



CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Modelo de inteligencia artificial para la regulación de temperatura en equipos de inducción de hipotermia

Autor:

Ing. Ezequiel Fernandez

Director:

Dr. Lic. Tobías Canavesi (FIUBA)

Jurados:

Nombre del jurado 1 (pertenencia)

Nombre del jurado 2 (pertenencia)

Nombre del jurado 3 (pertenencia)

*Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
entre octubre de 2024 y abril de 2025.*

Resumen

En la presente memoria se describe el diseño e implementación de un modelo de inteligencia artificial para la empresa Amrra Electromedicina, en el marco del programa de vinculación. El objetivo del trabajo fue construir un modelo para regular la temperatura en un sistema de inducción de hipotermia y compararlo con el algoritmo que funciona actualmente en los equipos. Para el desarrollo fue fundamental la incorporación de los conocimientos adquiridos en la carrera, tales como análisis y preprocesamiento de datos, algoritmos de inteligencia artificial, arquitecturas de aprendizaje profundo y programación en Python.

Agradecimientos

Esta sección es para agradecimientos personales y es totalmente **OPCIONAL**.

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Introducción	1
1.2. Motivación	3
1.3. Conceptos generales	3
1.4. Objetivos y alcance	4
1.5. Estado del arte	5
2. Introducción específica	7
2.1. Estilo y convenciones	7
2.1.1. Uso de mayúscula inicial para los título de secciones	7
2.1.2. Este es el título de una subsección	7
2.1.3. Figuras	8
2.1.4. Tablas	9
2.1.5. Ecuaciones	10
3. Diseño e implementación	13
3.1. Análisis del software	13
4. Ensayos y resultados	15
4.1. Pruebas funcionales del hardware	15
5. Conclusiones	17
5.1. Conclusiones generales	17
5.2. Próximos pasos	17
Bibliografía	19

Índice de figuras

1.1. Diagrama de funcionamiento del equipo.	2
1.2. Diagrama del equipo con el nuevo modelo.	3
2.1. Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo.	8
2.2. Imagen tomada de la página oficial del procesador ¹	9
2.3. ¿Por qué de pronto aparece esta figura?	9
2.4. Tres gráficos simples	9

Índice de tablas

1.1. Estado del arte	6
2.1. caption corto	10

Dedicado a... [OPCIONAL]

Capítulo 1

Introducción general

En este capítulo se presentan conceptos básicos sobre la temática. También se comenta el contexto y las motivaciones que impulsan la realización de este proyecto. Además se menciona el alcance y los objetivos, y se analiza el estado del arte en el campo de estudio.

1.1. Introducción

El objetivo de este proyecto es desarrollar un modelo de inteligencia artificial prototipo que estime la temperatura del agua que circula en un equipo utilizado para la inducción de hipotermia a pacientes neonatales. Además se hará foco en la incidencia de los parámetros que se disponen en el cálculo para aportar al conocimiento sobre estos tratamientos. Esto puede significar a futuro una mejora en un producto que desarrolla la empresa y brindar a quienes necesiten este tratamiento un desarrollo superador del mismo respecto a la actualidad. El proyecto será desarrollado dentro del marco del programa de vinculación.

La empresa es AmrrA y los equipos en cuestión tienen el nombre Amrraterm HTF. Estos sistemas se utilizan con el propósito de inducir una hipotermia controlada en pacientes neonatales. Existen contextos en los cuales esto proporciona una mejor evolución de los pacientes. El principal caso de uso es el de pacientes que sufren hipoxia al nacer, esto es, falta de oxígeno en el cerebro. En estos casos, a temperatura corporal normal la interacción entre las neuronas es alta y se pueden desarrollar efectos adversos en la capacidad cerebral del paciente. Por esto un tratamiento estándar es el de inducir hipotermia por 72 horas a fin de minimizar los efectos que la hipoxia puede generar a futuro en los pacientes.

Para lograr esto el procedimiento estándar es sedar al paciente y colocarlo dentro de una incubadora, donde es envuelto en las mantas que forman parte del equipo. Por estas mantas circula agua destilada. El equipo recibe como dato de entrada la temperatura objetivo a la cual se quiere llevar al paciente, que suele ser de 33,5° C, y regula la temperatura del agua en función de la temperatura objetivo y la actual del paciente. Una vez terminado el tratamiento de hipotermia, el equipo funciona en un modo llamado rampa, en el cual sube paulatinamente la temperatura hasta llegar a un estado normal.

