

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Computadores



Taller de Diseño Digital

Estudiantes:

Castro Moreno Henry Andrés – 2022026502

Blanco Coto Andrés Enrique- 2022108841

Bolaños Barboza Gabriel - 2022327511

Rivera Mora José Ignacio - 2022227827

Documentación de diseño de ingeniería

Prof. Luis Alonso Barboza Artavia

I Semestre 2025

Introducción.

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar una versión del clásico juego PONG aplicando los conocimientos adquiridos en el diseño de sistemas digitales, enfocados en la interacción con dispositivos de entrada/salida y memoria, así como en la sincronización de elementos de procesamiento propios de un computador. El desafío principal es diseñar e implementar, utilizando SystemVerilog, un computador mínimo basado en una arquitectura ARMv4 que sea capaz de ejecutar el juego PONG. En este juego, dos jugadores controlan paletas para devolver una bola en movimiento horizontal, y el sistema debe gestionar la puntuación de los jugadores hasta alcanzar un límite determinado.

El proyecto consistirá en cargar las instrucciones en memoria, donde el procesador ARMv4 decodificará y ejecutará las operaciones necesarias para el funcionamiento del juego. Además, el sistema debe mostrar tanto la imagen del juego en una pantalla VGA como permitir la interacción con el usuario a través de controles físicos, como botones o un mouse PS/2. Los jugadores deberán poder seleccionar opciones del juego mediante estos dispositivos, y el sistema debe actualizar la visualización en tiempo real.

A lo largo del desarrollo, se aplicará una metodología de diseño modular, similar a la utilizada en los laboratorios previos, que incluye investigación, planificación del diseño, descripción del hardware, implementación y validación funcional de cada módulo. Este enfoque permitirá verificar la correcta integración y funcionamiento de los distintos componentes, como la ALU, los registros de datos, la ruta de datos y el módulo VGA, esenciales para la correcta ejecución del juego.

Desarrollo.

1. Listado de requerimientos del sistema.

Para el proyecto seleccionado el equipo de trabajo encontró un problema visible. **El diseño de un sistema interactivo (Juego PONG) eficiente, seguro, accesible y sostenible, optimizando el uso de recursos y asegurando la experiencia del usuario.** De manera que se procederá con un análisis respecto a como abarcar este problema. Posteriormente se tratarán los distintos tipos de requerimientos.

a. Salud y Seguridad Pública

Necesidades:

Ergonomía en el uso del teclado. El sistema debe permitir que el jugador utilice el dispositivo o dispositivos de control de manera cómoda durante el juego. Se deben asignar teclas que no requieran movimientos incómodos de las manos para evitar daños en las articulaciones a largo plazo.

Seguridad de la interfaz de usuario. El diseño del sistema debe ser seguro para el usuario, evitando cualquier posibilidad de sobrecalentamiento de los componentes y asegurando que las conexiones y cables sean manejables sin peligro de daños.

Requerimientos:

El juego debe ser jugable utilizando o asignando teclas que permitan al jugador moverse y realizar acciones sin forzar posiciones de las manos.

Debe preverse para una actualización posterior, pero a corto plazo que el sistema alerte visual o sonoramente cuando se detecte un error crítico (por ejemplo, una falla en la conexión del teclado o un mal funcionamiento del sistema).

El diseño de los controles debe ser accesible para personas con limitaciones físicas (por ejemplo, con teclas personalizables).

b. Costo Total de la Vida**Necesidades:**

Bajo costo de implementación y operación. Dado que el proyecto tiene un enfoque educativo, es necesario que los componentes electrónicos utilizados no sean costosos, asegurando que el sistema pueda mantenerse dentro del presupuesto de desarrollo.

Durabilidad y facilidad de mantenimiento. El sistema debe ser sencillo de mantener y actualizar, sin necesidad de reemplazar hardware o software de manera frecuente.

