los elementos que permiten al robot interactuar con su entorno.

- Materiales

Al ser un tema fundamentalmente teórico, para su preparación únicamente será necesaria la consulta de los cinco primeros apartados del capítulo 2 del libro recomendado.

- Orientaciones para el estudio

Este tema es eminentemente teórico, por lo tanto, al igual que en el tema anterior, la actividad básica prevista para este tema es la lectura y asimilación de los contenidos descritos en el texto.

2.7.2 Unidad Didáctica II: Modelado y Control de Robots

Tema 3: Herramientas matemáticas para la localización espacial

- Correspondencia con los capítulos del libro

Este tema se corresponde con los cinco primeros apartados del capítulo 3 del libro recomendado, y su apartado siete con ejercicios resueltos.

- Resumen

La manipulación de piezas llevada a cabo por un robot implica el movimiento espacial de su extremo. Asimismo, para que el robot pueda recoger una pieza, es necesario conocer la posición y orientación de ésta con respecto a la base del robot. Se aprecia entonces la necesidad de contar con una serie de herramientas matemáticas que permitan especificar la posición y orientación en el espacio de piezas, herramientas y, en general, de cualquier objeto.

Estas herramientas han de ser lo suficientemente potentes como para permitir obtener de forma sencilla relaciones espaciales entre distintos objetos y en especial entre éstos y el manipulador. Los apartados de este tema introducen de forma progresiva estas herramientas, de especial importancia para la adecuada comprensión de desarrollos en temas posteriores. Sin embargo, es necesario resaltar que éstas son de aplicación general para el tratamiento de problemas de localización espacial y que, por tanto, no son de aplicación exclusiva en el campo de la Robótica.

En los dos primeros apartados se presentan los distintos métodos existentes para la representación de la posición y orientación espacial de un cuerpo rígido. En el siguiente apartado se introducirá el concepto de matriz de transformación homogénea, necesaria para la representación conjunta de posición y orientación, junto con sus propiedades y aplicaciones. Se trata de una herramienta muy útil para representar transformaciones espaciales, estando su uso extendido en diversos campos además del de la Robótica.

El siguiente apartado se dedica a presentar los denominados cuaternios, herramienta de uso más restringido y por ello no analizado con suficiente detalle en la bibliografía existente. Se trata de un método de gran economía computacional utilizada incluso por algunos robots comerciales para la representación de orientación. Finalmente, el último apartado se dedica a estudiar las diferentes relaciones existentes entre los diversos métodos expuestos de localización espacial, presentando las fórmulas y expresiones de paso entre unas y otras cuando existen.

- Esquema

1. Representación de la posición
 - 1.1. Sistema cartesiano de referencia
 - 1.2. Coordenadas cartesianas
 - 1.3. Coordenadas polares y cilíndricas
 - 1.4. Coordenadas esféricas
2. Representación de la orientación
 - 2.1. Matrices de rotación
 - 2.2. Ángulos de Euler
 - 2.3. Par de rotación
 - 2.4. Cuaternios
3. Matrices de transformación homogénea
 - 3.1. Coordenadas y matrices homogéneas
 - 3.2. Aplicación de matrices homogéneas
 - 3.3. Significado geométrico de las matrices homogéneas
 - 3.4. Composición de matrices homogéneas
 - 3.5. Gráficos de transformación
4. Aplicación de los cuaternios
 - 4.1. Álgebra de cuaternios
 - 4.2. Utilización de cuaternios
5. Relación y comparación entre los distintos métodos de localización espacial
 - 5.1. Comparación de métodos de localización espacial
 - 5.2. Relación entre los distintos métodos de localización espacial
6. Ejercicios resueltos

- Resultados del aprendizaje

Al final del estudio de este tema, el estudiante deberá ser capaz de:

- Conocer cómo se representa la posición en los distintos sistemas de coordenadas
- Conocer las distintas herramientas matemáticas para representar la orientación
- Conocer en qué consisten y cómo se aplican las matrices homogéneas
- Conocer el álgebra y la utilización de cuaternios
- Saber relacionar y comparar los distintos métodos de localización espacial

- Materiales

Al ser un tema teórico y práctico, para su preparación será necesaria la consulta de los cinco primeros apartados del capítulo 3 del libro recomendado (teoría), y su apartado 7 para la parte práctica.

