

## Capítulo 4: Estudio comparativo entre el control híbrido con lógica borrosa y el control $H_{\infty}$

En este capítulo vamos a realizar una comparación entre las dos estrategias de control que han sido objeto de análisis en esta tesis. En primer lugar compararemos las respectivas respuestas transitorias frente diversas situaciones para después contrastar la complejidad de implementación de cada una de dichas estrategias.

### 4.1 Respuesta transitoria

Vamos a analizar las respuestas transitorias de las dos estrategias de control en diferentes situaciones como son el transitorio de arranque, variaciones en la tensión de alimentación del 30 % y perturbaciones de carga del 20 %, 50 % y 100 %. Los aspectos a comparar son el error máximo observado y el tiempo de establecimiento.

#### 4.1.1 Transitorio de arranque

En las figuras 4.1 y 4.2 podemos observar respectivamente los transitorios de arranque del control híbrido borroso-deslizante y del control  $H_{\infty}$ .

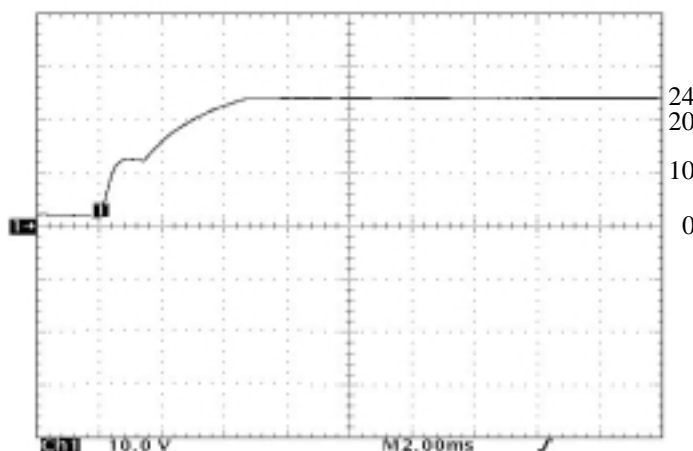
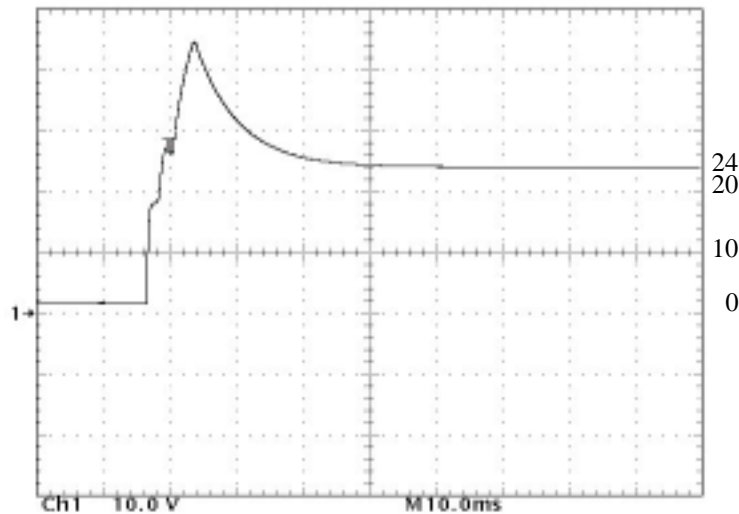


Figura 4.1: Transitorio de arranque del control híbrido borroso-deslizante.

En la figura 4.1 podemos observar que en el transitorio no hay ningún sobrepico de tensión y que este posee un tiempo de establecimiento de 4 ms.



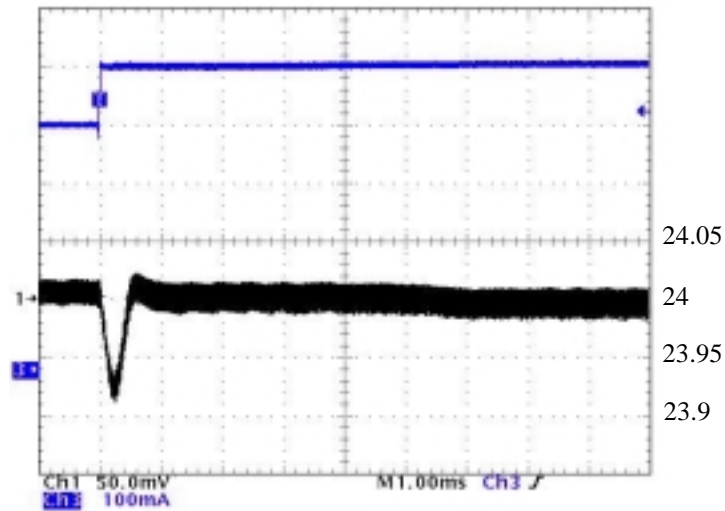
**Figura 4.2:** Transitorio de arranque del control  $H_{\infty}$ .

