



INAOE

Instrumentación de un arreglo de microbolómetros de 120x160

por

Julisa Verdejo Palacios

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requisitos para
el grado de:

Maestría en Ciencias en la Especialidad de Electrónica

en

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)

Agosto, 2024

Santa María Tonantzintla, Puebla

Asesor:

Dr. Mario Moreno Moreno
Departamento de Electrónica INAOE

©INAOE 2024

Todos los derechos reservados

El autor otorga al INAOE el permiso para reproducir y
distribuir copia de esta tesis en su totalidad o en partes
mencionando la fuente.



Agradecimientos

Índice general

Agradecimientos	I
Índice general	IV
Índice de figuras	V
Índice de tablas	VII
Índice de códigos	IX
Resumen	XI
1. Introducción	1
1.1. Radiación Electromagnética	1
1.2. Radiación Infrarroja	3
1.3. Detectores Infrarrojos	5
1.3.1. Detectores de fotones	6
1.3.2. Detectores térmicos	6
1.3.2.1. Celda de Golay	6
1.3.2.2. Bolómetros y Microbolómetros	6
1.3.2.3. Termopares y Termopilas	7
1.3.2.4. Detectores piroeléctricos y ferroeléctricos	7
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo general	7
1.4.2. Objetivos específicos	7
2. Microbolómetros y descripción de especificaciones	9
3. Sistema de adquisición de datos DAQ	15
3.1. Visión general de la comunicación serial	15
3.2. Controlador UART	15
3.2.1. Visión general	16

3.2.2. Procedimiento de sobremuestreo	16
3.3. Controlador SPI	17
3.3.1. Visión general	17
3.3.2. Arquitectura del controlador	18
3.3.3. Configuración de múltiples dispositivos	19
3.3.4. Sincronización del controlador	20
3.3.5. Modos de operación	21
3.3.6. Aspectos indefinidos	23
3.4. DACs	23
3.5. ADCs	23
4. Diseño de firmware	25
5. Mediciones y resultados	31
6. Conclusiones	39
A. Códigos	45
A.1. Códigos de Verilog	45
A.2. Códigos de Verilog	45
Bibliografía	47

Índice de figuras

1.1. Espectro electromagnético.	2
1.2. Emitancia espectral de un cuerpo negro.	3
1.3. Transmisión de la atmósfera.	5
3.1. Diagrama de la transmisión de un byte serial con UART.	16
3.2. Diagrama conceptual del bus SPI.	18
3.3. Configuración en paralelo de bus SPI.	19
3.4. Configuración en cadena de bus SPI.	20
3.5. Diagrama de tiempos representativo de una transferencia de datos SPI.	21
3.6. Diagrama de tiempos de los diferentes modos SPI.	22
3.7. Diagrama de tiempos con aspectos indefinidos.	24

Índice de tablas

1.1. División de la radiación infrarroja.	4
3.1. Modos de operación del SPI.	22

Índice de códigos

A.1. Comunicación RS232	45
A.2. Máquina de estados ejemplo.	45

Resumen

Capítulo 1

Introducción

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

1.1. Radiación Electromagnética

La radiación electromagnética es la emisión y transmisión de energía en forma de ondas electromagnéticas. El espectro electromagnético es una representación de los diversos tipos de radiación existentes, en él se definen los intervalos de longitudes de onda o frecuencia que cada una de ellas abarca [1].

Estas radiaciones obedecen las mismas leyes, la diferencia entre ellas radica en su longitud de onda o frecuencia, así como en la manera en que interactúan con los materiales ópticos, incluida la atmósfera [2].

Todos los cuerpos emiten radiación e.m y debido al movimiento de sus átomos y moléculas se genera una temperatura en ellos. Los cuerpos con una temperatura mayor a 0K emiten radiación térmica por medio de ondas e.m. La radiación térmica es la radiación que emite un cuerpo por su temperatura [3].

La capacidad que tiene un cuerpo para emitir radiación está fuertemente relacionada con su capacidad de absorberla [4].

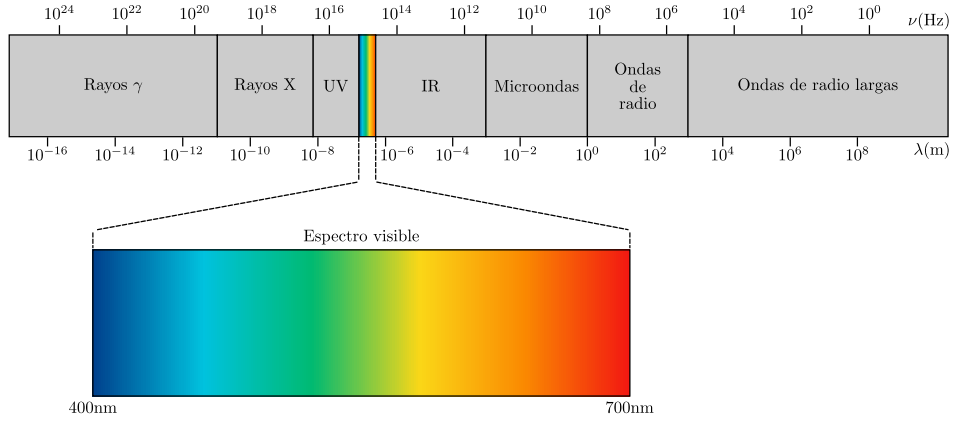


Figura 1.1: Espectro electromagnético.

Una superficie ideal que absorbe toda la radiación que incide sobre él se denomina *cuerpo negro* y el espectro de radiación que emite se llama *radiación de cuerpo negro* [5].

A pesar de que en la naturaleza no existe un objeto físico que pueda absorber toda la radiación incidente [6], este puede representarse como un objeto hueco con una pequeña apertura donde cualquier radiación que incida en ella ingresa a la cavidad donde queda atrapada hasta que es absorbida [4], [6]. En equilibrio térmico la radiación emitida por el cuerpo será exactamente igual a la absorbida.

El cuerpo negro fue creado como una herramienta auxiliar para entender como los objetos emiten y absorben radiación. Hacia finales del siglo XIX la radiación de cuerpo negro ya había sido estudiada y dos leyes importantes sintetizaron los descubrimientos experimentales sobre este tema: La *Ley de Stefan-Boltzmann* y la *Ley de desplazamiento de Wien* [6].

La *Ley de Stefan-Boltzmann* plantea que la intensidad de la radiación emitida por un cuerpo negro depende de su temperatura. La intensidad es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo:

$$I = \sigma T^4 \quad (1.1)$$

donde:

T es la temperatura del cuerpo negro en K.

σ es la constante de Stefan-Boltzmann, $\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

La intensidad de la radiación no se distribuye uniformemente a lo largo de todas las longitudes de onda. En cambio, su distribución puede medirse y describirse utilizando la intensidad por intervalo de longitud de onda, $I(\lambda)d\lambda$.

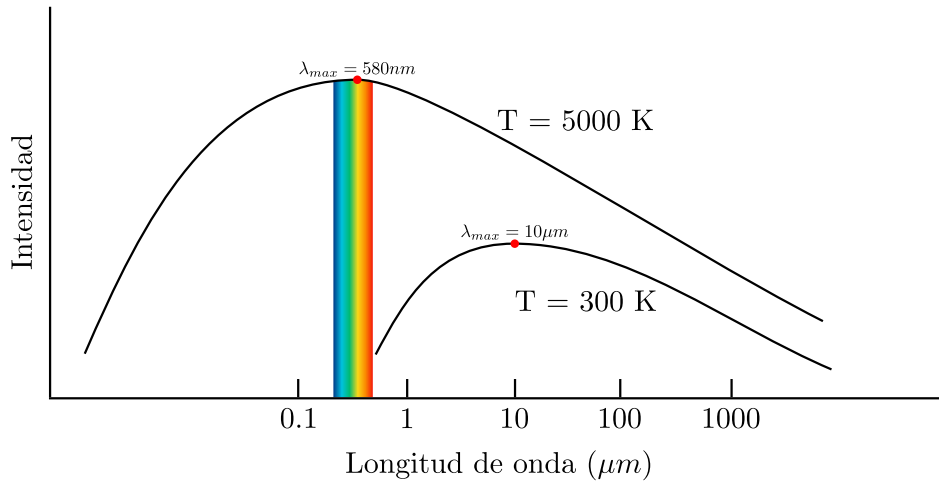


Figura 1.2: Emitancia espectral de un cuerpo negro.

La Figura 1.2 muestra las intensidades registradas a dos temperaturas diferentes. En cada caso hay una longitud de onda específica λ_m en la que la intensidad de la radiación emitida es máxima.

La *Ley de desplazamiento de Wien* indica que cuando la temperatura de un cuerpo negro aumenta, la longitud de onda en la que se emite la radiación máxima se desplaza hacia valores más cortos:

$$\lambda_m = \frac{2.90 \times 10^{-3} \text{ mK}}{T} \quad (1.2)$$

donde:

λ_m es la longitud de onda en la que un cuerpo negro emite la mayor cantidad de radiación a una determinada temperatura [5], [6].

De las leyes anteriores y la Figura 1.2 se puede deducir que la radiación UV, los rayos X y Gamma, son radiaciones más cálidas (radiaciones de alta energía), mientras que la radiación infrarroja está asociada a fenómenos con temperaturas cercanas a la temperatura ambiente [1], [7].

1.2. Radiación Infrarroja

La radiación infrarroja es un tipo de radiación electromagnética que cuenta con longitudes de onda mayores que las del rango visible. Se encuentra en el rango de $0.77\mu\text{m} - 1\text{mm}$ [7], y a su vez se divide en varias regiones las cuales se muestran en la Tabla 1.1 [8].

Tabla 1.1: División de la radiación infrarroja.