- Orientaciones para el estudio

Este tema contiene desarrollos teóricos e introduce conceptos importantes y necesarios para la resolución de ejercicios prácticos. Por tanto se precisa de una lectura profunda y detenida del texto que permita una

correcta asimilación de sus contenidos. Para afianzar los conceptos aprendidos es preciso resolver algún ejercicio práctico sobre el tema. Para ello, una vez finalizado el estudio es conveniente que intente resolver los ejercicios resueltos en el apartado 7 del capítulo 3 del libro recomendado. No consulte la solución hasta haberlos resuelto por su cuenta.

Tema 4: Cinemática del robot

- Correspondencia con los capítulos del libro

Este tema se corresponde con los cuatro primeros apartados del capítulo 4 del libro recomendado.

- Resumen

La cinemática del robot estudia el movimiento del mismo con respecto a un sistema de referencia. Así, la cinemática se interesa por la descripción analítica del movimiento espacial del robot como una función del tiempo, y en particular por las relaciones entre la posición y la orientación del extremo final del robot con los valores que toman sus coordenadas articulares.

Existen dos problemas fundamentales a resolver en la cinemática del robot y que se estudian en este tema. El primero de ellos se conoce como el **problema cinemático directo**, y consiste en determinar cuál es la posición y la orientación del extremo final de un robot, con respecto a un sistema de coordenadas que se toma como referencia, conocidos los valores de las articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos del robot. El segundo, denominado **problema cinemático inverso**, resuelve la configuración que debe adoptar el robot para una posición y orientación del extremo conocidas.

En este tema se estudian diferentes métodos para la resolución de estos problemas de forma generalizada en robots con configuraciones arbitrarias. De especial importancia es el método propuesto por Denavit y Hartenberg para la solución del problema cinemático directo. Se trata de un método sistemático para describir y representar la geometría espacial de los elementos de una cadena cinemática, y en particular de un robot, con respecto a un sistema de referencia fijo, y que utiliza las matrices de transformación homogénea como herramienta principal. A continuación se estudia un método menos generalizado de aplicación de cuaternios en la resolución del problema directo. Con respecto al problema cinemático inverso se estudian en primer lugar los métodos basados en razonamientos geométricos y a continuación los métodos que trabajan a partir de la matriz de transformación homogénea. Por último se estudia el caso particular del desacoplo cinemático para el que el problema cinemático inverso se simplifica significativamente.

El tema finaliza la cinemática del robot estudiando el modelo diferencial. Este modelo, expresado mediante la matriz Jacobiana, expresa la relación existente entre las velocidades del movimiento de las articulaciones y las del extremo del robot.

- Esquema

1. El problema cinemático directo
 - 1.1. Resolución del problema cinemático directo mediante métodos geométricos
 - 1.2. Resolución del problema cinemático directo mediante matrices de transformación homogénea
 - 1.3. Algoritmo de Denavit Hatenberg para la obtención del modelo cinemático directo
 - 1.4. Solución del problema cinemático directo mediante el uso de cuaternios

2. Cinemática inversa
 - 2.1. Resolución del problema cinemático inverso mediante métodos geométricos
 - 2.2. Resolución del problema cinemático inverso a partir de la matriz de transformación homogénea
 - 2.3. Desacoplo cinemático
3. Modelo diferencial. Matriz Jacobiana
 - 3.1. Jacobiana analítica
 - 3.2. Jacobiana geométrica
 - 3.3. Obtención numérica de la Jacobiana geométrica
 - 3.4. Relación entre la Jacobiana analítica y la Jacobiana geométrica
 - 3.5. Jacobiana inversa
 - 3.6. Jacobiana pseudoinversa
 - 3.7. Configuraciones singulares
4. Ejercicios resueltos

- Resultados del aprendizaje

Al final del estudio de este tema, el estudiante deberá ser capaz de:

- Conocer en qué consiste el problema cinemático directo y cómo se resuelve mediante varios métodos
- Conocer en qué consiste el problema cinemático inverso y cómo se resuelve mediante varios métodos
- Calcular la Jacobiana analítica, la Jacobiana geométrica y la Jacobiana inversa
- Encontrar las configuraciones singulares de un robot

- Materiales

Al ser un tema teórico y práctico, para su preparación será necesaria la consulta de los tres primeros apartados del capítulo 4 del libro recomendado (teoría), y su apartado 4 para la parte práctica.