En la figura 4.2 podemos observar que el transitorio posee un sobrepico de 20 V y un tiempo de establecimiento de 33 ms.

Podemos concluir que en el transitorio de arranque el control híbrido borroso-deslizante es claramente superior en los dos aspectos de estudio.

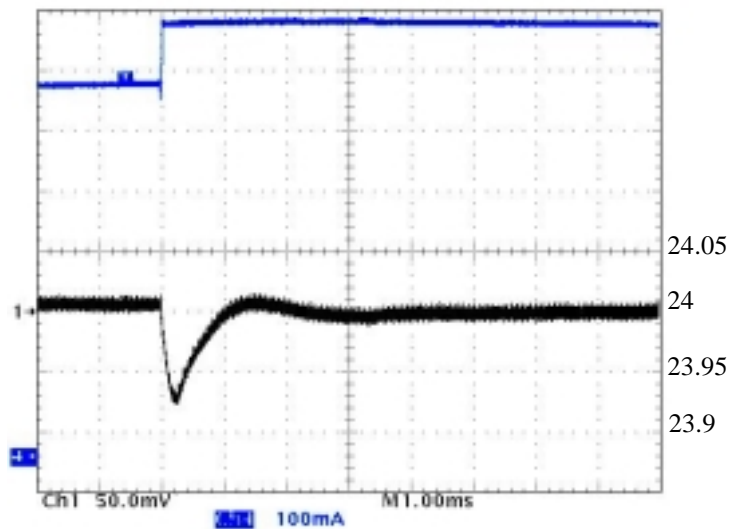
#### 4.1.2 Perturbaciones en la carga del 20 %

En las figuras 4.3 y 4.4 podemos observar respectivamente las respuestas transitorias a una perturbación en la carga del 20 % del control híbrido borroso-deslizante y del control  $H_{\infty}$ .



**Figura 4.3:** Respuesta transitoria del control borroso-deslizante a perturbaciones en la carga del 20%.

En la figura 4.3 podemos observar que el transitorio posee un error máximo de tensión de 80 mV y un tiempo de establecimiento de 0.5 ms.



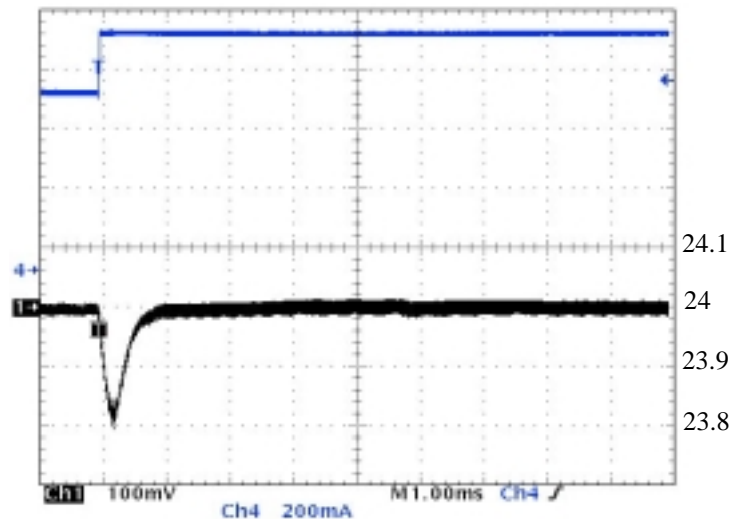
**Figura 4.4:** Respuesta transitoria del control  $H_\infty$  a perturbaciones en la carga del 20%.

En la figura 4.4 podemos observar que el transitorio posee un error máximo de tensión de 70 mV y un tiempo de establecimiento de 1 ms.