Region	Rango de frecuencia (μm)
Near infrared (NIR)	0.78 - 1
Short wavelength IR (SWIR)	1 - 3
Medium wavelength IR (MWIR)	3 - 6
Long wavelength IR (LWIR)	6 - 15
Very long wavelength IR (VLWIR)	15 - 30
Far infrared (FIR)	30 - 100
Submillimeter (SubMM)	100 - 1000

Algunas de las aplicaciones de la radiación infrarroja son:

- **Visión nocturna:** Las cámaras de visión nocturna trabajan en el espectro infrarrojo para permitir la visión en la oscuridad, estas capturan la radiación térmica emitida por objetos y seres vivos.
- **Medicina:** Es utilizada para hallar cáncer y diabetes en el cuerpo humano.
- **Industria:** Inspección del estado de equipos eléctricos y mecánicos.
- **Conservación de energía:** Con escáneres IR se detectan pérdidas y fugas de calor en casas o industrias.
- **Ambientales:** Medición de la concentración de diversos gases contaminantes en la atmósfera.
- **Agricultura:** Monitoreo del estado de los cultivos y la salud de las plantas, la humedad del suelo y la presencia de plagas o enfermedades.
- **Astronomía:** Los telescopios infrarrojos permiten estudiar regiones del espacio donde se están formando estrellas.
- **Espectroscopía:** Usada en química y biología para identificar y analizar estructuras moleculares de sustancias.

[8], [7].

La mayoría de las aplicaciones en detección de radiación infrarroja requieren que esta se transmita a través del aire [9]. La atmósfera terrestre se compone de ozono (O_3), dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O). Estas moléculas bloquean algunas regiones del espectro infrarrojo, impidiendo la transmisión de la radiación IR a la atmósfera. Las longitudes de onda que no son afectadas por estas moléculas reciben el nombre de ventanas atmosféricas [8], [10]. En la Figura 1.3 podemos observarlas.

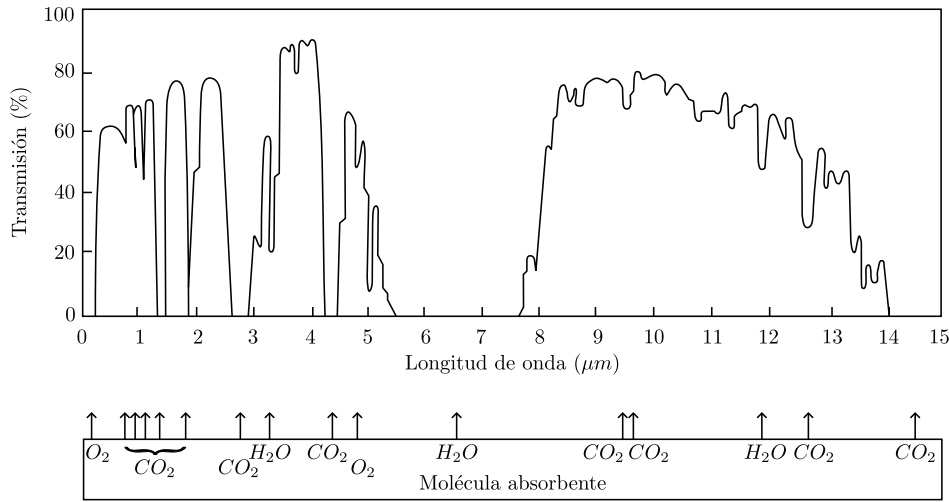


Figura 1.3: Transmisión de la atmósfera.

Despejando la temperatura de la ecuación 1.2 [7]:

$$T_{max} = \frac{2.90 \times 10^{-3} \text{ mK}}{8\mu\text{m}} = 362.5K \quad (1.3)$$

$$T_{min} = \frac{2.90 \times 10^{-3} \text{ mK}}{14\mu\text{m}} = 207.14K \quad (1.4)$$

podemos deducir que los detectores infrarrojos que operan en la ventana de 8 - 14 μm tienen mayor sensibilidad a la temperatura ambiente [8].

El material de fabricación y longitud de onda de operación de los detectores infrarrojos cambian de acuerdo a la aplicación en la que se desee trabajar [8].

1.3. Detectores Infrarrojos

Un detector infrarrojo es un dispositivo capaz de absorber parte de la energía infrarroja radiada hacia él, provocando una variación en alguna de sus propiedades eléctricas [7]. Podemos pensar en un detector infrarrojo como un transductor, el cual convierte un tipo de señal en otra; el detector infrarrojo convierte la radiación infrarroja incidente en una señal eléctrica [2].

Dependiendo de la aplicación, el rango del espectro electromagnético y la temperatura en los que se desee trabajar, se debe diseñar o utilizar un detector específico que cumpla con los requerimientos, ya que cada aplicación requiere características diferentes a las demás [8], [7].

Los detectores infrarrojos se pueden clasificar en dos categorías: *Detectores de fotones* y *detectores térmicos*.

1.3.1. Detectores de fotones

En los detectores de fotones, la formación de pares electrón-hueco es consecuencia de la detección de radiación absorbida [7]. En estos dispositivos, el fotón que incide sobre la superficie del material puede ser absorbido, lo que resulta en la remoción de un electrón desde la banda de valencia o desde un estado localizado dentro de la banda prohibida hasta la banda de conducción.

Generalmente, los detectores de fotones que operan a longitudes de onda de aproximadamente $3\mu m$ requieren de un sistema de enfriamiento. Esto es necesario para prevenir la generación térmica de portadores de carga, la cual es su principal desventaja, ya que aumenta su costo y complejidad de operación. No obstante, su resolución y desempeño son bastante buenos [2], [7].

1.3.2. Detectores térmicos

El funcionamiento de los detectores térmicos se basa en la generación de una salida eléctrica medible como resistencia o diferencia de potencial debido al cambio de temperatura del material causado por la radiación incidente. Estos detectores pueden funcionar a temperatura ambiente, son económicos, compactos, de bajo consumo energético y tienen una larga vida útil, pero su capacidad de detección es baja [8], [7]. Algunos de los principales detectores térmicos infrarrojos son explicados a continuación.

1.3.2.1. Celda de Golay

La celda de Golay es un detector térmico principalmente utilizado en espectroscopía infrarroja, la celda consiste en una cámara herméticamente cerrada llena de gas y un espejo flexible. A medida que la radiación infrarroja incide, el gas se calienta y se expande, provocando que el espejo flexible se mueva. El movimiento del espejo desvía un haz de luz que incide sobre otro detector generando un cambio en su irradiancia, después esa señal es procesada [2], [7].

1.3.2.2. Bolómetros y Microbolómetros

Los bolómetros y microbolómetros son dispositivos que detectan la radiación infrarroja mediante el cambio en la resistencia eléctrica de un material al variar su temperatura. Conforme la resistencia absorbe calor, su temperatura aumenta y su resistencia se modifica. Este tipo de sensores deben polarizarse con corriente o voltaje para que puedan funcionar. Si son polarizados con corriente, el cambio de la resistencia se puede detectar y medir como un cambio de tensión, pero si se polariza con voltaje entonces se detectará como un cambio de corriente [8], [2].

1.3.2.3. Termopares y Termopilas

Los termopares y las termopilas están formados por la unión de dos conductores diferentes unidos por un extremo. Cuando la temperatura aumenta en esa unión, se genera una diferencia de potencial. Al conectar en serie varias uniones de conductores, se produce una tensión más elevada y, por lo tanto, medible [8], [2].

1.3.2.4. Detectores piroeléctricos y ferroeléctricos

Estos detectores pueden visualizarse como un capacitor con dos electrodos metálicos colocados perpendicularmente. Cuando un detector piroeléctrico absorbe radiación, su temperatura cambia, lo que genera una carga en el capacitor y una corriente que depende del cambio de temperatura. Si la temperatura permanece constante, la corriente será nula.

Los detectores ferroeléctricos operan bajo el mismo principio que los piroeléctricos, pero con la diferencia de que el efecto se produce mediante un campo eléctrico [8], [7].

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Diseño de un sistema de adquisición de datos basado en FPGA para la medición de una matriz de píxeles de un microbolómetro.

1.4.2. Objetivos específicos

- Obtención de especificaciones para el sistema de adquisición de datos.
- Selección de ADC y DAC y protocolo de comunicación a partir de las especificaciones.

- Diseño de un firmware en el lenguaje de descripción de hardware (HDL) Verilog para el protocolo de comunicación SPI reconfigurable y robusto.
- Implementación de protocolo SPI para control de un ADC y un DAC de 12 bits.
- Pruebas experimentales y de estrés para verificación de robustes del diseño y mejora.
- Adquisición de los datos utilizando una terminal de usuario basada en UART.

Capítulo 2

Microbolómetros y descripción de especificaciones

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam

in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetur at, consectetur sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing

quis, ultrices a, dui.

Morbi luctus, wisi viverra faucibus pretium, nibh est placerat odio, nec commodo wisi enim eget quam. Quisque libero justo, consecetur a, feugiat vitae, porttitor eu, libero. Suspendisse sed mauris vitae elit sollicitudin malesuada. Maecenas ultricies eros sit amet ante. Ut venenatis velit. Maecenas sed mi eget dui varius euismod. Phasellus aliquet volutpat odio. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Pellentesque sit amet pede ac sem eleifend consecetur. Nullam elementum, urna vel imperdiet sodales, elit ipsum pharetra ligula, ac pretium ante justo a nulla. Curabitur tristique arcu eu metus. Vestibulum lectus. Proin mauris. Proin eu nunc eu urna hendrerit faucibus. Aliquam auctor, pede consequat laoreet varius, eros tellus scelerisque quam, pellentesque hendrerit ipsum dolor sed augue. Nulla nec lacus.

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consecetur odio sem sed wisi.

Sed feugiat. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Ut pellentesque augue sed urna. Vestibulum diam eros, fringilla et, consecetur eu, nonummy id, sapien. Nullam at lectus. In sagittis ultrices mauris. Curabitur malesuada erat sit amet massa. Fusce blandit. Aliquam erat volutpat. Aliquam euismod. Aenean vel lectus. Nunc imperdiet justo nec dolor.