- Orientaciones para el estudio

Este tema contiene desarrollos teóricos e introduce conceptos importantes y necesarios para la resolución de ejercicios prácticos. Por tanto se precisa de una lectura profunda y detenida del texto que permita una correcta asimilación de sus contenidos. Para afianzar los conceptos aprendidos es preciso resolver algún ejercicio práctico sobre el tema. Para ello, una vez finalizado el estudio es conveniente que intente resolver los ejercicios resueltos en el apartado 4 del capítulo 4 del libro recomendado. No consulte la solución hasta haberlos resuelto por su cuenta.

Tema 5: Control cinemático

- Correspondencia con los capítulos del libro

Este tema se corresponde con los seis primeros apartados del capítulo 6 del libro recomendado.

- Resumen

En el tema anterior se ha estudiado cómo obtener el modelo geométrico y cinemático de un robot. El objetivo de estos modelos, junto con el modelo dinámico no estudiado, es el de poder establecer las estrategias adecuadas de control del robot que redunden en una mayor calidad de sus movimientos.

Este tema se dedica a estudiar el control cinemático de un robot, el cual es el encargado de establecer cuáles son las trayectorias que debe seguir cada articulación del robot a lo largo del tiempo para lograr los objetivos del usuario (punto de destino, trayectoria cartesiana del efector final, tiempo invertido en el movimiento fijado por el usuario, etc.) Estas trayectorias se seleccionarán atendiendo a las restricciones físicas propias de los accionamientos y a ciertos criterios de calidad de trayectoria, como su suavidad o precisión de la misma.

El tema comienza analizando todas las funciones que son responsabilidad del control cinemático de un robot para continuar estudiando los posibles tipos de trayectorias empleadas en Robótica atendiendo precisamente a los antes mencionados criterios de calidad. El siguiente apartado se centra en la problemática que surge en la generación en tiempo real de trayectorias en el espacio cartesiano, diferenciando entre el caso de la evolución de la posición y el caso de la evolución de la orientación.

De especial interés es el siguiente apartado del tema que se encarga de estudiar las diferentes técnicas de interpolación utilizadas en la práctica para la generación de las trayectorias efectivas de los robots, describiendo fundamentalmente los interpoladores lineales, los cúbicos y los interpoladores a tramos. El tema finaliza con una reflexión sobre la relación que existe entre la precisión y el muestreo realizado de una trayectoria cartesiana, así como sobre la forma en que se podría optimizar esta relación.

- Esquema

1. Funciones del control cinemático
2. Tipos de trayectorias
 - 2.1. Trayectorias punto a punto
 - 2.2. Trayectorias continuas
3. Generación de trayectorias cartesianas
 - 3.1. Evolución de la orientación
4. Muestreo de trayectorias cartesianas
5. Interpolación de trayectorias
 - 5.1. Interpoladores lineales
 - 5.2. Interpolador splin cúbico
 - 5.3. Interpolador splin quíntico
 - 5.4. Interpoladores trapezoidales
6. Ejercicios resueltos

- Resultados del aprendizaje

Al final del estudio de este tema, el estudiante conocerá:

- Las funciones principales del control cinemático

- Qué tipos de trayectorias existen y cómo se generan en coordenadas cartesianas
- Cuales son los principales tipos de interpoladores de trayectorias que existen

- Materiales

Al ser un tema teórico y práctico, para su preparación será necesaria la consulta de los cinco primeros apartados del capítulo 6 del libro recomendado (teoría), y su apartado 6 para la parte práctica.

- Orientaciones para el estudio

Este tema contiene desarrollos teóricos e introduce conceptos importantes y necesarios para la resolución de ejercicios prácticos. Por tanto se precisa de una lectura profunda y detenida del texto que permita una correcta asimilación de sus contenidos. Para afianzar los conceptos aprendidos es preciso resolver algún ejercicio práctico sobre el tema. Para ello, una vez finalizado el estudio es conveniente que intente resolver los ejercicios resueltos en el apartado 6 del capítulo 6 del libro recomendado. No consulte la solución hasta haberlos resuelto por su cuenta.

