

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA  
SANTIAGO - CHILE



## “SEGUIMIENTO, TRAZADO Y OPTIMIZACIÓN DE ROBOT ROBOTRACER MEDIANTE VISIÓN COMPUTACIONAL Y APRENDIZAJE REFORZADO”

BENJAMÍN NICOLÁS ESPINOZA HUENUNGUIR

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL EN INFORMÁTICA

Profesor Guía: Ricardo Ñanculef  
Profesor Correferente: Nombre del correferente

Diciembre - 20XX

## **DEDICATORIA**

Considerando la importancia de este trabajo para los alumnos, este apartado es para que el autor entregue palabras personales para dedicar este documento. La extensión puede ser de máximo una hoja y se deben mantener este formato, tipo y tamaño de letra.

## **AGRADECIMIENTOS**

Considerando la importancia de este trabajo para los alumnos, este apartado se podrá incluir en el caso de que el autor desee agradecer a las personas que facilitaron alguna ayuda relevante en su trabajo para la realización de este documento. La extensión puede ser de máximo una hoja y se deben mantener este formato, tipo y tamaño de letra.

## RESUMEN

**Resumen**— El resumen y las palabras clave no deben superar la mitad de la página, donde debe precisarse brevemente: 1) lo que el autor ha hecho, 2) cómo lo hizo (sólo si es importante detallarlo), 3) los resultados principales, 4) la relevancia de los resultados. El resumen es una representación abreviada, pero comprensiva de la memoria y debe informar sobre el objetivo, la metodología y los resultados del trabajo realizado.

**Palabras Clave**— Cinco es el máximo de palabras clave para describir los temas tratados en la memoria, ponerlas separadas por punto y comas.

## ABSTRACT

**Abstract**— Corresponde a la traducción al idioma inglés del Resumen anterior. Sujeto a la misma regla de extensión del Resumen.

**Keywords**— Corresponde a la traducción al idioma inglés de Palabras Clave anteriores.

## **GLOSARIO**

Aquí se deben colocar las siglas mencionadas en el trabajo y su explicación, por orden alfabético. Por ejemplo:

DI: Departamento de Informática.

UTFSM: Universidad Técnica Federico Santa María.

IMU: Inertial Measurement Units.

PRM: Probabilistics Roadmaps .

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |     |
|---|-----|
| RESUMEN   | IV  |
| ABSTRACT  | IV  |
| GLOSARIO  | V   |
| ÍNDICE DE FIGURAS   | VII |
| ÍNDICE DE TABLAS  | VII |
| INTRODUCCIÓN  | 1   |
| CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA                         | 2   |
| 1.1 Contexto . . . . .                                      | 2   |
| 1.2 Arquitectura Actual . . . . .                           | 3   |
| 1.2.1 Mapeo . . . . .                                       | 3   |
| 1.2.2 Optimización . . . . .                                | 4   |
| 1.3 Información del problema . . . . .                      | 5   |
| 1.4 Objetivos . . . . .                                     | 5   |
| 1.4.1 Objetivos Generales . . . . .                         | 5   |
| 1.4.2 Objetivos específicos . . . . .                       | 6   |
| CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL                                | 7   |
| CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE SOLUCIÓN                           | 8   |
| 3.1 EJEMPLO DE COMO CITAR FIGURAS E ILUSTRACIONES . . . . . | 8   |
| CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN                       | 9   |
| 4.1 EJEMPLO DE COMO CITAR TABLAS . . . . .                  | 9   |
| CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES                                    | 10  |
| ANEXOS  | 11  |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS                                  | 12  |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |  |   |
|---|--|---|
| 1 | Ejemplo de pista . . . . .                             | 2 |
| 2 | Ejemplo de marcas de curva . . . . .                   | 3 |
| 3 | Aplicación de PRM . . . . .                            | 4 |
| 4 | Malla Curricular Ingeniería Civil Informática. . . . . | 8 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |   |   |
|---|---|---|
| 1 | Coloquios del Ciclo de Charlas Informática. . . . . | 9 |
|---|---|---|

## INTRODUCCIÓN

Debe proporcionar a un lector los antecedentes suficientes para poder contextualizar en general la situación tratada, a través de una descripción breve del área de trabajo y del tema particular abordado, siendo bueno especificar la naturaleza y alcance del problema; así como describir el tipo de propuesta de solución que se realiza, esbozar la metodología a ser empleada e introducir a la estructura del documento mismo de la memoria.