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consecetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

Aliquam lectus. Vivamus leo. Quisque ornare tellus ullamcorper nulla. Mauris porttitor pharetra tortor. Sed fringilla justo sed mauris. Mauris tellus. Sed non leo. Nullam elementum, magna in cursus sodales, augue est scelerisque sapien, venenatis congue nulla arcu et pede. Ut suscipit enim vel sapien. Donec congue. Maecenas urna mi, suscipit in, placerat ut, vestibulum ut, massa. Fusce ultrices nulla et nisl.

Etiam ac leo a risus tristique nonummy. Donec dignissim tincidunt nulla. Vestibulum rhoncus molestie odio. Sed lobortis, justo et pretium lobortis, mauris turpis condimentum augue, nec ultricies nibh arcu pretium enim. Nunc purus neque, placerat id, imperdiet sed, pellentesque nec, nisl. Vestibulum imperdiet neque non sem

accumsan laoreet. In hac habitasse platea dictumst. Etiam condimentum facilisis libero. Suspendisse in elit quis nisl aliquam dapibus. Pellentesque auctor sapien. Sed egestas sapien nec lectus. Pellentesque vel dui vel neque bibendum viverra. Aliquam porttitor nisl nec pede. Proin mattis libero vel turpis. Donec rutrum mauris et libero. Proin euismod porta felis. Nam lobortis, metus quis elementum commodo, nunc lectus elementum mauris, eget vulputate ligula tellus eu neque. Vivamus eu dolor.

Nulla in ipsum. Praesent eros nulla, congue vitae, euismod ut, commodo a, wisi. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Aenean nonummy magna non leo. Sed felis erat, ullamcorper in, dictum non, ultricies ut, lectus. Proin vel arcu a odio lobortis euismod. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Proin ut est. Aliquam odio. Pellentesque massa turpis, cursus eu, euismod nec, tempor congue, nulla. Duis viverra gravida mauris. Cras tincidunt. Curabitur eros ligula, varius ut, pulvinar in, cursus faucibus, augue.

Nulla mattis luctus nulla. Duis commodo velit at leo. Aliquam vulputate magna et leo. Nam vestibulum ullamcorper leo. Vestibulum condimentum rutrum mauris. Donec id mauris. Morbi molestie justo et pede. Vivamus eget turpis sed nisl cursus tempor. Curabitur mollis sapien condimentum nunc. In wisi nisl, malesuada at, dignissim sit amet, lobortis in, odio. Aenean consequat arcu a ante. Pellentesque porta elit sit amet orci. Etiam at turpis nec elit ultricies imperdiet. Nulla facilisi. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse viverra aliquam risus. Nullam pede justo, molestie nonummy, scelerisque eu, facilisis vel, arcu.

Curabitur tellus magna, porttitor a, commodo a, commodo in, tortor. Donec interdum. Praesent scelerisque. Maecenas posuere sodales odio. Vivamus metus lacus, varius quis, imperdiet quis, rhoncus a, turpis. Etiam ligula arcu, elementum a, venenatis quis, sollicitudin sed, metus. Donec nunc pede, tincidunt in, venenatis vitae, faucibus vel, nibh. Pellentesque wisi. Nullam malesuada. Morbi ut tellus ut pede tincidunt porta. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam congue neque id dolor.

Donec et nisl at wisi luctus bibendum. Nam interdum tellus ac libero. Sed sem justo, laoreet vitae, fringilla at, adipiscing ut, nibh. Maecenas non sem quis tortor eleifend fermentum. Etiam id tortor ac mauris porta vulputate. Integer porta neque vitae massa. Maecenas tempus libero a libero posuere dictum. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Aenean quis mauris sed elit commodo placerat. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Vivamus rhoncus tincidunt libero. Etiam elementum pretium justo. Vivamus est. Morbi a tellus eget pede tristique commodo. Nulla nisl. Vestibulum sed nisl eu sapien cursus rutrum.

Nulla non mauris vitae wisi posuere convallis. Sed eu nulla nec eros scelerisque pharetra. Nullam varius. Etiam dignissim elementum metus. Vestibulum faucibus, metus

sit amet mattis rhoncus, sapien dui laoreet odio, nec ultricies nibh augue a enim. Fusce in ligula. Quisque at magna et nulla commodo consequat. Proin accumsan imperdiet sem. Nunc porta. Donec feugiat mi at justo. Phasellus facilisis ipsum quis ante. In ac elit eget ipsum pharetra faucibus. Maecenas viverra nulla in massa.

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

Capítulo 3

Sistema de adquisición de datos DAQ

3.1. Visión general de la comunicación serial

Con frecuencia, un sistema necesita comunicarse con otro que no reside en el mismo dispositivo. Para reducir el número de pines de I/O y el cableado externo, los dos sistemas pueden transferir datos a través de una única línea serial, bit a bit. El sistema transmisor realiza la conversión de paralelo a serie y, a continuación, envía los datos serie a través de una única línea. El sistema receptor realiza la conversión serie a paralelo y restaura los datos paralelos originales.

La comunicación serial puede utilizarse tanto para transferir datos a alta velocidad como a baja velocidad. En una interfaz de alta velocidad, como USB y gigabit Ethernet, la velocidad de transmisión de datos puede alcanzar varios cientos de millones de bits por segundo o más.

En una interfaz de baja velocidad, la velocidad de transmisión de datos oscila entre varios miles y varios cientos de miles de bits por segundo. Es adecuada para la mayoría de los periféricos de I/O generales y para tareas de adquisición y control de datos. Dado que la velocidad de datos es mucho más lenta que la velocidad de reloj de una FPGA, estos esquemas pueden ser realizados por los elementos lógicos genéricos de una FPGA. A continuación se discuten los esquemas UART y SPI.

3.2. Controlador UART

La comunicación serial utiliza una única línea de datos para intercambiar información entre dos sistemas. El sistema transmisor convierte los datos paralelos en un flujo serie y el sistema receptor vuelve a ensamblar los datos serie en su formato paralelo original. El esquema más utilizado es el UART (receptor y transmisor asíncrono universal).

3.2.1. Visión general

Un controlador UART básico incluye un transmisor y un receptor. El transmisor es un registro de corrimiento especial que carga datos en paralelo y luego los desplaza bit a bit a una velocidad específica. El receptor, por su parte, desplaza los datos bit a bit y los vuelve a ensamblar. La línea serial es 1 cuando está inactiva. La transmisión comienza con un bit de inicio, que es 0, seguido de bits de datos y un bit de paridad opcional, y termina con bits de parada, que son 1. El número de bits de datos puede ser 6, 7 u 8. El bit de paridad opcional se utiliza para la detección de errores. Para paridad impar, se pone a 0 cuando los bits de datos tienen un número impar de 1's. Para paridad par, se pone a 0 cuando los bits de datos tienen un número par de 1's. El número de bits de parada puede ser 1, 1,5 ó 2. En la Figura 3.1 se muestra la transmisión con ocho bits de datos, sin paridad y un bit de parada. Observe que el LSB de la palabra de datos se transmite primero.

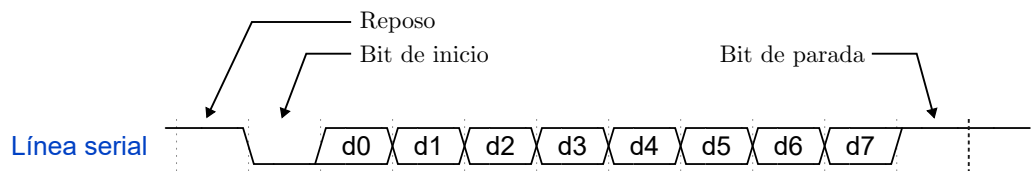


Figura 3.1: Diagrama de la transmisión de un byte serial con UART.

A través de la línea serial no se transmite información de reloj. Antes de iniciar la transmisión, el transmisor y el receptor deben acordar de antemano una serie de parámetros, que incluyen la velocidad en baudios (es decir, el número de bits por segundo), el número de bits de datos y bits de parada, y el uso del bit de paridad. Con los parámetros predeterminados, el receptor utiliza un esquema de sobremuestreo para recuperar los bits de datos. Las velocidades en baudios más utilizadas son 9,600 y 19,200 baudios.

3.2.2. Procedimiento de sobremuestreo

La velocidad de muestreo más utilizada es 16 veces la velocidad en baudios, lo que significa que cada bit serie se muestrea 16 veces. Para un enlace de comunicación con N bits de datos y M bits de parada, el esquema de sobremuestreo funciona como sigue:

1. Espera hasta que la señal entrante se convierta en 0, el comienzo del bit de inicio, y luego comienza a contar los ticks de muestreo.
2. Cuando el contador llegue a 7, la señal entrante alcanzará el punto medio del bit de inicio. Limpia el contador a 0 y reinicialo.

3. Cuando el contador llegue a 15, la señal entrante habrá avanzado un bit y alcanzará el punto medio del primer bit de datos. Obtén su valor, desplázalo a un registro y reinicia el contador.
4. Repite el paso 3 $N-1$ veces más para obtener los bits de datos restantes.
5. Si se utiliza el bit de paridad opcional, repite el paso 3 una vez para obtener el bit de paridad.
6. Repite el paso 3 M veces más para obtener los bits de parada.

El esquema de sobremuestreo realiza básicamente la función de una señal de reloj. En lugar de utilizar el flanco ascendente para indicar cuándo es válida la señal de entrada, utiliza los ticks de muestreo para estimar el punto medio de cada bit. Aunque el receptor no tiene información sobre el momento exacto de inicio del bit, la estimación puede estar desviada como máximo en $1/16$. Las siguientes recuperaciones de bits de datos también se desvían como máximo de $1/16$ del punto medio. Debido al sobremuestreo, la velocidad en baudios sólo puede ser una pequeña fracción de la velocidad de reloj del sistema, por lo que este esquema no es apropiado para una velocidad de datos alta.