En la actualidad la temperatura del agua es regulada por un algoritmo de lógica difusa. En un rango de pesos estándar de los pacientes (entre 2,5 kg y 3,5 kg) el algoritmo funciona correctamente, pero es posible que en pesos inferiores o superiores haya comportamientos que este proyecto pueda mejorar. Se desarrollará

este modelo para evaluar si funciona mejor que el algoritmo actual en ese rango, en los valores inferiores o en los superiores de peso.

Se utilizarán diversos datos para construir un modelo acorde al problema como el peso del paciente, la edad, la temperatura objetivo y las variaciones de temperatura del agua y paciente. Además de construir un modelo superador, también se busca detectar la incidencia de ciertos parámetros, como el peso del paciente, que no se utiliza por el algoritmo actual. Para evaluar el comportamiento del modelo se implementa un entorno que permita ingresar datos y visualizar la respuesta del modelo para los datos ingresados.

El equipo consta de una interfaz mediante la cual el personal de salud indica los datos necesarios, un sistema de mantas y cañerías por las que circula agua destilada, un sistema térmico con la responsabilidad de administrar la energía para que el agua esté a la temperatura indicada y un algoritmo de lógica difusa responsable de calcular la temperatura óptima del agua para el tratamiento. Un diagrama de esto se puede apreciar en la figura 1.1.

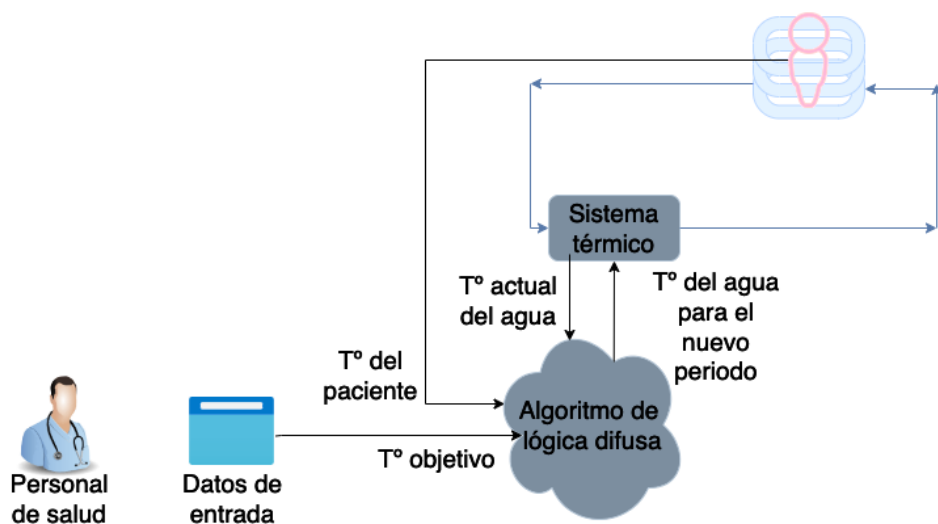


FIGURA 1.1. Diagrama de funcionamiento del equipo.

El modelo implementado cumple el mismo rol que el algoritmo que funciona actualmente, por lo que en el diagrama se lo puede ubicar a la par. Además de la temperatura objetivo, la actual del agua y la actual del paciente, recibirá el peso del paciente, y se compara el comportamiento de ambas soluciones. Se propone que funcionen un tiempo en paralelo y un elector defina cual de las temperaturas elegidas aplicar. Un diagrama de esto se puede apreciar en la figura 1.2.