2.7.3 Unidad Didáctica III: Programación de Robots y Aplicaciones

Tema 6: Programación de robots

- Correspondencia con los capítulos del libro

Este tema se corresponde con los apartados 1, 2, 4 y 5 del capítulo 8 del libro recomendado.

- Resumen

Un robot industrial es básicamente un manipulador multifuncional reprogramable, siendo esta capacidad de reprogramación la que permite su adaptación de una manera rápida y económica a diferentes aplicaciones. La programación de un robot se puede definir como el proceso mediante el cual se le indica a éste la secuencia de acciones que deberá llevar a cabo durante la realización de una tarea. Estas acciones consisten en su mayor parte en moverse a puntos predefinidos y manipular objetos del entorno.

El sistema de programación es la herramienta con que cuenta el usuario para acceder a las diversas prestaciones del robot, existiendo una relación directa entre las características y posibilidades del sistema de programación y las del robot en sí mismo.

En este tema se comienza examinando los diferentes procedimientos existentes para la programación de robots, realizándose seguidamente una clasificación de los mismos. A continuación se analizan aquellas características propias de un sistema de programación para robots, y que les distingue de otro tipo de sistemas de programación como los de equipos informáticos. Estos aspectos se concretan posteriormente en un caso práctico de programación de un robot industrial. Finalmente, se describen brevemente dos sistemas actuales de programación de robots industriales: RAPID de ABB y V+ de Adept Technology.

- Esquema

1. Métodos de programación de robots. Clasificación
 - 1.1. Programación por guiado o aprendizaje
 - 1.2. Programación textual
2. Requerimientos de un sistema de programación de robots
 - 2.1. Entorno de desarrollo
 - 2.2. Modelado del entorno
 - 2.3. Tipos de datos
 - 2.4. Manejo de entradas salidas
 - 2.5. Comunicaciones
 - 2.6. Control del movimiento del robot
 - 2.7. Control del flujo de ejecución del programa
3. Ejemplo de programación de un robot industrial
4. Características básicas de los lenguajes RAPID y V+
 - 4.1. El lenguaje de programación RAPID

- Resultados del aprendizaje

Al final del estudio de este tema, el estudiante conocerá:

- Los principales métodos de programación de robots
- Los requerimientos de un sistema de programación de robots
- Las características básicas del lenguaje de programación RAPID

- Materiales

Al ser un tema fundamentalmente teórico, para su preparación únicamente será necesaria la consulta de los apartados 1, 2, 4 y 5 del capítulo 8 del libro recomendado.

- Orientaciones para el estudio

Este tema es eminentemente teórico, por lo tanto la actividad básica prevista para este tema es la lectura y asimilación de los contenidos descritos en el texto.

Tema 7: Criterios de implantación de un robot industrial

- Correspondencia con los capítulos del libro

Este tema se corresponde con los cinco primeros apartados del capítulo 9 del libro recomendado.

- Resumen

Un robot industrial raramente trabaja como un elemento aislado, sino que forma parte de un proceso de fabricación que incluye muchos otros equipos. El robot, parte principal de la denominada célula de trabajo robotizada, debe en general interactuar con otras máquinas, formando parte de una estructura de fabricación superior. En este tema se abordan, tanto desde un aspecto técnico como económico, aquellas materias relacionadas con la implantación de un robot en un entorno industrial.

El primer aspecto que se considera es el diseño de la célula desde el punto de vista del *lay-out* (esquema de disposición de equipos, máquinas y demás elementos de la planta) y de la arquitectura de control. A continuación se analizan aquellas cuestiones a considerar a la hora de escoger el robot más adecuado para una determinada aplicación. La seguridad de la célula robotizada se trata también en el tema de una forma especial, habida cuenta de las importantes repercusiones que acarrea tanto en la fase de diseño, desarrollo y explotación. En el tema se exponen también algunas indicaciones de cómo realizar la justificación económica que supone la implantación de una célula robotizada. Por último el tema finaliza mostrando una tendencia más o menos actualizada de la situación del mercado de robots en España.