Requerimientos:

Selección de componentes de bajo consumo energético y de bajo costo (por ejemplo, utilizar un teclado estándar y una tarjeta FPGA eficiente en consumo).

El código debe ser eficiente para evitar un uso excesivo de recursos de hardware, garantizando una operación óptima sin requerir grandes actualizaciones en el futuro. Implementación de pruebas que aseguren la funcionalidad y fiabilidad del sistema a largo plazo.

c. Factores ambientales y carbono Neto Cero**Necesidades:**

Reducción de la huella de carbono. El sistema debe tener un impacto ambiental mínimo. Se deben emplear componentes electrónicos que sean de bajo consumo y preferiblemente reciclables.

Optimización del uso de recursos electrónicos. El juego debe ser diseñado para minimizar el uso de recursos electrónicos y electrónicos que no sean esenciales para su funcionamiento.

Requerimientos:

Utilización de hardware con un bajo consumo de energía durante la ejecución del juego.

Uso de materiales reciclables en la fabricación del hardware, como placas PCB y cables con certificaciones ambientales.

d. Aspectos Sociales y Culturales

Necesidades:

Accesibilidad y diversidad. El juego debe ser accesible para una amplia gama de usuarios, incluyendo personas con discapacidades.

Impacto cultural positivo. El juego debe ser inclusivo y no contener elementos que puedan resultar ofensivos culturalmente.

Requerimientos:

El juego debe permitir la personalización de controles para personas con limitaciones motoras, permitiendo su adaptación a diferentes formas de interacción.

El juego debe contar con retroalimentación auditiva o visual para jugadores con discapacidades visuales o auditivas.

La estética y el tema del juego deben ser neutrales y respetuosos, evitando estereotipos y teniendo en cuenta la diversidad cultural.

e. Requerimientos Funcionales

El juego debe ser jugable por dos jugadores utilizando un controlador PS/2 (mouse o teclado) y la FPGA respectivamente.

El sistema debe permitir mover las paletas verticalmente para devolver la pelota.

El juego debe finalizar cuando un jugador pierda.

La pelota debe moverse automáticamente, con colisiones detectadas entre la pelota y las paletas o las paredes.

La salida de video debe ser a través de una pantalla VGA.

El juego debe mostrar o visualizar las paletas y la pelota.

Los controles deben ser gestionados a través de un controlador PS/2 (mouse o teclado).

El teclado debe ser configurado para que las teclas no interfieran con el control simultáneo de ambos jugadores.

f. Requerimientos de los módulos de control

Controlador: Este módulo debe manejar la sincronización de las operaciones y asegurar que los diferentes módulos operen correctamente.

Decodificador: El decodificador debe traducir las instrucciones del programa en lenguaje ensamblador ARMv4 y convertirlas a instrucciones de la FPGA.

Lógica condicional: Debe encargarse de verificar las condiciones necesarias para ejecutar operaciones (por ejemplo, si la pelota ha tocado una paleta o una pared).

ALU (Unidad Aritmético Lógica): Debe realizar operaciones como las sumas y restas necesarias para la detección de colisiones y el movimiento de la pelota.

g. Requerimientos de mantenimiento y escalabilidad

El diseño debe ser modular para permitir futuras actualizaciones o ajustes.
El sistema debe ser fácil de mantener, con la capacidad de actualizar los controles o agregar características adicionales si es necesario.
Se debe incluir memoria para almacenar las instrucciones del programa en ROM.

h. Requerimientos de estándares o normas

Normas de Seguridad Eléctrica: Todos los componentes deben cumplir con las normas de seguridad eléctrica internacionales [1], como la CE (Conformité Européene) o UL (Underwriters Laboratories), que aseguran la protección contra riesgos de sobrecalentamiento y fallos eléctricos.

Normas de Reciclaje y Sostenibilidad: Los componentes electrónicos utilizados en la implementación del proyecto deben cumplir con las directrices de reciclaje de la Directiva RoHS (Restriction of Hazardous Substances) de la Unión Europea, para reducir el uso de materiales peligrosos en la fabricación de dispositivos electrónicos.

