Proyecto de Curso:
Análisis, Diseño y Construcción de un Sistema Operativo desde Cero

Por

Castro Pari, Rayneld Fidel

Mamani Flores, Natan

Mendoza Quispe, Jose Daniel

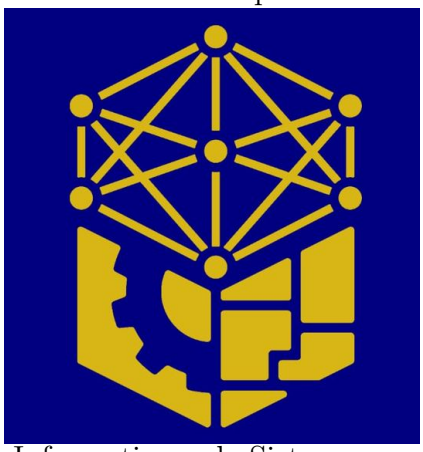
Polo Chura, Marco Rosauro

Trabajo académico presentado a la

Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica

como

Proyecto de Investigación de la tercera Unidad de Sistemas Operativos



Departamento Académico de Ingeniería de Informatica y de Sistemas

Asesor: Ugarte Rojas, Héctor Eduardo

Memorial Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Semestre 2025-II

Cusco Perú

Índice general

Índice de tablas

Índice de figuras

Introducción

Capítulo 1

Justificación de la propuesta seleccionada

gaga (Theseus OS Project, 2023)

1.1 Nombre del sistema operativo base

1.2 Objetivos del proyecto original

1.3 Arquitectura y enfoque técnico

1.4 Nivel de complejidad y adecuación al contexto educativo

1.5 Comunidad, documentacion y soporte disponible

Capítulo 2

Argumentos técnicos

2.1 Compatibilidad con herramientas de desarrollo

2.2 Modularidad y posibilidad de adaptación

2.3 Lenguaje de programación utilizado

2.4 Facilidad de compilación, prueba y depuración

2.5 Escalabilidad para futuras extensiones

Capítulo 3

Argumentos pedagógicos

3.1 Claridad conceptual y didáctica

3.2 Potencial para fomentar el aprendizaje activo

3.3 Relación con los contenidos del curso

3.4 Posibilidad de trabajo colaborativo y evaluación progresiva

Capítulo 4

Diseño del sistema operativo propuesto

Este capítulo presenta el diseño del sistema operativo HelenOS, Diseñado a partir de una arquitectura de micronúcleo y entornos operativos multiservidor (Děcký, 2015, 2010; Jermář, 2025). Se detallan el diseño estructural y los módulos esenciales para el desarrollo, las políticas de planificación y manejo de recursos y el flujo de ejecución esperado desde el arranque hasta la interacción del usuario. Se implementa un núcleo básico apoyado por múltiples servidores que operan en el área de usuario como redes, archivos y controladores, comunicándose mediante paso de mensajes asíncrono (Děcký, 2015). Ademas se inspirado en Unix/POSIX, evita interfaces heredadas cuando existen alternativas modernas, como por ejemplo, prescinde de los sockets de POSIX y expone una API orientada a flujos TCP (Korop, 2025; HelenOS project, 2026). La ruta de la comunicación de red atraviesa por procesos (NIC $\rightarrow$ Ethernet $\rightarrow$ IP $\rightarrow$ TCP) antes de llegar a la aplicación, reforzando el aislamiento y la modularidad (Ko-

rop, 2025). Finalmente, los ejecutables siguen el formato ELF con soporte de enlace dinámico, PIE y TLS, preparados por un servidor de carga antes del inicio de cada tarea (Volf, Matěj, 2025).