3.3. Controlador SPI

El estándar SPI (Serial Peripheral Interface) o Interfaz Periférica Serial en español, es un protocolo de transferencia de datos en serie desarrollado originalmente por Motorola a principios de los 80. El bus SPI se compone de tres líneas, dos de ellas para transmitir y recibir datos en serie, y una para la señal de reloj. Se pueden conectar al bus un dispositivo maestro y varios dispositivos esclavos. El maestro genera la señal de reloj e inicia la transferencia de datos. El estándar SPI se utiliza ampliamente en sistemas embebidos para conectar módulos periféricos. [11], [12]

3.3.1. Visión general

El estándar SPI especifica el protocolo que intercambia datos entre dos dispositivos a través de líneas seriales. En lugar de utilizar el esquema de sobremuestreo de UART, la interfaz SPI incluye una tercera línea para controlar el desplazamiento y el muestreo de los datos seriales. Las actividades se realizan en el flanco de transición de esta señal. Su función es similar a la señal de reloj de un sistema síncrono, por lo que esta línea se denomina reloj SPI.

A diferencia de la configuración UART, en la que dos sistemas son simétricos y ambos pueden iniciar una transmisión, el estándar SPI utiliza una configuración maestro-esclavo. El maestro controla el funcionamiento general y genera la señal de reloj SPI. Sólo el maestro puede iniciar una transferencia de datos.

A pesar de su nombre, el reloj SPI no es un reloj de sistema real y no debe utilizarse para controlar ningún registro directamente. La velocidad del reloj del sistema del controlador SPI es mucho más rápida que la velocidad del reloj SPI. Desde el punto de vista del controlador SPI, el reloj SPI es sólo otra señal de control.

3.3.2. Arquitectura del controlador

El diagrama conceptual de un bus SPI con dos dispositivos se muestra en la Figura 3.2. Tanto el maestro como el esclavo tienen un registro de desplazamiento (shift register) en su interior. Los dos registros de desplazamiento están conectados como un anillo a través de las líneas MOSI (para Master-Out-Slave-In) y MISO (para Master-In-Slave-Out) y su funcionamiento está coordinado por la misma señal de reloj SPI, SCLK.

Las señales MOSI y MISO son algo así como la señal de transmisión (TX) y la señal de recepción (RX) del UART. Suponemos que ambos registros tienen ocho bits de ancho y que la transferencia de datos se realiza byte a byte. Al principio de la operación, tanto el maestro como el esclavo cargan datos en los registros. Durante la transferencia de datos, los datos de ambos registros se desplazan un bit a la derecha en cada ciclo SCLK. Tras ocho ciclos SCLK, se han desplazado ocho bits de datos y el maestro y el esclavo han intercambiado los valores de los registros. A continuación, el maestro y el esclavo pueden procesar los datos recibidos. Esta operación puede interpretarse como que el maestro escribe datos en el esclavo y los lee simultáneamente, lo que se conoce como operación full-duplex.

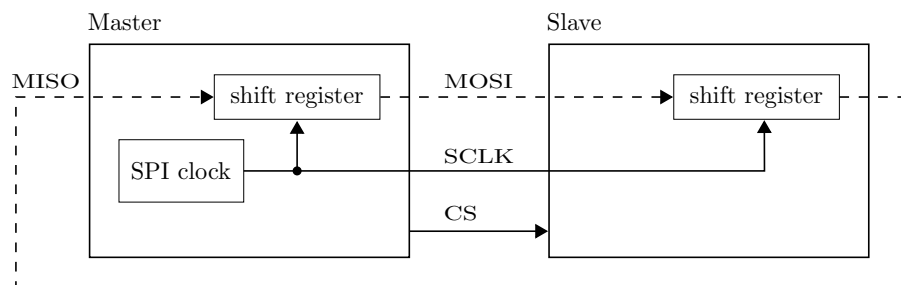


Figura 3.2: Diagrama conceptual del bus SPI.

Además de las líneas MOSI, MISO y SCLK, un dispositivo esclavo también puede tener una entrada de selección de chip activa en bajo, SS (para Slave Select). En otros casos también puede tener el nombre de CS (para Chip-Select). Se puede utilizar para

que el maestro seleccione el dispositivo esclavo deseado si hay varios dispositivos esclavos en el bus. Muchos dispositivos SPI también utilizan CS para ciertas funcionalidades de control y no se puede omitir, incluso en una configuración de un solo esclavo.

3.3.3. Configuración de múltiples dispositivos

El estándar SPI admite una configuración múltiple-esclavo, en la que un dispositivo maestro puede controlar más de un dispositivo esclavo. Existen dos esquemas básicos, que son la configuración en paralelo y la configuración en cadena.

La configuración en paralelo utiliza una línea CS dedicada para cada dispositivo esclavo, como se muestra en la Figura 3.3. Una línea CS funciona como señal de selección de chip y el maestro puede seleccionar el dispositivo deseado activando la línea correspondiente. Esta configuración puede acomodar un maestro y dispositivos esclavos independientes. Dado que las líneas MISO de los esclavos están unidas, la línea MISO debe ser controlada por un buffer de tres estados y su salida debe estar en un estado de alta impedancia cuando el dispositivo esclavo no está seleccionado.

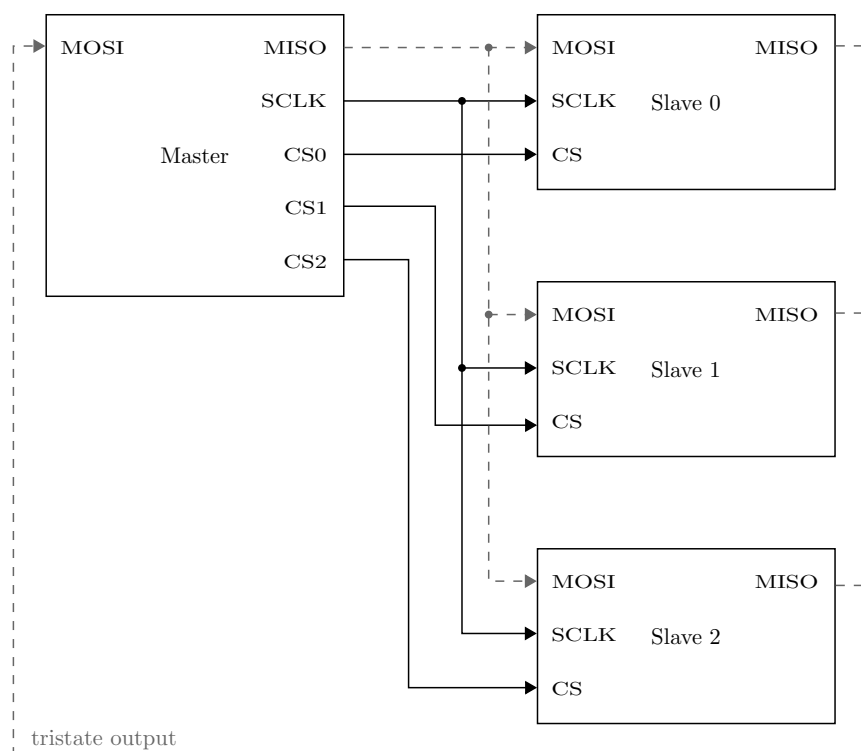


Figura 3.3: Configuración en paralelo de bus SPI.

La configuración en cadena conecta las líneas MOSI y MISO en una cadena en cascada, como se muestra en la Figura 3.4. Se utiliza una única línea CS para controlar todos los dispositivos esclavos. Conceptualmente, la cadena forma un gran registro

de desplazamiento y los datos se transfieren en serie de dispositivo a dispositivo. Los dispositivos de esta configuración deben ser cooperativos y seguir el mismo protocolo para transmitir, insertar y extraer bytes de datos.

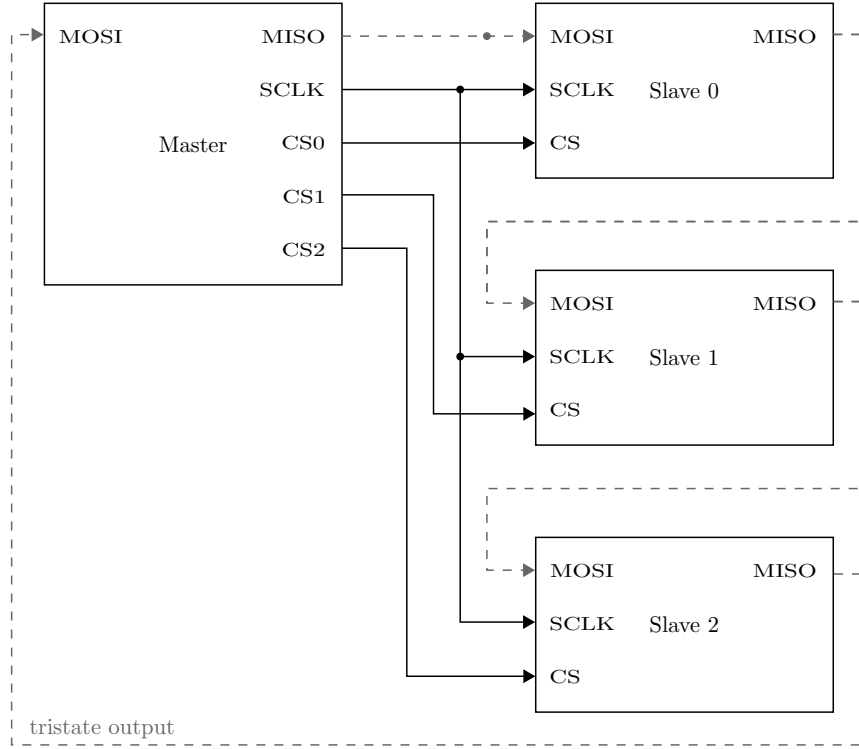


Figura 3.4: Configuración en cadena de bus SPI.