2. Elaboración de alternativas de solución a la propuesta de aplicación seleccionada.

Ante el problema de un **diseño de un sistema interactivo (Juego PONG) eficiente, seguro, accesible y sostenible, optimizando el uso de recursos y asegurando una experiencia de usuario fluida**, la elección del dispositivo de entrada es uno de los aspectos clave, y entre las alternativas consideradas estaban el uso de un mouse PS/2 y un teclado controlador PS/2.

Alternativa 1: Uso de teclado como controlador.

El teclado PS/2 puede ser utilizado como dispositivo de entrada para controlar las paletas en el juego PONG. Los jugadores podrán mover sus paletas utilizando las teclas ↑ (arriba) y ↓ (abajo) en un solo teclado para un jugador.

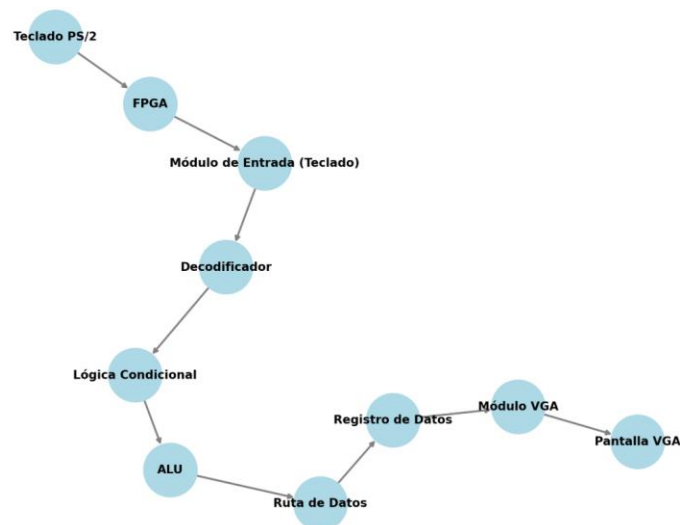


Figura 1. Uso de teclado PS/2 como controlador.

Alternativa 2: Uso de mouse como controlador.

En esta alternativa, se utilizaría un mouse PS/2 como dispositivo de entrada para mover las paletas en el juego PONG. Los jugadores controlarían las paletas moviendo el mouse hacia arriba y abajo, permitiendo un control más fluido y preciso de las paletas en todos los ángulos posibles.

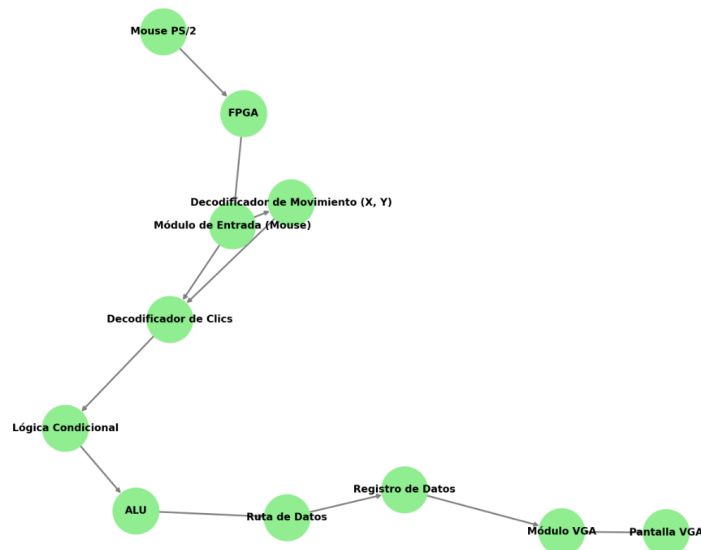


Figura 2. Uso de mouse PS/2 como controlador.