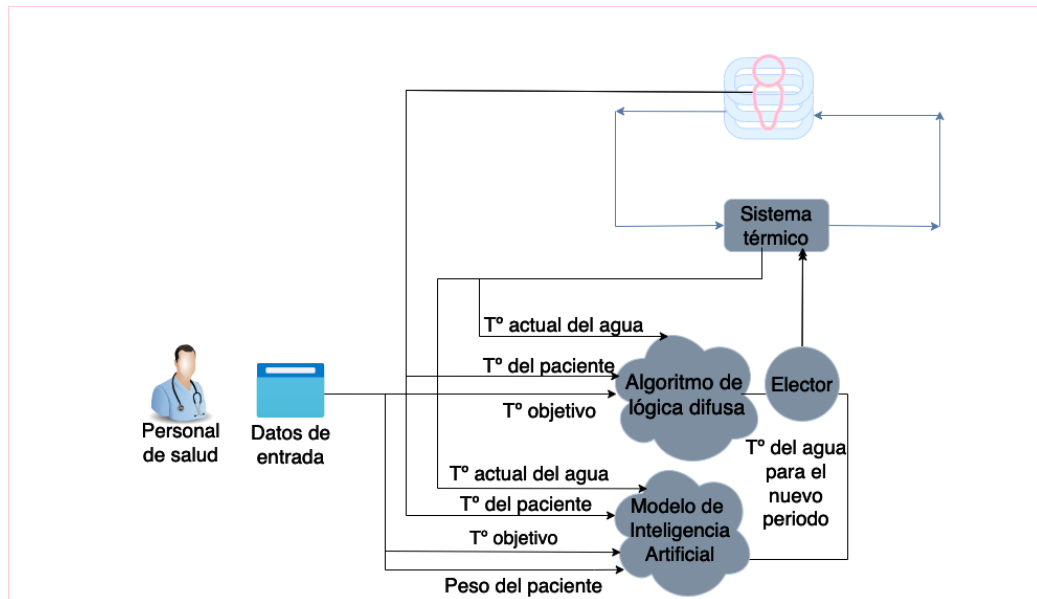


FIGURA 1.2. Diagrama del equipo con el nuevo modelo.

1.2. Motivación

Existen dos motivaciones fundamentales para el desarrollo de este proyecto. Por un lado, esta la incorporación de técnicas de inteligencia artificial para el modelado de tratamientos de inducción de hipotermia en los equipos mencionados, lo que supone una actualización al modelado actual y se puede esperar un comportamiento superador, lo que implicaría una mejor evolución en los pacientes. Por el otro, esta la incorporación del peso como variable para modelar el problema, lo que supone un mejor comportamiento y nuevamente, una mejoría en la evolución de los pacientes. Sin embargo, es posible que el modelo resultante no se comporte mejor que el algoritmo actual. Estos equipos están en funcionamiento en una gran cantidad de hospitales en todo el país, y su funcionamiento es aceptado por la comunidad médica. En este caso, igual este proyecto aportará valor a la empresa, ya que brindará información acerca de la incidencia de los parámetros, y esto brindará un crecimiento en el conocimiento que se tiene sobre estos tratamientos.

1.3. Conceptos generales

A continuación mencionaremos la definición de algunos conceptos y valores importantes para la temática. Como se mencionó anteriormente, los equipos en cuestión se denominan Amrraterm HTF. Algunos son propiedad de la empresa y se alquilan en centros de salud, mientras que otros fueron adquiridos. Están en funcionamiento en hospitales públicos y privados. Su dominio es acotado al tratamiento de regulación de temperatura en pacientes neonatales, esto es, en recién nacidos. El principal caso de uso es el de provocar una hipotermia controlada en pacientes que sufren hipoxia al nacer. Para esto, el profesional establece una

temperatura a la que quiere llevar al paciente. Esta temperatura la denominamos temperatura objetivo. Los tratamientos suelen durar 72 hs. aproximadamente. Existen tres etapas en este tiempo. La primera, llamada rampa hacia abajo, se da en los primeros minutos del tratamiento, periodo en el que se busca llevar la temperatura del paciente hacia la objetivo, producto de la circulación de agua fría por las mantas. En la segunda etapa prima la estabilidad, aquí el objetivo es mantener al paciente en la temperatura objetivo. En la última etapa, denominada rampa hacia arriba, producto de la circulación de agua con mayor temperatura en las mantas del equipo, el paciente recupera su temperatura normal. Al establecer los parámetros del tratamiento, el profesional indica el peso del paciente. Este dato no es tenido en cuenta por el algoritmo actual pero si se utiliza para el entrenamiento de los modelos de este proyecto. Los pacientes suelen estar en un peso superior a 2,5 kg e inferior a 3,5 kg. En porcentaje, el desvío de este valor no es despreciable.