En el fondo, que el lector al leer la Introducción pueda tener una síntesis de cómo fue desarrollada la memoria, a diferencia del Resumen dónde se explicita más qué se hizo, no cómo se hizo.



## CAPÍTULO 1

### DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1. Contexto

En el mundo de la robótica existen diferentes categorías de competencias a lo largo del mundo. Una de las más antiguas es la All Japan Robotracer & micromouse Contest<sup>1</sup> con más de 40 años de trayectoria que consta de 2 categorías, Robotracer y Micromouse.

Los objetivos de esta competencia son, por un lado, un punto de encuentro para desarrolladores, con un enfoque educativo, ya que se llama a participar a diferentes escuelas y universidades, y por el otro, es ser un cuna para la innovación, diferentes empresas compiten acá para poner a pruebas nuevas tecnologías, y así evaluar su factibilidad y utilidad para luego poder implementarlas en aplicaciones de la vida real. El enfoque de este trabajo va a ser en la categoría denominada Robotracer.

Las bases de la competencia de la categoría a trabajar son las siguientes: Se tiene una pista consistente de una línea blanca continua sobre fondo negro (Ver figura 1). El robot debe ser capaz de recorrer la totalidad del trazado de forma válida, es decir, que la proyección del robot no se salga de este, y además detenerse por su cuenta. Esta pista no es conocida hasta el momento de participar, por lo que no se puede hacer un pre mapeado de la pista.

Se tienen 5 intentos dentro de un periodo de 3 minutos para lograr el menor tiempo posible. Lo normal es utilizar el primer intento para mapear la pista y los otros 4 para lograr vueltas válidas lo más rápido posible.

Aquí se puede ver la ronda del campeón actual de la competencia. [NVS, 2024]



Figura 1: Ejemplo de pista  
Fuente: Elaboración propia.

---

<sup>1</sup><https://www.ntf.or.jp/>, Página oficial de la competencia

## 1.2. Arquitectura Actual

En la última competencia realizada, la gran mayoría (por no decir todos), programaba sus robots en C/C++, aplicando algoritmos de MATLAB (más adelante se detalla). La ventaja de esto es que MATLAB genera scripts en C/C++, por lo que se pueden usar algoritmos de optimización preexistentes sin mayores complicaciones.

### 1.2.1. Mapeo

Para la primera vuelta, los robots deben ser capaces de las siguientes 2 características: identificar las marcas de curva que se encuentran en la pista en cada cambio de curvatura (Ver figura 2) y poder saber su posición actual en términos de coordenadas cartesianas (x,y).