- Esquema

1. Diseño y control de una célula robotizada
 - 1.1. Disposición del robot en la célula de trabajo
 - 1.2. Características del sistema de control de la célula de trabajo
2. Características a considerar en la selección de un robot
 - 2.1. Área de trabajo
 - 2.2. Grados de libertad
 - 2.3. Precisión, repetibilidad y resolución
 - 2.4. Velocidad
 - 2.5. Capacidad de carga
 - 2.6. Sistema de control
3. Seguridad en instalaciones robotizadas
 - 3.1. Causas de accidentes
 - 3.2. Medidas de seguridad
4. Justificación económica
 - 4.1. Factores económicos y datos básicos necesarios
 - 4.2. El robot como elemento principal del análisis económico
 - 4.3. Métodos de análisis económico
5. Mercado de robots

- Resultados del aprendizaje

Una vez estudiado el contenido de este tema de corte descriptivo, debería saber:

- Conocer y discutir los criterios a considerar en el proyecto e implantación de un sistema robotizado. Discutir las posibilidades de disposición del robot en la célula de trabajo. Conocer las características que debe tener el sistema de control de la célula de trabajo.
- Conocer y analizar las características a tener en cuenta a la hora de seleccionar un robot cuando se desea robotizar un determinado proceso.
- Conocer las normativas existentes en el tema de seguridad y prevención de accidentes en los sistemas robotizados.
- Conocer y analizar los planteamientos económicos a tener en cuenta antes de implantar un proyecto de robotización.

- Materiales

Al ser un tema fundamentalmente teórico, para su preparación únicamente será necesaria la consulta de cinco primeros apartados del capítulo 9 del libro recomendado.

- Orientaciones para el estudio

Este tema es eminentemente teórico, por lo tanto, al igual que en el tema anterior, la actividad básica prevista para este tema es la lectura y asimilación de los contenidos descritos en el texto.

Tema 8: Aplicaciones de los robots

- Correspondencia con los capítulos del libro

Este tema se corresponde con los tres primeros apartados del capítulo 10 del libro recomendado.

- Resumen

En la actualidad los robots se usan de manera extensa en la industria, siendo un elemento indispensable en una gran parte de los procesos de manufactura. Impulsados principalmente por el sector del automóvil, los robots han dejado de ser máquinas misteriosas propias de la ciencia-ficción para ser un elemento más de muchos talleres y líneas de producción.

Por su propia definición el robot industrial es multifuncional, esto es, puede ser aplicado a un número en principio ilimitado de funciones. No obstante, la práctica ha demostrado que su adaptación es óptima en determinados procesos como soldadura, paletización, etc., en los que hoy en día el robot es, sin duda alguna, la solución más rentable.

Junto con estas aplicaciones ya arraigadas hay otras novedosas en las que si bien la utilización del robot no se realiza a gran escala, sí se justifica su aplicación por las condiciones intrínsecas del medio de trabajo (ambientes contaminados, salas asépticas, construcción, etc.) o la elevada exigencia en cuanto a calidad de los resultados (medicina, etc.). Estos robots se han venido llamando robots de servicio.

El tema comienza recogiendo una clasificación de las principales aplicaciones actuales de los robots para continuar repasando las aplicaciones más frecuentes, destacando las posibilidades del robot y sus ventajas frente a otras alternativas. Por último se presentan algunas de las aplicaciones más novedosas en sectores como la construcción, medicina, sector eléctrico, etc.

- Esquema

1. Aplicaciones de los Robots industriales Manipuladores. Clasificación
2. Aplicaciones industriales de los robots
 - 2.1. Trabajos en fundición
 - 2.2. Soldadura
 - 2.3. Aplicación de materiales. Pintura
 - 2.4. Aplicación de adhesivos y sellantes
 - 2.5. Alimentación de máquinas
 - 2.6. Procesado
 - 2.7. Corte
 - 2.8. Montaje
 - 2.9. Paletización y empaquetado

- 2.10. Control de calidad
- 2.11. Manipulación en salas limpias o blancas
- 3. Aplicaciones de los Robots de servicio. Clasificación
 - 3.1. Robots en la Agricultura
 - 3.2. Robots en la Construcción
 - 3.3. Robots en la Industria nuclear
 - 3.4. Robots en Medicina
 - 3.5. Robots aéreos y submarinos
 - 3.6. Robots asistenciales
 - 3.7. Robots para el ocio

- Resultados del aprendizaje

Una vez estudiado el contenido de este tema de corte descriptivo, debería saber:

- Conocer las aplicaciones industriales más frecuentes de los robots. Discutir las posibilidades del robot y sus ventajas frente a otras alternativas.
- Conocer las aplicaciones de robots de servicio. Discutir cuáles son los cometidos que pueden ser encomendados a un robot.