3.3.4. Sincronización del controlador

El bus SPI utiliza los flancos del reloj SPI (SCLK) para controlar y sincronizar la transferencia de bits de los datos. Para aclarar la explicación, se definen dos actividades durante una transferencia de bits: enviar (es decir, desplazar) un nuevo bit a la línea de datos y muestrear (es decir, capturar) un bit de la línea de datos. El envío y el muestreo se completan en el mismo ciclo de reloj SPI, pero ocurren en flancos de reloj opuestos. En la Figura 3.5 se muestra un diagrama de tiempos representativo. Inicialmente, el bus está inactivo y la línea SCLK está en 0. En t_0 , el maestro activa CS y el esclavo designado coloca el primer bit de datos (bit 7) en la línea MISO. En t_1 , el maestro inicia el reloj SPI y envía el bit b7 en la línea MOSI. Dado que la primera mitad del periodo del reloj SPI es 0, el valor en SCLK permanece sin cambios. El tiempo que transcurre entre t_0 y t_1 puede ser muy pequeño o incluso cero. En t_2 , el maestro sube el reloj SPI y avanza a la segunda mitad del periodo del reloj. En el flanco de transición de 0 a 1, el maestro muestrea los datos en MISO y el esclavo los datos en MOSI. En t_3 , se completa el primer ciclo de reloj SPI. El maestro comienza el segundo periodo de reloj SPI y

baja SCLK. Tanto el maestro como el esclavo envían nuevos bits a la línea de datos. En t_4 , el maestro vuelve a subir SCLK y tanto el maestro como el esclavo muestrean los nuevos bits de datos. Las actividades de transmisión y muestreo se repiten hasta que se transfieren ocho bits de datos. Los últimos datos se muestrean en t_5 y SCLK vuelve a 0 en t_6 . En t_7 , el maestro desactiva CS. Cabe destacar que todos los muestreos se realizan en los flancos ascendentes de SCLK y todas las transmisiones (excepto la inicial) se realizan en los flancos descendentes de SCLK.

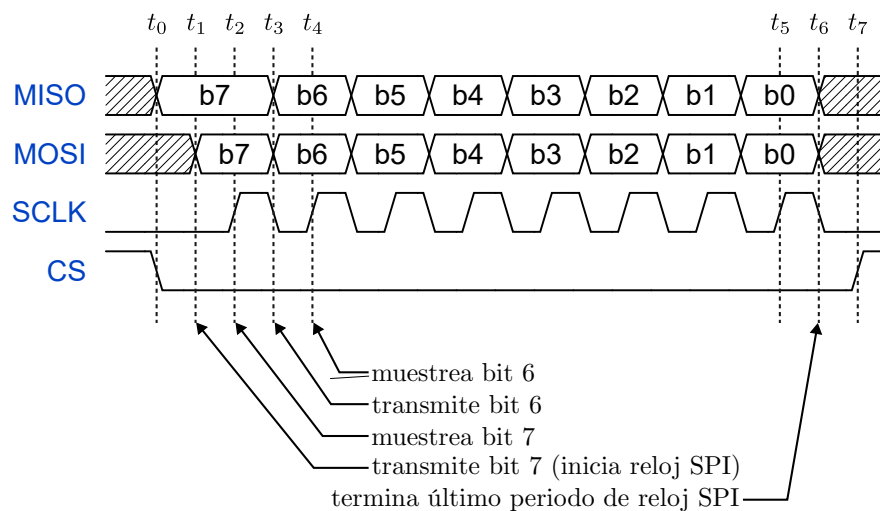


Figura 3.5: Diagrama de tiempos representativo de una transferencia de datos SPI.

3.3.5. Modos de operación

El modo de operación del SPI define las relaciones entre los flancos del reloj SPI y las actividades de envío y muestreo en las líneas de datos. Hay cuatro modos. Los modos dependen de dos parámetros, que son la polaridad del reloj (abreviado como CPOL, Clock Polarity) y la fase del reloj (abreviado como CPHA, Clock Phase). La polaridad del reloj se define como el valor de SCLK cuando está en reposo, que puede ser 0 o 1. La fase del reloj es más difícil de definir. Una interpretación es si un flanco del reloj se utiliza para enviar el primer bit de datos. Si CPHA es 1, el maestro conduce el bit en el primer flanco de transición. Si CPHA es 0, el maestro envía el bit en el flanco de transición cero, inmediatamente cuando CS se activa (lo que significa que no hay flanco o no en el primer flanco).

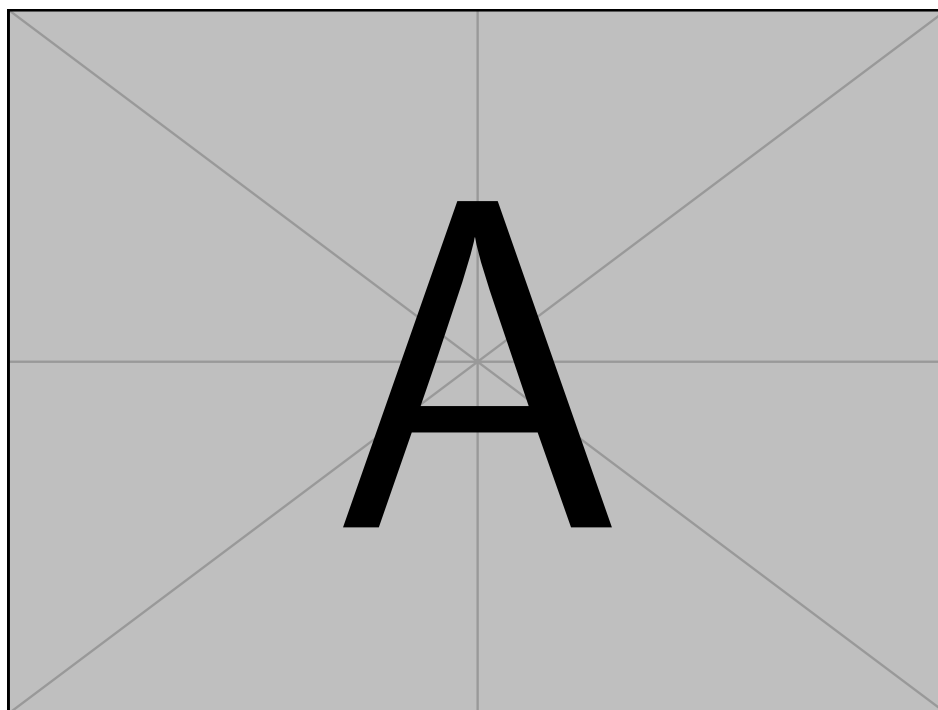
Basándose en los dos parámetros, los modos de operación del SPI se definen como sigue:

Observe que el diagrama de tiempos de la Figura 3.5 corresponde al modo 0, ya que SCLK es 0 cuando está inactivo y el primer bit no es transmitido por el primer flanco de transición.

Tabla 3.1: Modos de operación del SPI.

Modos SPI	Clock polarity (CPOL)	Clock phase (CPHA)	Los datos de desplazan en	Los datos se muestrean en
0	0	0	bajada SCLK, y cuando CS se activa	subida SCLK
1	0	1	subida SCLK	bajada SCLK
2	1	0	subida SCLK, y cuando CS se activa	bajada SCLK
3	1	1	bajada SCLK	subida SCLK

El diagrama de tiempo de los cuatro modos se muestra en la Figura 3.6. El modo 0 es el modo más comúnmente utilizado. En este modo, el valor en reposo es 0 y el ciclo del reloj comienza con 0. Dado que el valor en reposo y el valor inicial del reloj son los mismos, el primer bit de datos se transmite antes del primer flanco de transición. En el modo 1, el valor en reposo también es 0, pero el ciclo del reloj comienza con 1. El valor inicial de 1 lleva a una transición de 0 a 1, por lo tanto, el primer bit se transmite en el primer flanco. Es importante notar que en estos dos modos, el período del reloj y el tiempo de inicio son los mismos, pero sus valores están fuera de fase.

**Figura 3.6:** Diagrama de tiempos de los diferentes modos SPI.

El valor en reposo de SCLK en los modos 2 y 3 es 1. La forma de onda de SCLK en el modo 2 es exactamente opuesta a la del modo 0, y la forma de onda en el modo 3 es exactamente opuesta a la del modo 1. Nuevamente, es importante destacar que el período del reloj y el tiempo de inicio son los mismos para todos los modos.

3.3.6. Aspectos indefinidos

La interfaz SPI fue desarrollada por Motorola y se ha convertido en un estándar de facto. No existe un organismo rector u organización que supervise este estándar. Varios aspectos importantes no están definidos en el estándar.

El primer aspecto es el uso de la señal CS. La señal CS actúa principalmente como una señal de habilitación o selección de chip. Un dispositivo esclavo se desactiva si su señal CS no está activa. En muchos dispositivos, la señal CS también funciona como una señal de control. El intercambio de datos se realiza transacción por transacción:

- El maestro activa CS.
- El maestro y el esclavo seleccionado transfieren bits de datos.
- El maestro desactiva CS.

Una transacción se muestra en la Figura 3.7. Las transiciones causadas por la activación y desactivación de CS se utilizan para activar ciertas acciones, como enviar un bit o capturar datos en paralelo, en el dispositivo esclavo. Esto implica que CS debe estar conectado al maestro, incluso si solo hay un dispositivo esclavo; es decir, simplemente conectarlo a 0 no funcionará. El estándar SPI no define explícitamente el papel de la señal CS ni el protocolo en la transacción. Además, los requisitos de temporización como el tiempo de preparación de CS (t_{SS_SETUP}), que es el intervalo entre la activación de CS y el inicio del reloj, el tiempo de retención de CS (t_{SS_HOLD}), que es el intervalo entre la desactivación de CS y la terminación del reloj, y el tiempo de cambio entre dos transacciones (t_{SS_TURN}) no está especificado.

El segundo aspecto indefinido es el número de bits en un intercambio de datos. En la Figura 3.5 se transfieren ocho bits. Sin embargo, el estándar SPI no especifica el número de bits transferidos en una transacción.

Finalmente, el estándar SPI no especifica el orden de bits de la transmisión, es decir, si se transfiere primero el MSB o el LSB de un byte de datos o de una palabra de datos. El MSB se utiliza comúnmente, pero no está garantizado.

Debido a estos aspectos indefinidos, debemos consultar la hoja de datos del dispositivo y adaptar el acceso para cada dispositivo. Esto suele hacerlo el controlador de software y el programa de aplicación.