En este caso el control  $H_\infty$  posee un error máximo ligeramente menor aunque su tiempo de establecimiento es aproximadamente el doble que en el caso del control híbrido borroso-deslizante.

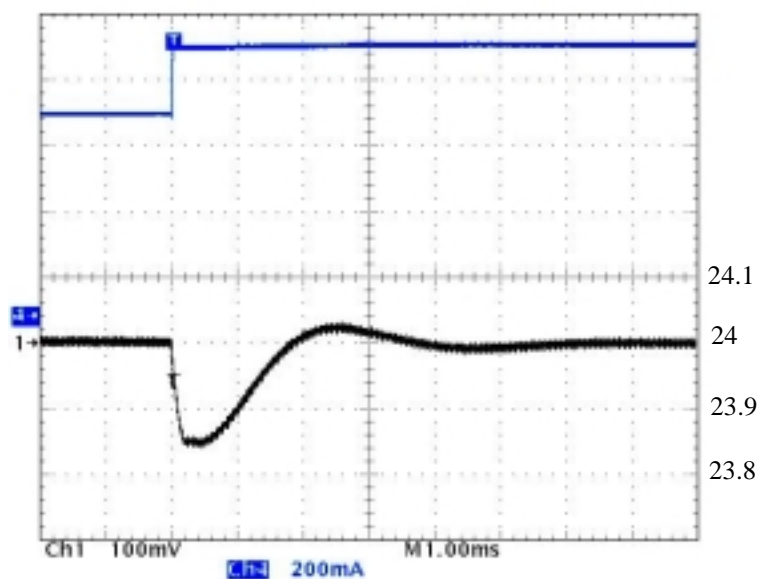
### 4.1.3 Perturbaciones en la carga del 40 %

En las figuras 4.5 y 4.6 podemos observar respectivamente las respuestas transitorias a una perturbación en la carga del 40 % del control híbrido borroso-deslizante y del control  $H_{\infty}$ .



**Figura 4.5:** Respuesta transitoria a del control borroso-deslizante a perturbaciones en la carga del 40%.

En la figura 4.5 podemos observar que el transitorio posee un error máximo de tensión de 180 mV y un tiempo de establecimiento 1 ms.



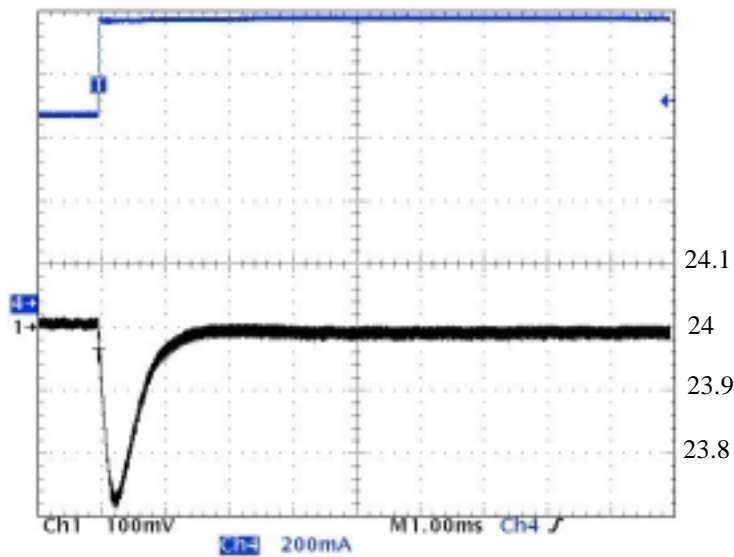
**Figura 4.6:** Respuesta transitoria del control  $H_{\infty}$  a perturbaciones en la carga del 40%.

En la figura 4.6 podemos observar que el transitorio posee un error máximo de tensión de 150 mV y un tiempo de establecimiento de 3 ms.

En este caso el control  $H_\infty$  también posee un error máximo ligeramente menor aunque su tiempo de establecimiento continua siendo aproximadamente el doble que en el caso del control híbrido borroso-deslizante.