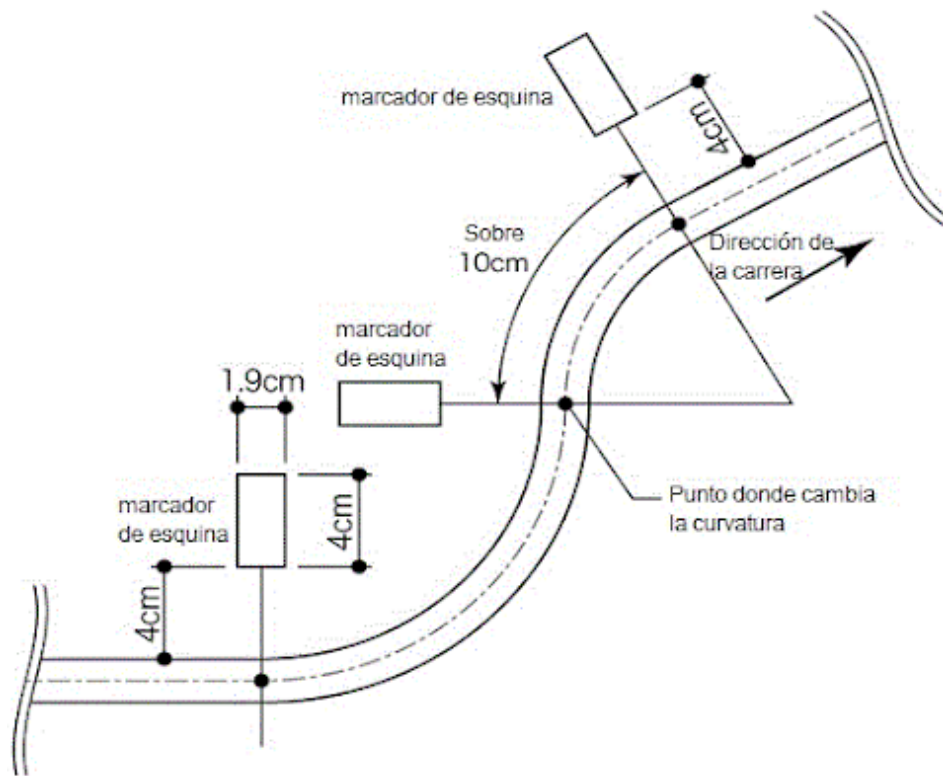


Figura 2: Ejemplo de marcas de curva  
Fuente: All Chile Robot Contest.

Para la primera, se necesitan sensores infrarrojos capaces de identificar blanco vs negro posicionados de tal forma que siempre detecten las marcas correspondientes. Para la segunda se pueden utilizar 2 elementos de manera independiente o junta (esta última es la más óptima): Encoders en cada rueda (Odometría), lo cual permite saber la velocidad real de cada una. Y una IMU, que básicamente es un giroscopio+acelerómetro.



Con la ruta definida, mediante un algoritmo de seguimiento de rutas <sup>3</sup>, se le dan las instrucciones de movimiento al robot, donde en cada intento se varían las variables de velocidad, aceleración y freno.

Esta información fue basada en las publicaciones de Haruki Shimotori <sup>4</sup> y en el siguiente video se puede ver una idea similar en donde se utiliza Path Smoothing [hidejr1053, 2022]

### 1.3. Información del problema

Los últimos años todos los esfuerzos de mejora se han enfocado en la mecánica y electrónica del robot. dejando de lado el software. Estas mejoras van desde el uso de motores más potentes, más eficientes, sensores más precisos, mejoras en agarre y tracción del robot mediante turbinas, pero sin cambiar los algoritmos que hay por detrás.

Todas estas mejoras no se han considerado como innovaciones grandes, por lo que existe un espacio de investigación en el que el software pueda ser el protagonista. Es por este motivo que en la última versión no se ha otorgado el premio a la innovación a ningún participante, siendo su obtención uno de los objetivos de esta memoria.

### 1.4. Objetivos

#### 1.4.1. Objetivos Generales

Implementar un método nuevo de seguimiento y mapeo de línea, para su posterior optimización enfocada en la maximización de la velocidad implementado en un robot sigue líneas, mediante el uso de redes neuronales, específicamente visión computacional y aprendizaje reforzado.

En primera instancia, se espera validar el trabajo mediante simuladores en diferentes disposiciones de pista, variando el nivel de dificultad, para eventualmente poder aplicar lo logrado con este trabajo en un robot real en la siguiente versión de la competencia All Japan para la verificación en un entorno competitivo de los métodos abordados.