3.4. DACs

3.5. ADCs

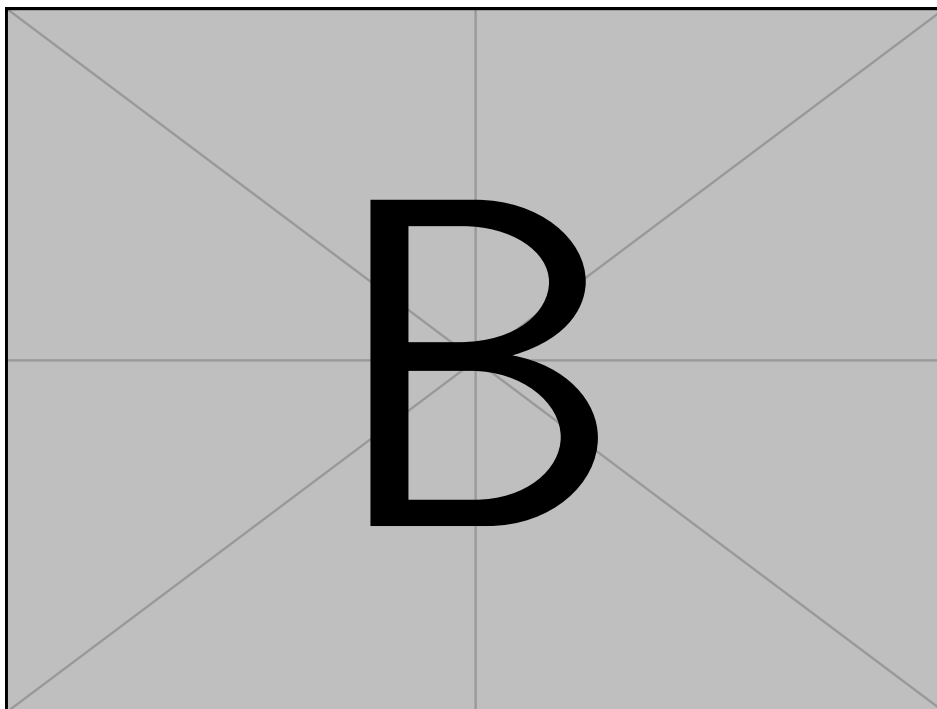


Figura 3.7: Diagrama de tiempos con aspectos indefinidos.

Capítulo 4

Diseño de firmware

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetur at, consectetur sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing quis, ultrices a, dui.

Morbi luctus, wisi viverra faucibus pretium, nibh est placerat odio, nec commodo

wisi enim eget quam. Quisque libero justo, consecetur a, feugiat vitae, portitor eu, libero. Suspendisse sed mauris vitae elit sollicitudin malesuada. Maecenas ultricies eros sit amet ante. Ut venenatis velit. Maecenas sed mi eget dui varius euismod. Phasellus aliquet volutpat odio. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Pellentesque sit amet pede ac sem eleifend consecetur. Nullam elementum, urna vel imperdiet sodales, elit ipsum pharetra ligula, ac pretium ante justo a nulla. Curabitur tristique arcu eu metus. Vestibulum lectus. Proin mauris. Proin eu nunc eu urna hendrerit faucibus. Aliquam auctor, pede consequat laoreet varius, eros tellus scelerisque quam, pellentesque hendrerit ipsum dolor sed augue. Nulla nec lacus.

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consecetur odio sem sed wisi.

Sed feugiat. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Ut pellentesque augue sed urna. Vestibulum diam eros, fringilla et, consecetur eu, nonummy id, sapien. Nullam at lectus. In sagittis ultrices mauris. Curabitur malesuada erat sit amet massa. Fusce blandit. Aliquam erat volutpat. Aliquam euismod. Aenean vel lectus. Nunc imperdiet justo nec dolor.

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consecetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam portitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

Aliquam lectus. Vivamus leo. Quisque ornare tellus ullamcorper nulla. Mauris portitor pharetra tortor. Sed fringilla justo sed mauris. Mauris tellus. Sed non leo. Nullam elementum, magna in cursus sodales, augue est scelerisque sapien, venenatis congue nulla arcu et pede. Ut suscipit enim vel sapien. Donec congue. Maecenas urna mi, suscipit in, placerat ut, vestibulum ut, massa. Fusce ultrices nulla et nisl.

Etiam ac leo a risus tristique nonummy. Donec dignissim tincidunt nulla. Vestibulum rhoncus molestie odio. Sed lobortis, justo et pretium lobortis, mauris turpis condimentum augue, nec ultricies nibh arcu pretium enim. Nunc purus neque, placerat id, imperdiet sed, pellentesque nec, nisl. Vestibulum imperdiet neque non sem accumsan laoreet. In hac habitasse platea dictumst. Etiam condimentum facilisis libero. Suspendisse in elit quis nisl aliquam dapibus. Pellentesque auctor sapien. Sed

egestas sapien nec lectus. Pellentesque vel dui vel neque bibendum viverra. Aliquam porttitor nisl nec pede. Proin mattis libero vel turpis. Donec rutrum mauris et libero. Proin euismod porta felis. Nam lobortis, metus quis elementum commodo, nunc lectus elementum mauris, eget vulputate ligula tellus eu neque. Vivamus eu dolor.

Nulla in ipsum. Praesent eros nulla, congue vitae, euismod ut, commodo a, wisi. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Aenean nonummy magna non leo. Sed felis erat, ullamcorper in, dictum non, ultricies ut, lectus. Proin vel arcu a odio lobortis euismod. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Proin ut est. Aliquam odio. Pellentesque massa turpis, cursus eu, euismod nec, tempor congue, nulla. Duis viverra gravida mauris. Cras tincidunt. Curabitur eros ligula, varius ut, pulvinar in, cursus faucibus, augue.

Nulla mattis luctus nulla. Duis commodo velit at leo. Aliquam vulputate magna et leo. Nam vestibulum ullamcorper leo. Vestibulum condimentum rutrum mauris. Donec id mauris. Morbi molestie justo et pede. Vivamus eget turpis sed nisl cursus tempor. Curabitur mollis sapien condimentum nunc. In wisi nisl, malesuada at, dignissim sit amet, lobortis in, odio. Aenean consequat arcu a ante. Pellentesque porta elit sit amet orci. Etiam at turpis nec elit ultricies imperdiet. Nulla facilisi. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse viverra aliquam risus. Nullam pede justo, molestie nonummy, scelerisque eu, facilisis vel, arcu.

Curabitur tellus magna, porttitor a, commodo a, commodo in, tortor. Donec interdum. Praesent scelerisque. Maecenas posuere sodales odio. Vivamus metus lacus, varius quis, imperdiet quis, rhoncus a, turpis. Etiam ligula arcu, elementum a, venenatis quis, sollicitudin sed, metus. Donec nunc pede, tincidunt in, venenatis vitae, faucibus vel, nibh. Pellentesque wisi. Nullam malesuada. Morbi ut tellus ut pede tincidunt porta. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam congue neque id dolor.

Donec et nisl at wisi luctus bibendum. Nam interdum tellus ac libero. Sed sem justo, laoreet vitae, fringilla at, adipiscing ut, nibh. Maecenas non sem quis tortor eleifend fermentum. Etiam id tortor ac mauris porta vulputate. Integer porta neque vitae massa. Maecenas tempus libero a libero posuere dictum. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Aenean quis mauris sed elit commodo placerat. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Vivamus rhoncus tincidunt libero. Etiam elementum pretium justo. Vivamus est. Morbi a tellus eget pede tristique commodo. Nulla nisl. Vestibulum sed nisl eu sapien cursus rutrum.

Nulla non mauris vitae wisi posuere convallis. Sed eu nulla nec eros scelerisque pharetra. Nullam varius. Etiam dignissim elementum metus. Vestibulum faucibus, metus sit amet mattis rhoncus, sapien dui laoreet odio, nec ultricies nibh augue a enim. Fusce in ligula. Quisque at magna et nulla commodo consequat. Proin accumsan imperdiet

sem. Nunc porta. Donec feugiat mi at justo. Phasellus facilisis ipsum quis ante. In ac elit eget ipsum pharetra faucibus. Maecenas viverra nulla in massa.

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

Capítulo 5

Mediciones y resultados

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetur at, consectetur sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing quis, ultrices a, dui.

Morbi luctus, wisi viverra faucibus pretium, nibh est placerat odio, nec commodo

wisi enim eget quam. Quisque libero justo, consecetur a, feugiat vitae, portitor eu, libero. Suspendisse sed mauris vitae elit sollicitudin malesuada. Maecenas ultricies eros sit amet ante. Ut venenatis velit. Maecenas sed mi eget dui varius euismod. Phasellus aliquet volutpat odio. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Pellentesque sit amet pede ac sem eleifend consecetur. Nullam elementum, urna vel imperdiet sodales, elit ipsum pharetra ligula, ac pretium ante justo a nulla. Curabitur tristique arcu eu metus. Vestibulum lectus. Proin mauris. Proin eu nunc eu urna hendrerit faucibus. Aliquam auctor, pede consequat laoreet varius, eros tellus scelerisque quam, pellentesque hendrerit ipsum dolor sed augue. Nulla nec lacus.

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consecetur odio sem sed wisi.

Sed feugiat. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Ut pellentesque augue sed urna. Vestibulum diam eros, fringilla et, consecetur eu, nonummy id, sapien. Nullam at lectus. In sagittis ultrices mauris. Curabitur malesuada erat sit amet massa. Fusce blandit. Aliquam erat volutpat. Aliquam euismod. Aenean vel lectus. Nunc imperdiet justo nec dolor.

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consecetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam portitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

Aliquam lectus. Vivamus leo. Quisque ornare tellus ullamcorper nulla. Mauris portitor pharetra tortor. Sed fringilla justo sed mauris. Mauris tellus. Sed non leo. Nullam elementum, magna in cursus sodales, augue est scelerisque sapien, venenatis congue nulla arcu et pede. Ut suscipit enim vel sapien. Donec congue. Maecenas urna mi, suscipit in, placerat ut, vestibulum ut, massa. Fusce ultrices nulla et nisl.