Podemos distinguir los siguientes atributos:

- Temperatura objetivo, a la que se quiere llevar al paciente.
- Temperatura del agua que circula por las mantas.
- Temperatura actual del paciente en un instante del tiempo.
- Peso del paciente.

Uno de los criterios de bondad de estos equipos es que, en la etapa estable, la temperatura del paciente diste lo mínimo de la temperatura objetivo. En la práctica se ve que la temperatura oscila sobre la temperatura objetivo, por lo que podemos decir que un modelo será mejor que el actual, en la etapa estable, si la amplitud de la oscilación sobre la temperatura objetivo es menor.

1.4. Objetivos y alcance

Para el presente proyecto se plantean objetivos funcionales y conceptuales. Desde el punto de vista funcional se busca el desarrollo de una solución de inteligencia artificial acorde al problema planteado, lo que significa un nuevo enfoque respecto a lo que utilizan actualmente, una actualización y una potencial mejora de su producto. Desde el lado conceptual, se busca entender la incidencia de los parámetros, con mayor énfasis en el peso y en el comportamiento del modelo respecto a pacientes de distinto peso.

Se definieron los siguientes requerimientos:

1. Requerimientos funcionales:

- a) El modelo debe predecir el cambio de temperatura óptimo a aplicar.
- b) La salida del modelo debe ser conceptualmente análoga a la del algoritmo de lógica difusa utilizado actualmente, a fin de poder compararlos.
- c) El modelo debe dar una respuesta en un tiempo promedio menor o igual a 10 veces el tiempo promedio de respuesta del algoritmo actual.
- d) El sistema debe permitir ingresar datos de forma manual y mostrar el resultado.

- e) Se debe calcular la incidencia del peso y de los demás atributos en la solución.
- 2. Requerimientos conceptuales:
 - a) Deben utilizarse datos sintéticos en las pruebas.
- 3. Requerimiento de testing:
 - a) Se deben ejecutar pruebas secuenciales con datos reales y mostrar una comparación entre los resultados del modelo a implementar y del algoritmo actual.
 - b) Se deben comparar tiempos entre el modelo propuesto y el algoritmo actual.
 - c) Se debe calcular una métrica a definir para calcular la performance del modelo.
- 4. Requerimiento de documentación:
 - a) Se deben documentar las decisiones tomadas.
 - b) Se deben documentar los resultados de las pruebas y las distintas métricas.
 - c) Se requiere documentar el código y las formas de utilizar al sistema.
- 5. Requerimiento asociados con regulaciones
 - a) Se requiere que los casos utilizados no expongan datos que infrinjan derechos de privacidad.

El proyecto no incluye:

- La incorporación del modelo a los equipos en funcionamiento.
- El despliegue del modelo en la nube.
- El desarrollo de una interfaz gráfica, una aplicación o una web.

1.5. Estado del arte

En el artículo [1] se habla acerca del tratamiento de inducción de hipotermia. Se mencionan estudios donde se realiza el tratamiento, valores seguros para el mismo y evolución de los pacientes. Esto puede ser útil para definir rangos de temperaturas adecuadas para el modelado del problema y tener mas conocimiento del contexto. Pero no se plantean soluciones de software para llevar a cabo los tratamientos. Por otro lado están los artículos [2], [3], [4], [5] que analizan el uso de diversos modelos de *machine learning* en contextos de hipotermia con el objetivo de predecir potenciales casos de hipotermia. También se analizó el artículo [6] que mediante inteligencia artificial busca predecir el daño causado por la hipotermia. Estos enfoques son interesantes para evaluar los riesgos de someter al paciente bajo este tratamiento pero no son el objetivo de este proyecto. En este caso el foco estará en un modelo que regule de forma óptima la inducción a hipotermia de un paciente. Por esto, sólo el primer artículo puede aportar información relevante al problema.

TABLA 1.1. Comparación de lecturas encontradas

Artículo	Pacientes	Objetivo
[1]	Pediátricos	Análisis de tratamientos de hipotermia
[2]	General	Predicción
[3]	Pediátricos	Predicción
[4]	General	Predicción
[5]	General	Predicción
[6]	General	Análisis de daño

Capítulo 2

Introducción específica

Todos los capítulos deben comenzar con un breve párrafo introductorio que indique cuál es el contenido que se encontrará al leerlo. La redacción sobre el contenido de la memoria debe hacerse en presente y todo lo referido al proyecto en pasado, siempre de modo impersonal.