---

<sup>3</sup><https://la.mathworks.com/help/robotics/ug/path-following-for-differential-drive-robot.html>, Path follower

<sup>4</sup><https://underbirdworks.blogspot.com/2020/12/matlabprm.html>, explicacion de Haruki Shimotori

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Implementar un algoritmo de visión computacional para un seguimiento exitoso de la pista en tiempo real.
- Implementar un algoritmo de mapeo de la pista en tiempo real, utilizando únicamente visión computacional.
- Implementar un algoritmo de aprendizaje reforzado para mejorar los tiempos entre intentos, optimizando el recorrido y velocidad a tiempo real.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO CONCEPTUAL**

Se debe describir la base conceptual o fundamentos en los que se basa tu memoria, es decir, todos los conceptos técnicos, metodologías, herramientas, etc. que están involucradas en la solución propuesta. En el fondo esta parte permite precisar y delimitar el problema, estableciendo definiciones para unificar conceptos y lenguaje y fijar relaciones con otros trabajos o soluciones encontradas por otros al mismo problema evitando así plagios o repetir errores ya conocidos o abordados por otros.

En esta parte es importante relacionar estos conceptos con la memoria y es fundamental utilizar referencias bibliográficas (o de la web) recientes, por ejemplo [Gettelfinger y Cussler, 2004].

## CAPÍTULO 3

### PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Se debe desarrollar la solución propuesta. Los subcapítulos por poner aquí son propios del autor. Se sugiere mencionar metodología usada. Es conveniente incorporar figuras y tablas para aclarar la solución, que deben indicar el número de la figura, su nombre y su autor o fuente (si las diseñas tú, la fuente es “Elaboración propia”). Ver ejemplos en esta página y en la siguiente.

Cabe mencionar que aquí está la esencia del trabajo en lo que se refiere al aporte creativo del memorista, es el momento de demostrar que usted es un destacado profesional que creó, diseñó y/o llevó a cabo la solución propuesta.

### 3.1. EJEMPLO DE COMO CITAR FIGURAS E ILUSTRACIONES

Se colocó una imagen que se puede referenciar también desde el texto (Ver figura 4).