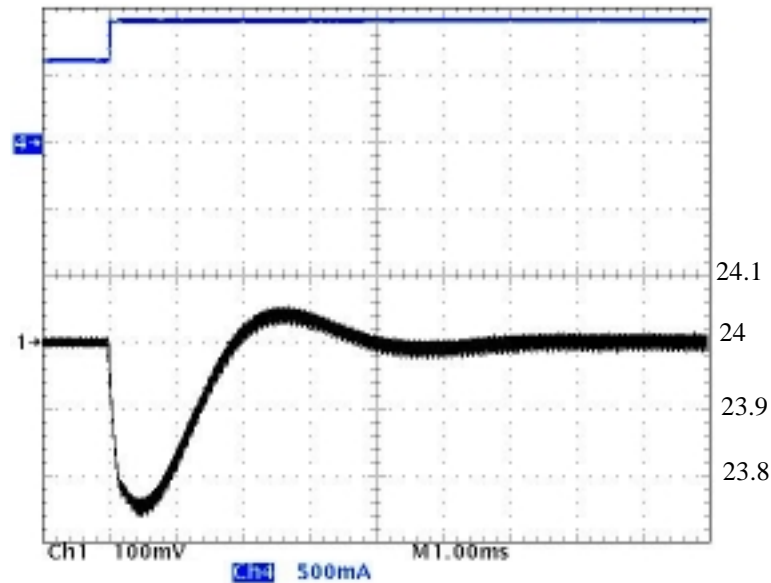
#### 4.1.4 Perturbaciones en la carga del 60 %

En las figuras 4.7 y 4.8 podemos observar respectivamente las respuestas transitorias a una perturbación en la carga del 60 % del control híbrido borroso-deslizante y del control  $H_\infty$ .



**Figura 4.7:** Respuesta transitoria del control borroso-deslizante a perturbaciones en la carga del 60%.

En la figura 4.7 podemos observar que el transitorio posee un error máximo de tensión de 270 mV y un tiempo de establecimiento de 1.5 ms.



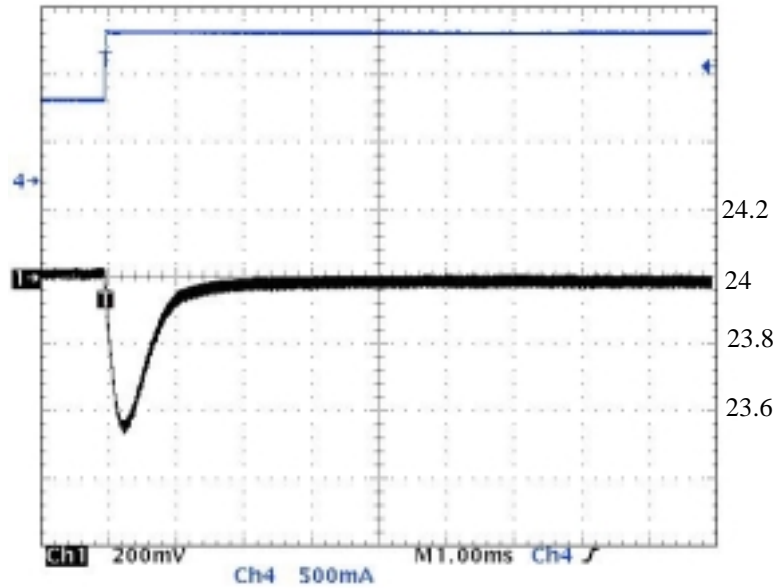
**Figura 4.8:** Respuesta transitoria del control  $H_{\infty}$  a perturbaciones en la carga del 60%.

En la figura 4.8 podemos observar que el transitorio posee un error máximo de tensión de 250 mV y un tiempo de establecimiento de 3.5 ms.

En este caso el control  $H_{\infty}$  también posee un error máximo ligeramente menor aunque su tiempo de establecimiento es un poco más del doble que en el caso del control híbrido borroso-deslizante.