2.1. Estilo y convenciones

2.1.1. Uso de mayúscula inicial para los título de secciones

Si en el texto se hace alusión a diferentes partes del trabajo referirse a ellas como capítulo, sección o subsección según corresponda. Por ejemplo: “En el capítulo **1** se explica tal cosa”, o “En la sección **2.1** se presenta lo que sea”, o “En la subsección **2.1.2** se discute otra cosa”.

Cuando se quiere poner una lista tabulada, se hace así:

- Este es el primer elemento de la lista.
- Este es el segundo elemento de la lista.

Notar el uso de las mayúsculas y el punto al final de cada elemento.

Si se desea poner una lista numerada el formato es este:

1. Este es el primer elemento de la lista.
2. Este es el segundo elemento de la lista.

Notar el uso de las mayúsculas y el punto al final de cada elemento.

2.1.2. Este es el título de una subsección

Se recomienda no utilizar **texto en negritas** en ningún párrafo, ni tampoco texto subrayado. En cambio sí se debe utilizar *texto en itálicas* para palabras en un idioma extranjero, al menos la primera vez que aparecen en el texto. En el caso de palabras que estamos inventando se deben utilizar “comillas”, así como también para citas textuales. Por ejemplo, un *digital filter* es una especie de “selector” que permite separar ciertos componentes armónicos en particular.

La escritura debe ser impersonal. Por ejemplo, no utilizar “el diseño del firmware lo hice de acuerdo con tal principio”, sino “el firmware fue diseñado utilizando tal principio”.

El trabajo es algo que al momento de escribir la memoria se supone que ya está concluido, entonces todo lo que se refiera a hacer el trabajo se narra en tiempo pasado, porque es algo que ya ocurrió. Por ejemplo, "se diseñó el firmware empleando la técnica de test driven development".

En cambio, la memoria es algo que está vivo cada vez que el lector la lee. Por eso transcurre siempre en tiempo presente, como por ejemplo:

"En el presente capítulo se da una visión global sobre las distintas pruebas realizadas y los resultados obtenidos. Se explica el modo en que fueron llevados a cabo los test unitarios y las pruebas del sistema".

Se recomienda no utilizar una sección de glosario sino colocar la descripción de las abreviaturas como parte del mismo cuerpo del texto. Por ejemplo, RTOS (*Real Time Operating System*, Sistema Operativo de Tiempo Real) o en caso de considerarlo apropiado mediante notas a pie de página.

Si se desea indicar alguna página web utilizar el siguiente formato de referencias bibliográficas, dónde las referencias se detallan en la sección de bibliografía de la memoria, utilizado el formato establecido por IEEE en [IEEE:citation]. Por ejemplo, "el presente trabajo se basa en la plataforma EDU-CIAA-NXP [CIAA], la cual...".

2.1.3. Figuras

Al insertar figuras en la memoria se deben considerar determinadas pautas. Para empezar, usar siempre tipografía claramente legible. Luego, tener claro que **es incorrecto** escribir por ejemplo esto: "El diseño elegido es un cuadrado, como se ve en la siguiente figura:"



La forma correcta de utilizar una figura es con referencias cruzadas, por ejemplo: "Se eligió utilizar un cuadrado azul para el logo, como puede observarse en la figura 2.1".



FIGURA 2.1. Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo.

El texto de las figuras debe estar siempre en español, excepto que se decida reproducir una figura original tomada de alguna referencia. En ese caso la referencia

FIGURA 2.2. Imagen tomada de la página oficial del procesador¹.

de la cual se tomó la figura debe ser indicada en el epígrafe de la figura e incluida como una nota al pie, como se ilustra en la figura 2.2.

La figura y el epígrafe deben conformar una unidad cuyo significado principal pueda ser comprendido por el lector sin necesidad de leer el cuerpo central de la memoria. Para eso es necesario que el epígrafe sea todo lo detallado que corresponda y si en la figura se utilizan abreviaturas entonces aclarar su significado en el epígrafe o en la misma figura.