| Malla Curricular Ingeniería Civil Informática       |  |   |   |   |  |   |  |  |  |   |  |
|---|--|---|---|---|--|---|--|--|--|---|--|
| AÑO 1   |  |   |   | AÑO 2   |  |   |  | AÑO 3  |  |   |  |
| SEMESTRE I  | SEMESTRE II  | SEMESTRE III  | SEMESTRE IV   | SEMESTRE V  | SEMESTRE VI  | SEMESTRE VII  | SEMESTRE VIII  | SEMESTRE IX  | SEMESTRE X   | SEMESTRE XI                                     |  |
| <b>INF-131</b> 1<br>Programación<br>3 5             | <b>QUI-010</b> 6<br>Química y Sociedad<br>3 5            | <b>INF-134</b> 12<br>Estructuras de Datos<br>1 3 5      | <b>INF-253</b> 11<br>Lenguajes de Programación<br>1 3 5 | <b>INF-239</b> 25<br>Bases de Datos<br>1 3 5                              | <b>INF-236</b> 20<br>Análisis y Diseño de Software<br>1 3 5      | <b>INF-225</b> 25<br>Ingeniería de Software<br>1 3 5                | <b>INF-322</b> 21<br>Diseño de Interfaces Usables<br>1 3 5 | <b>INF-302</b> 20<br>Electivo Informática II<br>3 5              |  |   |  |
| <b>MAT-021</b> 2<br>Matemáticas I<br>5 8            | <b>MAT-022</b> 7<br>Matemáticas II<br>2 5 7              | <b>MAT-023</b> 11<br>Matemáticas III<br>2 4 7           | <b>MAT-024</b> 11<br>Matemáticas IV<br>1 3 5            | <b>INF-245</b> 25<br>Arquitectura y Organización de Computadores<br>1 3 5 | <b>INF-246</b> 11<br>Sistemas Operativos<br>1 3 5                | <b>INF-256</b> 17<br>Redes de Computadores<br>1 3 5                 | <b>INF-343</b> 11<br>Sistemas Distribuidos<br>1 3 5        | <b>INF-303</b> 20<br>Electivo Informática III<br>3 5             | <b>INF-304</b> 20<br>Electivo Informática IV<br>3 5                          |   |  |
| <b>FIS-100</b> 9<br>Introducción a la Física<br>3 6 | <b>FIS-110</b> 9<br>Física General I<br>2 4 5 8          | <b>FIS-130</b> 11<br>Física General III<br>2 4 7        | <b>FIS-120</b> 20<br>Física General II<br>1 3 5         | <b>FIS-140</b> 25<br>Física General IV<br>1 3 5                           | <b>INF-276</b> 22<br>Ingeniería, Informática y Sociedad<br>1 3 5 | <b>ICN-270</b> 20<br>Información y Matemáticas Financieras<br>1 3 5 | <b>INF-301</b> 20<br>Electivo Informática I<br>3 5         | <b>INF-311</b> 20<br>Electivo I<br>3 5                           | <b>INF-313</b> 20<br>Electivo II<br>3 5                                      |   |  |
|   | <b>INTG-101</b> 9<br>Introducción a la Ingeniería<br>2 3 | <b>INF-152</b> 15<br>Estructuras Discretas<br>1 2 3 5   | <b>INF-155</b> 21<br>Informática Teórica<br>1 3 5       | <b>INF-280</b> 27<br>Estadística Computacional<br>1 3 5                   | <b>INF-221</b> 15<br>Algoritmos y Complejidad<br>1 3 5           | <b>INF-285</b> 27<br>Computación Científica<br>1 3 5                | <b>INF-295</b> 21<br>Inteligencia Artificial<br>1 3 5      | <b>INF-312</b> 20<br>Electivo II<br>3 5                          | <b>INF-314</b> 20<br>Electivo IV<br>3 5                                      |   |  |
| <b>HRW-132</b> 4<br>Humanístico I<br>2 3            | <b>HRW-133</b> 10<br>Humanístico II<br>2 3               | <b>INF-260</b> 16<br>Teoría de Sistemas<br>1 3 5        | <b>ICN-170</b> 22<br>Economía IA<br>1 3 5               | <b>INF-270</b> 25<br>Organizaciones y Sistemas de Información<br>1 3 5    | <b>INF-292</b> 24<br>Optimización<br>1 3 5                       | <b>INF-293</b> 24<br>Investigación de Operaciones<br>1 3 5          | <b>INF-266</b> 16<br>Sistemas de Gestión<br>1 3 5          | <b>INF-360</b> 25<br>Gestión de Proyectos de Ingeniería<br>1 3 5 | <b>INF-228</b> 27<br>Taller de Desarrollo de Proyecto de Ingeniería<br>1 3 5 |   |  |
| <b>DEW-100</b> 9<br>Educación Física I<br>1 2       | <b>DEW-101</b> 11<br>Educación Física II<br>1 2          | <b>INF-1</b> 17<br>Libre/Actividad co-curricular<br>1 2 | <b>INF-2</b> 21<br>Libre/Actividad co-curricular<br>1 2 | <b>INF-3</b> 25<br>Libre/Actividad co-curricular<br>1 2                   | <b>INF-4</b> 15<br>Libre/Actividad co-curricular<br>1 2          | <b>INF-5</b> 11<br>Libre/Actividad co-curricular<br>1 2             | <b>INF-6</b> 17<br>Libre/Actividad co-curricular<br>1 2    | <b>INF-7</b> 20<br>Libre/Actividad co-curricular<br>1 2          | <b>INF-309</b> 20<br>Trabajo de Título 1<br>1 2                              | <b>INF-310</b> 20<br>Trabajo de Título 2<br>1 2 |  |
| 14 24   | 18 28  | 18 32   | 18 31   | 17 30   | 16 27  | 16 28   | 16 27  | 16 27  | 16 27  | 12 20   |  |
| BACHILLER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA              |  |   |   | LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA                                   |  |   |  |  |  |   |  |