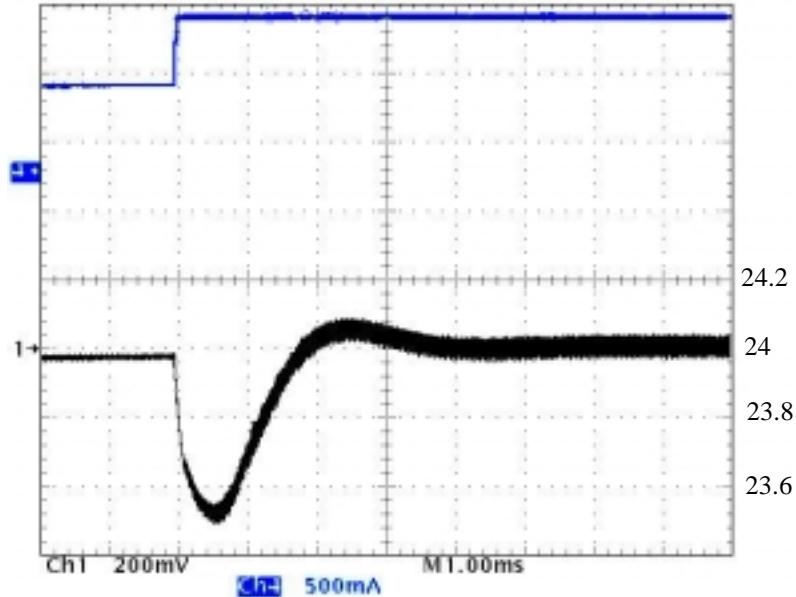
#### 4.1.5 Perturbaciones en la carga del 100 %

En las figuras 4.9 y 4.10 podemos observar respectivamente las respuestas transitorias a una perturbación en la carga del 100 % del control híbrido borroso-deslizante y del control  $H_{\infty}$ .



**Figura 4.9:** Respuesta transitoria a del control borroso-deslizante a perturbaciones en la carga del 100%.

En la figura 4.9 podemos observar que el transitorio posee un error máximo de tensión de 420 mV y un tiempo de establecimiento de 2 ms.



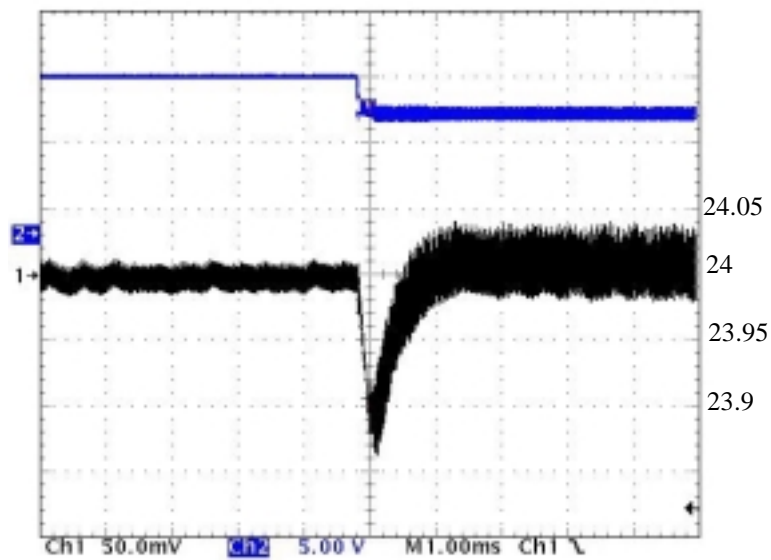
**Figura 4.10:** Respuesta transitoria del control  $H_{\infty}$  a perturbaciones en la carga del 100%.

En la figura 4.10 podemos observar que el transitorio posee un error máximo de tensión de 440 mV y un tiempo de establecimiento de 4 ms.

En este caso control  $H_{\infty}$  posee un error máximo ligeramente mayor y su tiempo de establecimiento es el doble que en el caso del control híbrido borroso-deslizante.

#### 4.1.6 Variaciones en la alimentación del 30 %

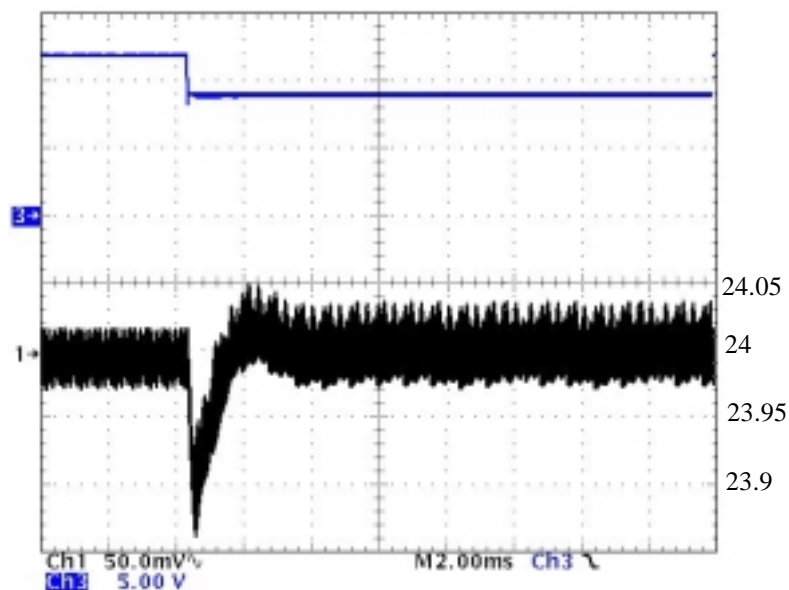
En las figuras 4.11 y 4.12 podemos observar respectivamente las respuestas transitorias a una disminución del 30 % en la tensión de alimentación del control híbrido borroso-deslizante y del control  $H_{\infty}$ .