FIGURA 2.3. ¿Por qué de pronto aparece esta figura?

Nunca colocar una figura en el documento antes de hacer la primera referencia a ella, como se ilustra con la figura 2.3, porque sino el lector no comprenderá por qué de pronto aparece la figura en el documento, lo que distraerá su atención.

Otra posibilidad es utilizar el entorno *subfigure* para incluir más de una figura, como se puede ver en la figura 2.4. Notar que se pueden referenciar también las figuras internas individualmente de esta manera: 2.4a, 2.4b y 2.4c.



(A) Un caption.



(B) Otro.



(C) Y otro más.

FIGURA 2.4. Tres gráficos simples

El código para generar las imágenes se encuentra disponible para su reutilización en el archivo **Chapter2.tex**.

2.1.4. Tablas

Para las tablas utilizar el mismo formato que para las figuras, sólo que el epígrafe se debe colocar arriba de la tabla, como se ilustra en la tabla 2.1. Observar que

¹Imagen tomada de <https://goo.gl/images/i7C70w>

sólo algunas filas van con líneas visibles y notar el uso de las negritas para los encabezados. La referencia se logra utilizando el comando `\ref{<label>}` donde label debe estar definida dentro del entorno de la tabla.

```
\begin{table}[h]
\centering
\caption[caption corto]{caption largo más descriptivo}
\begin{tabular}{l c c}
\toprule
\textbf{Especie} & \textbf{Tamaño} & \textbf{Valor}\\
\midrule
Amphiprion Ocellaris & 10 cm & \$ 6.000 \\
Hepatus Blue Tang & 15 cm & \$ 7.000 \\
Zebrasoma Xanthurus & 12 cm & \$ 6.800 \\
\bottomrule
\hline
\end{tabular}
\label{tab:peces}
\end{table}
```

TABLA 2.1. caption largo más descriptivo

Especie	Tamaño	Valor
Amphiprion Ocellaris	10 cm	\$ 6.000
Hepatus Blue Tang	15 cm	\$ 7.000
Zebrasoma Xanthurus	12 cm	\$ 6.800

En cada capítulo se debe reiniciar el número de conteo de las figuras y las tablas, por ejemplo, figura 2.1 o tabla 2.1, pero no se debe reiniciar el conteo en cada sección. Por suerte la plantilla se encarga de esto por nosotros.

2.1.5. Ecuaciones

Al insertar ecuaciones en la memoria dentro de un entorno *equation*, éstas se numeran en forma automática y se pueden referir al igual que como se hace con las figuras y tablas, por ejemplo ver la ecuación 2.1.

$$ds^2 = c^2 dt^2 \left(\frac{d\sigma^2}{1 - k\sigma^2} + \sigma^2 [d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2] \right) \quad (2.1)$$

Es importante tener presente que si bien las ecuaciones pueden ser referidas por su número, también es correcto utilizar los dos puntos, como por ejemplo “la expresión matemática que describe este comportamiento es la siguiente:”

$$\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V(\mathbf{r}) \Psi = -i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \quad (2.2)$$

Para generar la ecuación 2.1 se utilizó el siguiente código:

```
\begin{equation}
\label{eq:metric}
```



```

ds^2 = c^2 dt^2 \left( \frac{d\sigma^2}{1-k\sigma^2} +
\sigma^2\left[ d\theta^2 +
\sin^2\theta d\phi^2 \right] \right)
\end{equation}

```

Y para la ecuación 2.2:

```

\begin{equation}
\label{eq:schrodinger}
\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi + V(\mathbf{r})\Psi =
-i\hbar \frac{\partial\Psi}{\partial t}
\end{equation}

```


Capítulo 3

Diseño e implementación

3.1. Análisis del software

La idea de esta sección es resaltar los problemas encontrados, los criterios utilizados y la justificación de las decisiones que se hayan tomado.