4.1 Diagrama de arquitectura general

El sistema operativo HelenOS está diseñado como un microkernel relativamente pequeño, asistido por un conjunto de controladores de espacio de usuario y tareas de servidor. HelenOS no es muy radical en cuanto a qué subsistemas deben o no implementarse en el kernel, en algunos casos, existen tanto controladores de kernel como de espacio de usuario. La razón para crear el sistema como un microkernel es prosaica. Si bien inicialmente es más difícil obtener el mismo nivel de funcionalidad de un microkernel que en el caso de un kernel monolítico simple, un microkernel es mucho más fácil de mantener una vez que sus componentes se han puesto en funcionamiento. Por lo tanto, el kernel de HelenOS, así como sus bibliotecas esenciales de espacio de usuario, solo pueden ser mantenidas por unos pocos desarrolladores que las comprendan completamente. Además, un sistema operativo basado en microkernel se completa antes que los kernels monolíticos, ya que el sistema puede utilizarse incluso sin algunos subsistemas tradicionales (por ejemplo, dispositivos de bloque, sistemas de archivos y redes). Segun (HelenOS Project, 2006).

Pordemos observar el diagrama de arquitectura general en la Figura 4.1.

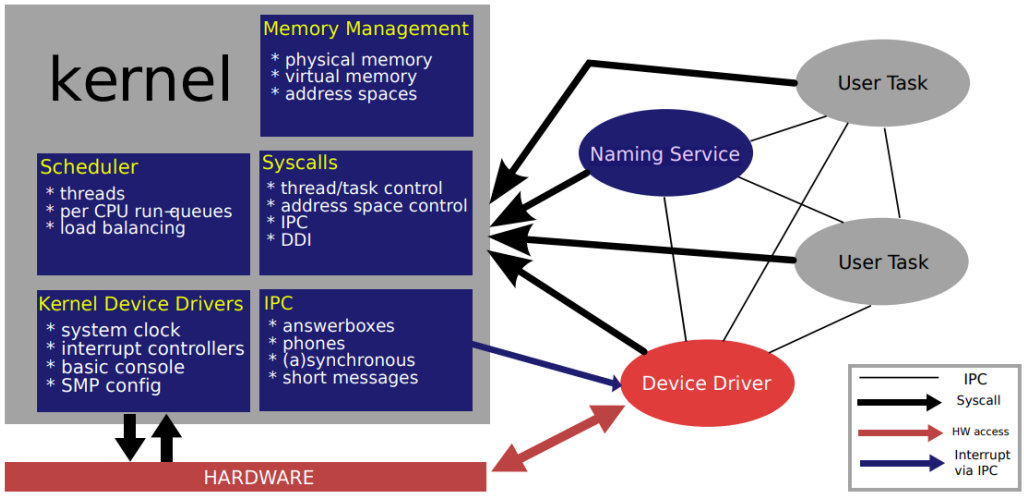


Figura 4.1: Diseño general de HelenOS y organización multiservidor basada en microkernel (fuente: (HelenOS Project, 2006)).

4.2 Componentes a implementar

4.2.1 Bootloader

En la arquitectura x86-64, HelenOS emplea el gestor de arranque GRUB (Grub boot loader). Segun (HelenOS Project, 2026) para iniciar el sistema. Este se encarga de cargar el kernel junto con un conjunto inicial de tareas de espacio de usuario necesarias para completar el proceso de arranque. Asimismo, GRUB carga un disco RAM que contiene el sistema de archivos raíz. Durante las fases iniciales del arranque, el sistema muestra mensajes de registro generados tanto por el kernel como por las tareas de espacio de usuario a medida que se inicializan. Una vez completado este proceso, el compositor de la interfaz gráfica toma control de la pantalla, momento en el cual el sistema ya cuenta con más de 35 tareas de espacio de usuario en ejecución, respon-

sables de proporcionar la funcionalidad básica del sistema. Según la documentación de diseño y del propio proyectos (HelenOS Project, 2006; Jermář, Jakub and Děcký, Martin and Cejpek, Josef and Mejdrech, Lukáš and others, 2006).