3. Valoración de opciones de solución.

Alternativa 1: Uso de Teclado PS/2 como Controlador

Salud y seguridad:

Ergonomía: El teclado PS/2 es un dispositivo de entrada ampliamente utilizado. Existen distintos diseños ergonómicos y potencialmente cómodos para la mayoría de los usuarios. El diseño del control es conocido y familiar, lo que reduce el riesgo de incomodidad o esfuerzo físico innecesario (como fatiga o dolor en las manos y muñecas) a lo largo de las sesiones de juego.

Seguridad pública: No hay un riesgo significativo relacionado con el uso del teclado. Está diseñado para una interacción segura y no presenta riesgos de accidentes eléctricos o mal funcionamiento que puedan causar lesiones.

Costo Total de la Vida:

Bajo Costo: Los teclados PS/2 son relativamente baratos y fáciles de conseguir, lo que hace que el costo inicial y de mantenimiento sea bajo. Además, los teclados PS/2 son duraderos y no requieren actualizaciones frecuentes, lo que mantiene el costo bajo durante la vida útil del proyecto.

Accesibilidad económica: El uso de un teclado estándar facilita la implementación del sistema sin requerir costosos periféricos adicionales, haciéndolo más accesible para grupos de estudiantes o desarrolladores con presupuestos limitados.

Sostenibilidad y Carbono Neto Cero:

Impacto ambiental reducido: Al ser componentes muy comunes y duraderos, los teclados PS/2 no generan un alto nivel de residuos electrónicos a corto plazo.

Uso de recursos y sociocultural:

Reutilización y reciclabilidad: Los teclados PS/2 son ampliamente utilizados y pueden ser fácilmente reutilizados o reciclados, lo que fomenta prácticas más sostenibles.

Inclusividad cultural: El teclado es un dispositivo de entrada estándar que es accesible y conocido a nivel mundial, sin requerir una adaptación cultural específica para su uso.

Alternativa 2: Uso de Mouse PS/2 como Controlador

Salud y seguridad:

Ergonomía: El mouse necesita de una base para reposar la muñeca de la mano, de manera que no genere lesiones a largo plazo.

Costo Total de la Vida:

Requiere más recursos: A nivel de implementación, utilizar un mouse PS/2 puede requerir más recursos tanto en términos de hardware como de tiempo de desarrollo, ya que se necesitan decodificadores para los ejes X y Y, lo que aumenta la complejidad.

Sostenibilidad y Carbono Neto Cero:

Uso de recursos adicionales: Para soportar un mouse PS/2, se necesita una mayor infraestructura (conexiones, decodificadores, etc.), lo que implica una mayor utilización de recursos.

Menos reciclabilidad: Aunque los mouses pueden ser reciclables, la complejidad de sus componentes puede dificultar su reciclaje eficiente en comparación con un teclado más sencillo.

Uso de recursos y sociocultural:

Accesibilidad: Los mouses pueden ser más difíciles de personalizar para personas con discapacidades motoras, especialmente si tienen limitaciones severas. Aunque el movimiento del mouse es intuitivo, las personas con movilidad limitada pueden tener dificultades para manejar el dispositivo con precisión.

4. Selección de la propuesta final.

El teclado PS/2 es la opción más económica, accesible y sostenible desde los puntos de vista económico, energético y ambiental, aunque con algunas limitaciones en términos de experiencia de usuario.

Este también es más sencillo de implementar, más económico y accesible para una mayor diversidad de usuarios. Dado que el proyecto tiene un enfoque educativo y el objetivo es maximizar la accesibilidad y la facilidad de implementación, la opción final es **el teclado PS/2**.