**Código asignatura** FIS-110 0  
**Número asignatura** FIS-110 0  
**Nombre asignatura** Física General I  
**Pre Requisito** (20) 5 11  
**Créditos USM SCT** 1 1

**Matemáticas, Física y Química**  
**Transversal y de Integración**  
**Humanidades, Educación Física y Libres**  
**Industrial y Comercial**

**Fundamentos de Informática**  
**Sistemas de Información y de Decisión**  
**Ingeniería de Software y Datos**  
**Infraestructura TIC**

**Computación Aplicada en Ciencia e Ingeniería**  
**Electivos Informática y Electivos**

**Al reverso perfil de egreso, inglés, prácticas, titulación, otros**

**Departamento de Informática**  
**Universidad Técnica Federico Santa María**

Figura 4: Malla Curricular Ingeniería Civil Informática.  
Fuente: Departamento de Informática.

## CAPÍTULO 4

### VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Se debe validar la solución propuesta. Esto significa probar o demostrar que la solución propuesta es válida para el entorno donde fue planteada.

Tradicionalmente es una etapa crítica, pues debe comprobarse por algún medio que vuestra propuesta es básicamente válida. En el caso de un desarrollo de software es la construcción y sus pruebas; en el caso de propuestas de modelos, guías o metodologías podrían ser desde la aplicación a un caso real hasta encuestas o entrevistas con especialistas; en el caso de mejoras de procesos u optimizaciones, podría ser comparar la situación actual (previa a la memoria) con la situación final (cuando la memoria está ya implementada) en base a un conjunto cuantitativo de indicadores o criterios.

#### 4.1. EJEMPLO DE COMO CITAR TABLAS

Se colocó una tabla que se puede referenciar también desde el texto (Ver tabla 1).

Tabla 1: Coloquios del Ciclo de Charlas Informática.  
Fuente: Elaboración Propia.

| Título Coloquio   | Presentador, País                  |
|---|------------------------------------|
| "Sensible, invisible, sometimes tolerant, heterogeneous, decentralized and interoperable... and we still need to assure its quality..." | Guilherme Horta Travassos, Brasil. |
| "Dispersed Multiphase Flow Modeling: From Environmental to Industrial Applications"   | Orlando Ayala, EE.UU.              |
| "Líneas de Producto Software Dinámicas para Sistemas atentos el Contexto"   | Rafael Capilla, España.            |
| ...   | ...                                |



## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES**

Las Conclusiones son, según algunos especialistas, el aspecto principal de una memoria, ya que reflejan el aprendizaje final del autor del documento. En ellas se tiende a considerar los alcances y limitaciones de la propuesta de solución, establecer de forma simple y directa los resultados, discutir respecto a la validez de los objetivos formulados, identificar las principales contribuciones y aplicaciones del trabajo realizado, así como su impacto o aporte a la organización o a los actores involucrados. Otro aspecto que tiende a incluirse son recomendaciones para quienes se sientan motivados por el tema y deseen profundizarlo, o lineamientos de una futura ampliación del trabajo.

Todo esto debe sintetizarse en al menos 5 páginas.

## **ANEXOS**

En los Anexos se incluye todo aquel material complementario que no es parte del contenido de los capítulos de la memoria, pero que permiten a un lector contar con un contenido adjunto relacionado con el tema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[Gettelfinger y Cussler, 2004] Gettelfinger, B. y Cussler, E. (2004). Will humans swim faster or slower in syrup? *AIChE journal*, 50(11):2646–2647.

[hidejr1053, 2022] hidejr1053 (2022). ロボトレース進捗、より高度化したショートカットテスト.

[NVS, 2024] NVS (2024). ロボトレース第 44 回全日本マイクロマウス大会 micromouse 2023 robotrace.