Se puede agregar código o pseudocódigo dentro de un entorno `lstlisting` con el siguiente código:

```
\begin{lstlisting}[caption= "un epígrafe descriptivo"]
  las líneas de código irían aquí...
\end{lstlisting}
```

A modo de ejemplo:

```
1 #define MAX_SENSOR_NUMBER 3
2 #define MAX_ALARM_NUMBER 6
3 #define MAX_ACTUATOR_NUMBER 6
4
5 uint32_t sensorValue[MAX_SENSOR_NUMBER];
6 FunctionalState alarmControl[MAX_ALARM_NUMBER]; //ENABLE or DISABLE
7 state_t alarmState[MAX_ALARM_NUMBER]; //ON or OFF
8 state_t actuatorState[MAX_ACTUATOR_NUMBER]; //ON or OFF
9
10 void vControl() {
11
12     initGlobalVariables();
13
14     period = 500 ms;
15
16     while(1) {
17
18         ticks = xTaskGetTickCount();
19
20         updateSensors();
21
22         updateAlarms();
23
24         controlActuators();
25
26         vTaskDelayUntil(&ticks, period);
27     }
28 }
```

CÓDIGO 3.1. Pseudocódigo del lazo principal de control.

Capítulo 4

Ensayos y resultados

4.1. Pruebas funcionales del hardware

La idea de esta sección es explicar cómo se hicieron los ensayos, qué resultados se obtuvieron y analizarlos.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Conclusiones generales

La idea de esta sección es resaltar cuáles son los principales aportes del trabajo realizado y cómo se podría continuar. Debe ser especialmente breve y concisa. Es buena idea usar un listado para enumerar los logros obtenidos.

Algunas preguntas que pueden servir para completar este capítulo:

- ¿Cuál es el grado de cumplimiento de los requerimientos?
- ¿Cuán fielmente se pudo seguir la planificación original (cronograma incluido)?
- ¿Se manifestó algunos de los riesgos identificados en la planificación? ¿Fue efectivo el plan de mitigación? ¿Se debió aplicar alguna otra acción no contemplada previamente?
- Si se debieron hacer modificaciones a lo planificado ¿Cuáles fueron las causas y los efectos?
- ¿Qué técnicas resultaron útiles para el desarrollo del proyecto y cuáles no tanto?

5.2. Próximos pasos

Acá se indica cómo se podría continuar el trabajo más adelante.

Bibliografía

- [1] George Imataka et al. «Brain Hypothermia Therapy and Targeted Temperature Management for Acute Encephalopathy in Children: Status and Prospects». En: *Journal of Clinical Medicine* 12.6 (2023). ISSN: 2077-0383. DOI: [10.3390/jcm12062095](https://doi.org/10.3390/jcm12062095). URL: <https://www.mdpi.com/2077-0383/12/6/2095>.
- [2] Christoph Dibiasi et al. «Predicting Intraoperative Hypothermia Burden during Non-Cardiac Surgery: A Retrospective Study Comparing Regression to Six Machine Learning Algorithms». En: *Journal of Clinical Medicine* 12.13 (2023). ISSN: 2077-0383. DOI: [10.3390/jcm12134434](https://doi.org/10.3390/jcm12134434). URL: <https://www.mdpi.com/2077-0383/12/13/4434>.
- [3] Pradeep Singh et al. «Early prediction of hypothermia in pediatric intensive care units using machine learning». En: *Frontiers in Physiology* 13 (2022). ISSN: 1664-042X. DOI: [10.3389/fphys.2022.921884](https://doi.org/10.3389/fphys.2022.921884). URL: <https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2022.921884>.
- [4] Micheal Francis Kalyango et al. «Interpretable Machine Learning Regressors for Mild Hypothermia Prediction in General Surgical Operations». En: (2023), págs. 975-982. DOI: [10.1109/ICOEI56765.2023.10125880](https://doi.org/10.1109/ICOEI56765.2023.10125880).
- [5] Egemen Nazife Yazlik y Omer Galip Saracoglu. «A deep learning-based real-time hypothermia and hyperthermia monitoring system with a simple body sensor». En: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine* 238.7 (2024). PMID: 39104260, págs. 827-836. DOI: [10.1177/09544119241266375](https://doi.org/10.1177/09544119241266375). eprint: <https://doi.org/10.1177/09544119241266375>. URL: <https://doi.org/10.1177/09544119241266375>.
- [6] Sayma Shammi et al. «Machine learning-based detection of freezing events using infrared thermography». En: *Computers and Electronics in Agriculture* 198 (2022), págs. 107013. ISSN: 0168-1699. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107013>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169922003301>.