Etiam ac leo a risus tristique nonummy. Donec dignissim tincidunt nulla. Vestibulum rhoncus molestie odio. Sed lobortis, justo et pretium lobortis, mauris turpis condimentum augue, nec ultricies nibh arcu pretium enim. Nunc purus neque, placerat id, imperdiet sed, pellentesque nec, nisl. Vestibulum imperdiet neque non sem accumsan laoreet. In hac habitasse platea dictumst. Etiam condimentum facilisis libero. Suspendisse in elit quis nisl aliquam dapibus. Pellentesque auctor sapien. Sed

egestas sapien nec lectus. Pellentesque vel dui vel neque bibendum viverra. Aliquam porttitor nisl nec pede. Proin mattis libero vel turpis. Donec rutrum mauris et libero. Proin euismod porta felis. Nam lobortis, metus quis elementum commodo, nunc lectus elementum mauris, eget vulputate ligula tellus eu neque. Vivamus eu dolor.

Nulla in ipsum. Praesent eros nulla, congue vitae, euismod ut, commodo a, wisi. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Aenean nonummy magna non leo. Sed felis erat, ullamcorper in, dictum non, ultricies ut, lectus. Proin vel arcu a odio lobortis euismod. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Proin ut est. Aliquam odio. Pellentesque massa turpis, cursus eu, euismod nec, tempor congue, nulla. Duis viverra gravida mauris. Cras tincidunt. Curabitur eros ligula, varius ut, pulvinar in, cursus faucibus, augue.

Nulla mattis luctus nulla. Duis commodo velit at leo. Aliquam vulputate magna et leo. Nam vestibulum ullamcorper leo. Vestibulum condimentum rutrum mauris. Donec id mauris. Morbi molestie justo et pede. Vivamus eget turpis sed nisl cursus tempor. Curabitur mollis sapien condimentum nunc. In wisi nisl, malesuada at, dignissim sit amet, lobortis in, odio. Aenean consequat arcu a ante. Pellentesque porta elit sit amet orci. Etiam at turpis nec elit ultricies imperdiet. Nulla facilisi. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse viverra aliquam risus. Nullam pede justo, molestie nonummy, scelerisque eu, facilisis vel, arcu.

Curabitur tellus magna, porttitor a, commodo a, commodo in, tortor. Donec interdum. Praesent scelerisque. Maecenas posuere sodales odio. Vivamus metus lacus, varius quis, imperdiet quis, rhoncus a, turpis. Etiam ligula arcu, elementum a, venenatis quis, sollicitudin sed, metus. Donec nunc pede, tincidunt in, venenatis vitae, faucibus vel, nibh. Pellentesque wisi. Nullam malesuada. Morbi ut tellus ut pede tincidunt porta. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam congue neque id dolor.

Donec et nisl at wisi luctus bibendum. Nam interdum tellus ac libero. Sed sem justo, laoreet vitae, fringilla at, adipiscing ut, nibh. Maecenas non sem quis tortor eleifend fermentum. Etiam id tortor ac mauris porta vulputate. Integer porta neque vitae massa. Maecenas tempus libero a libero posuere dictum. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Aenean quis mauris sed elit commodo placerat. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Vivamus rhoncus tincidunt libero. Etiam elementum pretium justo. Vivamus est. Morbi a tellus eget pede tristique commodo. Nulla nisl. Vestibulum sed nisl eu sapien cursus rutrum.

Nulla non mauris vitae wisi posuere convallis. Sed eu nulla nec eros scelerisque pharetra. Nullam varius. Etiam dignissim elementum metus. Vestibulum faucibus, metus sit amet mattis rhoncus, sapien dui laoreet odio, nec ultricies nibh augue a enim. Fusce in ligula. Quisque at magna et nulla commodo consequat. Proin accumsan imperdiet

sem. Nunc porta. Donec feugiat mi at justo. Phasellus facilisis ipsum quis ante. In ac elit eget ipsum pharetra faucibus. Maecenas viverra nulla in massa.

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

Etiam pede massa, dapibus vitae, rhoncus in, placerat posuere, odio. Vestibulum luctus commodo lacus. Morbi lacus dui, tempor sed, euismod eget, condimentum at, tortor. Phasellus aliquet odio ac lacus tempor faucibus. Praesent sed sem. Praesent iaculis. Cras rhoncus tellus sed justo ullamcorper sagittis. Donec quis orci. Sed ut tortor quis tellus euismod tincidunt. Suspendisse congue nisl eu elit. Aliquam tortor diam, tempus id, tristique eget, sodales vel, nulla. Praesent tellus mi, condimentum sed, viverra at, consectetur quis, lectus. In auctor vehicula orci. Sed pede sapien, euismod in, suscipit in, pharetra placerat, metus. Vivamus commodo dui non odio. Donec et felis.

Etiam suscipit aliquam arcu. Aliquam sit amet est ac purus bibendum congue. Sed in eros. Morbi non orci. Pellentesque mattis lacinia elit. Fusce molestie velit in ligula. Nullam et orci vitae nibh vulputate auctor. Aliquam eget purus. Nulla auctor wisi sed ipsum. Morbi porttitor tellus ac enim. Fusce ornare. Proin ipsum enim, tincidunt in, ornare venenatis, molestie a, augue. Donec vel pede in lacus sagittis porta. Sed hendrerit ipsum quis nisl. Suspendisse quis massa ac nibh pretium cursus. Sed sodales. Nam eu neque quis pede dignissim ornare. Maecenas eu purus ac urna tincidunt congue.

Donec et nisl id sapien blandit mattis. Aenean dictum odio sit amet risus. Morbi purus. Nulla a est sit amet purus venenatis iaculis. Vivamus viverra purus vel magna. Donec in justo sed odio malesuada dapibus. Nunc ultrices aliquam nunc. Vivamus facilisis pellentesque velit. Nulla nunc velit, vulputate dapibus, vulputate id, mattis ac, justo. Nam mattis elit dapibus purus. Quisque enim risus, congue non, elementum ut, mattis quis, sem. Quisque elit.

Maecenas non massa. Vestibulum pharetra nulla at lorem. Duis quis quam id lacus dapibus interdum. Nulla lorem. Donec ut ante quis dolor bibendum condimentum. Etiam egestas tortor vitae lacus. Praesent cursus. Mauris bibendum pede at elit. Morbi et felis a lectus interdum facilisis. Sed suscipit gravida turpis. Nulla at lectus. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Praesent nonummy luctus nibh. Proin turpis nunc, congue eu, egestas ut, fringilla at, tellus. In hac habitasse platea dictumst.

Vivamus eu tellus sed tellus consequat suscipit. Nam orci orci, malesuada id, gravida

nec, ultricies vitae, erat. Donec risus turpis, luctus sit amet, interdum quis, porta sed, ipsum. Suspendisse condimentum, tortor at egestas posuere, neque metus tempor orci, et tincidunt urna nunc a purus. Sed facilisis blandit tellus. Nunc risus sem, suscipit nec, eleifend quis, cursus quis, libero. Curabitur et dolor. Sed vitae sem. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Maecenas ante. Duis ullamcorper enim. Donec tristique enim eu leo. Nullam molestie elit eu dolor. Nullam bibendum, turpis vitae tristique gravida, quam sapien tempor lectus, quis pretium tellus purus ac quam. Nulla facilisi.

Duis aliquet dui in est. Donec eget est. Nunc lectus odio, varius at, fermentum in, accumsan non, enim. Aliquam erat volutpat. Proin sit amet nulla ut eros consectetur cursus. Phasellus dapibus aliquam justo. Nunc laoreet. Donec consequat placerat magna. Duis pretium tincidunt justo. Sed sollicitudin vestibulum quam. Nam quis ligula. Vivamus at metus. Etiam imperdiet imperdiet pede. Aenean turpis. Fusce augue velit, scelerisque sollicitudin, dictum vitae, tempor et, pede. Donec wisi sapien, feugiat in, fermentum ut, sollicitudin adipiscing, metus.

Donec vel nibh ut felis consectetur laoreet. Donec pede. Sed id quam id wisi laoreet suscipit. Nulla lectus dolor, aliquam ac, fringilla eget, mollis ut, orci. In pellentesque justo in ligula. Maecenas turpis. Donec eleifend leo at felis tincidunt consequat. Aenean turpis metus, malesuada sed, condimentum sit amet, auctor a, wisi. Pellentesque sapien elit, bibendum ac, posuere et, congue eu, felis. Vestibulum mattis libero quis metus scelerisque ultrices. Sed purus.

Donec molestie, magna ut luctus ultrices, tellus arcu nonummy velit, sit amet pulvinar elit justo et mauris. In pede. Maecenas euismod elit eu erat. Aliquam augue wisi, facilisis congue, suscipit in, adipiscing et, ante. In justo. Cras lobortis neque ac ipsum. Nunc fermentum massa at ante. Donec orci tortor, egestas sit amet, ultrices eget, venenatis eget, mi. Maecenas vehicula leo semper est. Mauris vel metus. Aliquam erat volutpat. In rhoncus sapien ac tellus. Pellentesque ligula.

Cras dapibus, augue quis scelerisque ultricies, felis dolor placerat sem, id porta velit odio eu elit. Aenean interdum nibh sed wisi. Praesent sollicitudin vulputate dui. Praesent iaculis viverra augue. Quisque in libero. Aenean gravida lorem vitae sem ullamcorper cursus. Nunc adipiscing rutrum ante. Nunc ipsum massa, faucibus sit amet, viverra vel, elementum semper, orci. Cras eros sem, vulputate et, tincidunt id, ultrices eget, magna. Nulla varius ornare odio. Donec accumsan mauris sit amet augue. Sed ligula lacus, laoreet non, aliquam sit amet, iaculis tempor, lorem. Suspendisse eros. Nam porta, leo sed congue tempor, felis est ultrices eros, id mattis velit felis non metus. Curabitur vitae elit non mauris varius pretium. Aenean lacus sem, tincidunt ut, consequat quis, porta vitae, turpis. Nullam laoreet fermentum urna. Proin iaculis lectus.