- Materiales

Al ser un tema fundamentalmente teórico, para su preparación únicamente será necesaria la consulta de tres primeros apartados del capítulo 10 del libro recomendado.

- Orientaciones para el estudio

Este tema es eminentemente teórico, por lo tanto, al igual que en el tema anterior, la actividad básica prevista para este tema es la lectura y asimilación de los contenidos descritos en el texto.

3. ORIENTACIONES PARA LA REALIZACIÓN DEL PLAN DE ACTIVIDADES

En el plan de trabajo se han incluido las actividades evaluables que deberá presentar el estudiante de acuerdo a la evaluación continua. Ésta consistirá en la realización de dos Pruebas además del Examen Presencial. Las Pruebas de Evaluación Continua consistirán en dos cuestionarios de evaluación en línea. Las fechas concretas para estas pruebas se publicarán en el curso virtual (una a mediados del cuatrimestre y otra a finales del cuatrimestre) y se gestionarán con las herramientas que esta misma plataforma virtual ofrece para ello.

- Primera Prueba: Cuatro primeros temas.
- Segunda Prueba: Cuatro últimos temas.

Ambas pruebas tendrán una duración de 2 horas y consistirán en 20 preguntas tipo *test* repartidas entre conceptos teóricos y ejercicios prácticos. El estudiante solo tendrá un intento para realizar la prueba, por tanto no podrá abrirla de su panel de “actividades” del curso virtual, hasta que no esté seguro de que va a realizarla (y siempre dentro del periodo establecido). Una vez que empiece la actividad dispondrá de dos

horas para completarla. Las pruebas se califican automáticamente, por tanto, una vez finalizadas el estudiante podrá conocer rápidamente el resultado de la misma. El resultado de estas pruebas (la media de ambas) ponderarán hasta un 10% de la calificación final (siendo el 90% restante el resultado de la prueba presencial).

La prueba presencial constará de dos partes, una de naturaleza teórica y otra de naturaleza práctica. En la parte teórica el alumno deberá contestar a diversas cuestiones sobre la materia objeto de estudio. La parte práctica consistirá en la resolución de varios ejercicios prácticos, y se valorará el planteamiento y desarrollo que el alumno haga de los mismos. Todas las preguntas pueden contestarse con las explicaciones del libro recomendado como bibliografía básica. Como se ha indicado, para superar la asignatura no será necesario alcanzar una calificación mínima en esta prueba. En la prueba presencial el alumno no podrá consultar ningún material. Sólo le estará permitido el uso de una calculadora no programable.

En el cálculo de la Nota Final de la Asignatura (NFA) a partir de la Nota de las Pruebas de Evaluación Continua (NPEC) y de la Nota de la Prueba Presencial (NPP) se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- El peso de la Prueba Presencial en la Nota Final será del 90%.
- El peso de las Pruebas de Evaluación Continua en la Nota Final será del 10%.
- No será necesario obtener una Nota mínima ni en las Pruebas de Evaluación Continua ni en la Prueba Presencial para poder aprobar la asignatura.
- La Nota Final de la Asignatura requerida para aprobarla deberá ser mayor o igual a 5 puntos.
- No será necesaria la presencia del alumno en el Centro Asociado para realizar ninguna de las Pruebas de Evaluación Continua.
- Las Pruebas de Evaluación Continua sólo se realizarán y evaluarán a lo largo del segundo cuatrimestre en el que se imparte la asignatura. En la convocatoria de septiembre, se mantendrá la nota obtenida en dichas actividades.

En definitiva, la expresión para el cálculo de la Nota Final de la asignatura tanto para la convocatoria de junio como para la de septiembre, es la siguiente:

$$\text{NFA} = 0,9 \cdot \text{NPP} + 0,1 \cdot \text{NPEC}$$

y para aprobar la asignatura el alumno deberá obtener una NFA ≥ 5 .

4.- GLOSARIO

El texto base de esta asignatura cuenta con un índice analítico de términos organizado por orden alfabético. En él encontrará la referencia a dónde se encuentra definido cada término y en qué tema o temas se hace uso del mismo.