**Figura 4.11:** Respuesta transitoria del control borroso-deslizante a variaciones en la tensión de alimentación del 30%.

En la figura 4.11 podemos observar que el transitorio posee un error máximo de tensión de unos 110 mV y un tiempo de establecimiento de unos 0.8 ms.





**Figura 4.12:** Respuesta transitoria del control  $H_{\infty}$  a variaciones en la tensión de alimentación del 30%.

En la figura 4.12 podemos observar que el transitorio posee un error máximo de tensión de 110 mV y un tiempo de establecimiento de 2 ms.

En la siguiente figura podemos observar una tabla resumen del análisis de la respuesta transitoria:

<b>Tiempo establecimiento</b>	<b>Borroso-Deslizante</b>	<b><math>H_{\infty}</math></b>
<b>Error máximo</b>		
<b>Arranque</b>	4 ms	33 ms
	0 V	20 V
<b>20 % carga</b>	0.5 ms	1 ms
	80 mV	70 mV
<b>40 % carga</b>	1 ms	3 ms
	180 mV	150 mV
<b>60 % carga</b>	1.5 ms	3.5 ms
	270 mV	250 mV
<b>100 % carga</b>	2 ms	4 ms
	420 mV	440 mV
<b>30 % Tensión</b>	0.8 ms	2 ms
<b>Alimentación</b>	110 mV	110 mV

**Figura 4.13:** Tabla resumen de resultados experimentales.

Como podemos observar en la tabla resumen de la figura 4.13, el control borroso-deslizante posee mejores prestaciones que el control directo  $H_{\infty}$ , ya que este posee un tiempo de establecimiento que en todos los casos es como mínimo el doble que en el control borroso-deslizante siendo el error máximo obtenido en los dos casos equivalente.

## 4.2 Complejidad y coste

En este apartado vamos a analizar la complejidad de la implementación y el coste de las dos estrategias de control objeto de estudio. La complejidad de implementación será analizada en términos de número y tipo de componentes utilizados, mientras que el coste será un valor aproximado.

### Control híbrido borroso-deslizante

La complejidad principal del diseño del control híbrido la constituye la implementación del sensado de corriente a causa de la utilización de una alimentación no simétrica (0-5 V). De manera resumida, la lista de componentes principales es la siguiente:

- 10 amplificadores operacionales.
- 49 resistencias.
- 11 condensadores.
- 1 regulador de tensión LM7805.
- 1 cristal de cuarzo.
- 1 microcontrolador PIC16F873 de Microchip®

El coste aproximado de la implementación es de 4000 ptas.

### Control $H_{\infty}$

No existe ninguna complejidad especial en la implementación de este controlador ya que se trata de una función de transferencia lineal. De manera resumida, la lista de componentes principales es la siguiente:

- 5 amplificadores operacionales.
- 27 resistencias.
- 11 condensadores.
- 1 regulador de tensión LM7805.
- Circuito modulador de anchura de pulsos SG3524N.

El coste aproximado de la implementación es 2000 ptas.

Como finalización podemos concluir que el comportamiento dinámico del convertidor con control híbrido borroso-deslizante es superior al del control  $H_{\infty}$ . El coste de implementación del prototipo es el doble en el caso del controlador híbrido debido sobre todo al precio del microcontrolador utilizado (unas 1600 ptas). Este coste podría rebajarse en una etapa de fabricación ya que se podría utilizar un microcontrolador con menos prestaciones, lo que reduciría su coste a una cuarta parte.