Sed mattis, erat sit amet gravida malesuada, elit augue egestas diam, tempus sceler-

risque nunc nisl vitae libero. Sed consequat feugiat massa. Nunc porta, eros in eleifend varius, erat leo rutrum dui, non convallis lectus orci ut nibh. Sed lorem massa, nonummy quis, egestas id, condimentum at, nisl. Maecenas at nibh. Aliquam et augue at nunc pellentesque ullamcorper. Duis nisl nibh, laoreet suscipit, convallis ut, rutrum id, enim. Phasellus odio. Nulla nulla elit, molestie non, scelerisque at, vestibulum eu, nulla. Ut odio nisl, facilisis id, mollis et, scelerisque nec, enim. Aenean sem leo, pellentesque sit amet, scelerisque sit amet, vehicula pellentesque, sapien.

Capítulo 6

Conclusiones

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetur at, consectetur sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing quis, ultrices a, dui.

Morbi luctus, wisi viverra faucibus pretium, nibh est placerat odio, nec commodo

wisi enim eget quam. Quisque libero justo, consecetur a, feugiat vitae, portitor eu, libero. Suspendisse sed mauris vitae elit sollicitudin malesuada. Maecenas ultricies eros sit amet ante. Ut venenatis velit. Maecenas sed mi eget dui varius euismod. Phasellus aliquet volutpat odio. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Pellentesque sit amet pede ac sem eleifend consecetur. Nullam elementum, urna vel imperdiet sodales, elit ipsum pharetra ligula, ac pretium ante justo a nulla. Curabitur tristique arcu eu metus. Vestibulum lectus. Proin mauris. Proin eu nunc eu urna hendrerit faucibus. Aliquam auctor, pede consequat laoreet varius, eros tellus scelerisque quam, pellentesque hendrerit ipsum dolor sed augue. Nulla nec lacus.

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consecetur odio sem sed wisi.

Sed feugiat. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Ut pellentesque augue sed urna. Vestibulum diam eros, fringilla et, consecetur eu, nonummy id, sapien. Nullam at lectus. In sagittis ultrices mauris. Curabitur malesuada erat sit amet massa. Fusce blandit. Aliquam erat volutpat. Aliquam euismod. Aenean vel lectus. Nunc imperdiet justo nec dolor.

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consecetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam portitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

Aliquam lectus. Vivamus leo. Quisque ornare tellus ullamcorper nulla. Mauris portitor pharetra tortor. Sed fringilla justo sed mauris. Mauris tellus. Sed non leo. Nullam elementum, magna in cursus sodales, augue est scelerisque sapien, venenatis congue nulla arcu et pede. Ut suscipit enim vel sapien. Donec congue. Maecenas urna mi, suscipit in, placerat ut, vestibulum ut, massa. Fusce ultrices nulla et nisl.

Etiam ac leo a risus tristique nonummy. Donec dignissim tincidunt nulla. Vestibulum rhoncus molestie odio. Sed lobortis, justo et pretium lobortis, mauris turpis condimentum augue, nec ultricies nibh arcu pretium enim. Nunc purus neque, placerat id, imperdiet sed, pellentesque nec, nisl. Vestibulum imperdiet neque non sem accumsan laoreet. In hac habitasse platea dictumst. Etiam condimentum facilisis libero. Suspendisse in elit quis nisl aliquam dapibus. Pellentesque auctor sapien. Sed

egestas sapien nec lectus. Pellentesque vel dui vel neque bibendum viverra. Aliquam porttitor nisl nec pede. Proin mattis libero vel turpis. Donec rutrum mauris et libero. Proin euismod porta felis. Nam lobortis, metus quis elementum commodo, nunc lectus elementum mauris, eget vulputate ligula tellus eu neque. Vivamus eu dolor.

Nulla in ipsum. Praesent eros nulla, congue vitae, euismod ut, commodo a, wisi. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Aenean nonummy magna non leo. Sed felis erat, ullamcorper in, dictum non, ultricies ut, lectus. Proin vel arcu a odio lobortis euismod. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Proin ut est. Aliquam odio. Pellentesque massa turpis, cursus eu, euismod nec, tempor congue, nulla. Duis viverra gravida mauris. Cras tincidunt. Curabitur eros ligula, varius ut, pulvinar in, cursus faucibus, augue.

Nulla mattis luctus nulla. Duis commodo velit at leo. Aliquam vulputate magna et leo. Nam vestibulum ullamcorper leo. Vestibulum condimentum rutrum mauris. Donec id mauris. Morbi molestie justo et pede. Vivamus eget turpis sed nisl cursus tempor. Curabitur mollis sapien condimentum nunc. In wisi nisl, malesuada at, dignissim sit amet, lobortis in, odio. Aenean consequat arcu a ante. Pellentesque porta elit sit amet orci. Etiam at turpis nec elit ultricies imperdiet. Nulla facilisi. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse viverra aliquam risus. Nullam pede justo, molestie nonummy, scelerisque eu, facilisis vel, arcu.

Curabitur tellus magna, porttitor a, commodo a, commodo in, tortor. Donec interdum. Praesent scelerisque. Maecenas posuere sodales odio. Vivamus metus lacus, varius quis, imperdiet quis, rhoncus a, turpis. Etiam ligula arcu, elementum a, venenatis quis, sollicitudin sed, metus. Donec nunc pede, tincidunt in, venenatis vitae, faucibus vel, nibh. Pellentesque wisi. Nullam malesuada. Morbi ut tellus ut pede tincidunt porta. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam congue neque id dolor.

Donec et nisl at wisi luctus bibendum. Nam interdum tellus ac libero. Sed sem justo, laoreet vitae, fringilla at, adipiscing ut, nibh. Maecenas non sem quis tortor eleifend fermentum. Etiam id tortor ac mauris porta vulputate. Integer porta neque vitae massa. Maecenas tempus libero a libero posuere dictum. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Aenean quis mauris sed elit commodo placerat. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Vivamus rhoncus tincidunt libero. Etiam elementum pretium justo. Vivamus est. Morbi a tellus eget pede tristique commodo. Nulla nisl. Vestibulum sed nisl eu sapien cursus rutrum.

Nulla non mauris vitae wisi posuere convallis. Sed eu nulla nec eros scelerisque pharetra. Nullam varius. Etiam dignissim elementum metus. Vestibulum faucibus, metus sit amet mattis rhoncus, sapien dui laoreet odio, nec ultricies nibh augue a enim. Fusce in ligula. Quisque at magna et nulla commodo consequat. Proin accumsan imperdiet

sem. Nunc porta. Donec feugiat mi at justo. Phasellus facilisis ipsum quis ante. In ac elit eget ipsum pharetra faucibus. Maecenas viverra nulla in massa.

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

Apéndice A

Códigos

A.1. Códigos de Verilog

Código A.1: Comunicación RS232

```
%% prog04_graficas_multiples
clear; close all; clc;
x = 0:0.1:2*pi;
y1 = sin(x); y2 = cos(x);

subplot(2,1,1);
plot(x,y1,'-sr','DisplayName','f(x) = sin(x)');
axis([min(x) max(x) min(y1)*1.1 max(y1)*1.1]);
grid on; grid minor;
legend('Location','northeast','FontSize',12);
title('f(x) = sin(x)'); xlabel('x'); ylabel('f(x)');

subplot(2,1,2);
plot(x,y2,'-sk','DisplayName','f(x) = cos(x)');
axis([min(x) max(x) min(y2)*1.1 max(y2)*1.1]);
grid on; grid minor;
legend('Location','southeast','FontSize',12);
title('f(x) = cos(x)'); xlabel('x'); ylabel('f(x)');
```

A.2. Códigos de Verilog

Código A.2: Máquina de estados ejemplo.

```
module counter #(
    parameter Width = 8
) (
    input        clk_i,
    input        rst_i,
    output       max_tick_i,
    output [Width-1:0] q_o
);

    reg [Width-1:0] reg_q;
    wire [Width-1:0] sum_d;

    assign sum_d = reg_q + 1;
    assign max_tick_i = (reg_q == 2**Width-1) ? 1'b1 : 1'b0;

    always @(posedge clk_i, posedge rst_i) begin
        if (rst_i)
            reg_q <= 0;
        else
            reg_q <= sum_d;
        end

    assign q_o = reg_q;
endmodule
```

Bibliografía

- [1] R. Chang, *Química*. McGraw-Hill, 11th ed., 2013.
- [2] J. Vincent, *Fundamentals of Infrared and Visible Detector Operation and Testing*. Wiley, 2nd ed., 2016.
- [3] T. Hollands, *Thermal Radiation Fundamentals*. Begell House, 2004.
- [4] A. Beiser, *Concepts of Modern Physics*. McGraw-Hill, 6th ed., 2003.
- [5] F. Sears, *Física Universitaria con Física Moderna Volumen 2*. Addison-Wesley, 12th ed., 2009.
- [6] S. Ling, *Física Universitaria Volumen 3*. Rice University, 2021.
- [7] D. A. B. Mora, “Diseño de circuitos integrados de lectura paramicrobolómetros,” Master’s thesis, INAOE, 2013.
- [8] A. Rogalski, *Infrared Detectors*. CRC Press, 2nd ed., 2011.
- [9] R. Jiménez-Zavala, “Desarrollo de micro-bolómetrosno enfriados basados en silicio ygermanio polimorfo,” Master’s thesis, INAOE, 2013.
- [10] M. Ghimire, “Remote sensing and image analysis and in environmental and studies,” *N.A*, Abril 2021.
- [11] P. P. Chu, *FPGA prototyping by systemverilog examples*. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2018. Includes bibliographical references and index.
- [12] P. P. Chu, *FPGA prototyping by Verilog examples*. Hoboken, N.J: J. Wiley And Sons, 2008. Includes bibliographical references (pages 485-486) and index.