5. Diseño de la alternativa seleccionada.

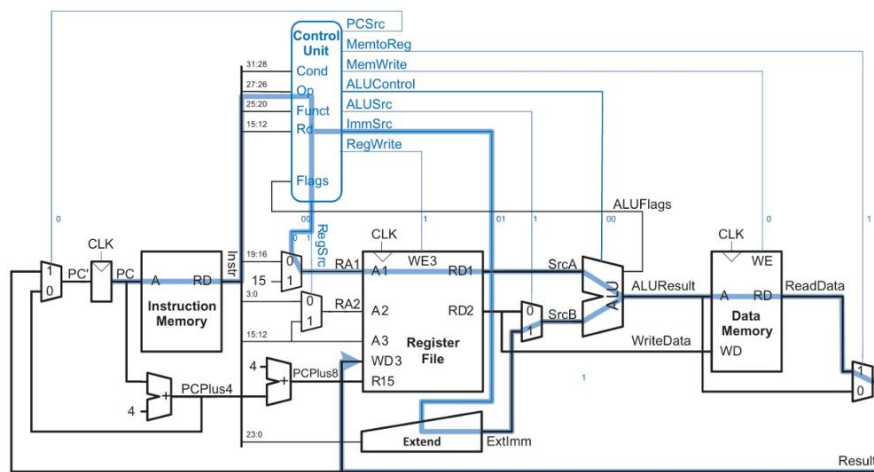


Figure 7.18 LDR critical path

Figura 3. Diagrama del procesador basado en [2].

El juego PONG utiliza un procesador ARMv4 basado en [2], implementado en FPGA para controlar el flujo del juego. El procesador maneja los valores en los registros, que incluyen la posición y dirección de la bola en cada iteración. Donde, el procesador calcula la nueva posición y dirección de la bola, detecta posibles colisiones con las barras laterales (controladas por los jugadores) y las paredes del área de juego, y finalmente actualiza la pantalla VGA con la nueva configuración del juego.

El procesador ARMv4 también maneja la memoria RAM para almacenar datos, como la posición de las barras laterales, que pueden ser alteradas por los jugadores mediante botones (teclas del teclado PS/2 o clics del mouse). De este modo, el sistema puede actualizar la posición de las barras en respuesta a la interacción del jugador.

El diseño del sistema toma en cuenta la ergonomía y la seguridad de los usuarios. Utilizar un teclado PS/2 como controlador reduce el riesgo de lesiones debido a

movimientos repetitivos, ya que los teclados están diseñados para ser cómodos y fáciles de usar. Además, no existen riesgos eléctricos inmediatos asociados al uso de teclados o mouses, ya que se utilizan componentes estándar y bien probados que cumplen con las normativas de seguridad. El uso de un teclado PS/2 es económico, lo que permite reducir el costo total de la vida del sistema. Los teclados PS/2 son dispositivos de bajo costo y fácil adquisición, lo que facilita la implementación del juego sin incurrir en costos elevados de hardware. Además, al ser componentes duraderos, no requieren un mantenimiento frecuente, lo que contribuye a la sostenibilidad económica del proyecto. El uso de un teclado PS/2 facilita la accesibilidad para un amplio rango de usuarios, sin importar su familiaridad con otros dispositivos. Además, el juego PONG es un clásico que ha sido disfrutado por generaciones, lo que le da un valor cultural significativo. Es accesible a una audiencia global sin tener que realizar ajustes culturales significativos en el diseño. El diseño del proyecto toma en cuenta el impacto ambiental al reducir al mínimo el uso de componentes electrónicos adicionales y al optar por dispositivos de bajo consumo energético. Los teclados PS/2 son componentes sencillos que no contienen materiales peligrosos en su fabricación, cumpliendo con normativas de reciclaje y sostenibilidad.

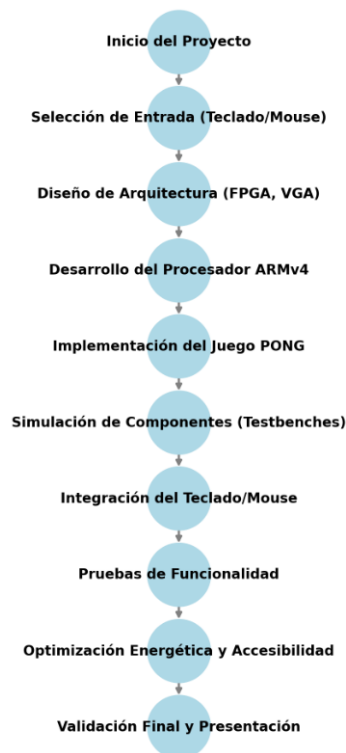


Figura 4. Diagrama de flujo del proyecto: Juego PONG.

6. Validación del diseño.

a. Validación Técnica y Funcional

Verificar que todos los módulos del sistema (procesador ARMv4, entradas del teclado, módulo VGA, detección de colisiones, etc.) funcionen correctamente de acuerdo con los requerimientos del juego. Esto implica realizar pruebas exhaustivas para confirmar que: el cálculo de la posición y dirección de la bola es correcto y actualizado en cada iteración las colisiones entre la bola y las barras laterales o las paredes son correctamente detectadas y procesadas, la salida VGA refleja correctamente las posiciones de la bola y las barras, y el marcador de puntuación es visible y preciso, entre otros. Estas pruebas se realizarán utilizando testbenches y simulaciones para verificar la funcionalidad individual de cada módulo y asegurar que el sistema completo funcione de manera óptima.

b. Validación en Salud y Seguridad Pública

El diseño del sistema ha tomado en cuenta la ergonomía y la seguridad de los usuarios, minimizando los riesgos asociados con el uso de los dispositivos de entrada (teclado PS/2 y mouse PS/2). La validación de estos aspectos incluye:

- Evaluación de la ergonomía del teclado PS/2 y el mouse PS/2 para garantizar que los jugadores no sufran molestias o lesiones por movimientos repetitivos. Se asegurará que las teclas estén en una disposición que minimice la incomodidad y el esfuerzo físico.
- Pruebas de seguridad eléctrica en todos los componentes del sistema (teclado, mouse, FPGA, etc.), garantizando que todos los dispositivos cumplan con las normas de seguridad eléctrica internacionales para evitar riesgos de cortocircuitos o mal funcionamiento.

c. Validación del Costo Total de la Vida

El diseño debe cumplir con el requisito de bajo costo, no solo en términos de implementación inicial, sino también en el mantenimiento a largo plazo. Para validar este aspecto, se debe realizar una revisión de los costos asociados con la compra y operación del hardware, incluyendo los teclados PS/2, mouse PS/2, y la FPGA.

d. Validación de Carbono Neto Cero y Sostenibilidad

El proyecto PONG ha sido diseñado con una mentalidad ecológica, buscando minimizar su huella de carbono tanto durante la operación como al final de la vida útil del hardware. Se verificará que los componentes electrónicos utilizados (teclado PS/2, mouse PS/2, y FPGA) sean de bajo consumo energético y que el sistema no exceda los límites de energía establecidos para proyectos similares.

Se confirmará que el hardware es reciclable y que los materiales utilizados cumplen con las normativas de reciclaje electrónico, como la norma la CE (Conformité Européene) [1].

e. Validación en Recursos, Sociales, Culturales y Ambientales

Finalmente, es esencial que el diseño sea accesible para una amplia gama de usuarios, tanto desde una perspectiva social como cultural. En este contexto se velará que el proyecto PONG sea inclusivo desde el punto de vista cultural. No contendrá ningún elemento que pueda resultar ofensivo o exclusivo para ciertos grupos culturales o sociales.

Bibliografia

[1] «Marquage CE: obtenir le certificat, exigences de l'UE - Your Europe», *Your Europe*, 01-ene-2022. [En línea]. Available: https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_fr.htm.

[2] Harris, D., & Harris, S. Digital Design and Computer Architecture. Morgan Kaufmann, 2016.