4.2.2 Kernel básico

Segun (Děcký, 2010)El planificador de HelenOS mantiene varias colas de ejecución asociadas a cada procesador. Los hilos preparados para ejecutarse se insertan en estas colas de acuerdo con su nivel de prioridad y el procesador actual, desde donde son seleccionados para su ejecución. Para garantizar un reparto equilibrado de la carga, existen hilos del núcleo con funciones especiales encargados de migrar hilos entre procesadores cuando es necesario. La planificación se basa en una política de round-robin aplicada sobre múltiples colas de prioridad.

Aunque el diseño del micronúcleo prioriza la simplicidad conceptual, HelenOS hace uso de mecanismos modernos y eficientes, incluyendo árboles AVL y B+, tablas hash, un asignador de memoria SLAB, diversas primitivas de sincronización interna y técnicas de bloqueo de grano fino, con el objetivo de mejorar el rendimiento y la escalabilidad del sistema.

Subsistemas fundamentales del kernel

El microkernel de HelenOS está organizado en subsistemas especializados que gestionan los recursos esenciales del sistema. La Tabla 4.1 presenta los tres pilares fundamentales: programación, gestión de memoria y comunicación entre procesos, detallando los mecanismos clave que implementa cada uno (HelenOS Project, 2006; Děcký, 2010).

Tabla 4.1: Subsistemas fundamentales del kernel de HelenOS

Subsistema del Kernel	**Entidades / Mecanismos Clave**	**Función Principal**
Programación (Scheduling)	Hilos del kernel, hilos de usuario, pseudohilos (fibrillas), tareas, colas de ejecución multinivel, planificador round-robin con prioridades, balanceo de carga entre CPUs	Gestionar la ejecución concurrente de múltiples tareas, asignar tiempo de CPU según prioridad, mantener el equilibrio de carga entre procesadores y soportar sistemas multiprocesador (SMP)
Gestión de Memoria	Asignador de bloques (SLAB allocator), asignador de tramas físicas (buddy system), traducción virtual-física mediante tablas de páginas, espacios de direcciones aislados, áreas de memoria compartidas, coherencia TLB	Asignar memoria dinámica al kernel y a las tareas de usuario, traducir direcciones virtuales a físicas, aislar espacios de memoria entre procesos, gestionar memoria compartida y garantizar coherencia en sistemas multiprocesador

Tabla 4.1 – continuación de la página anterior

Subsistema del Kernel	**Entidades / Mecanismos Clave**	**Función Principal**
Comunicación entre Procesos (IPC)	Mensajes cortos síncronos/asíncronos, *teléfonos* (canales de comunicación), llamadas asíncronas con callbacks, cuadros de respuesta (answer boxes), áreas de memoria compartida para datos grandes	Permitir la comunicación eficiente y segura entre tareas del sistema en un entorno microkernel multiservidor, facilitando el paso de mensajes y compartición de datos entre procesos aislados

Esta arquitectura modular permite que el microkernel se mantenga compacto y simple, delegando funcionalidades complejas a servidores en espacio de usuario que se comunican mediante el sistema IPC del kernel.

4.2.3 Gestión de procesos

En HelenOS, el hilo es la unidad básica de ejecución del kernel y se agrupa en tareas según su funcionalidad. En el espacio de usuario se emplean fibrillas, hilos cooperativos construidos sobre una API del núcleo y utilizados por el marco asíncrono. Debido a su arquitectura de micronúcleo, la comunicación entre procesos (IPC) es fundamental. Las tareas intercambian información mediante mensajes breves o mediante el compartimiento de memoria para datos de mayor tamaño. El modelo de

IPC permite múltiples conexiones simultáneas entre tareas. (HelenOS Project, 2006; Jindrák, Jaroslav, 2022).

4.2.4 Gestión de memoria

HelenOS garantiza la coherencia entre la TLB y las tablas de páginas mediante un mecanismo de invalidación coordinada en sistemas multiprocesador. La gestión de memoria del sistema cubre la asignación para el kernel, la traducción de direcciones virtuales y la administración de espacios de direcciones. Cada espacio de direcciones está compuesto por áreas disjuntas respaldadas por memoria anónima, imágenes ejecutables o memoria física. El sistema permite compartir áreas entre tareas, pero no soporta intercambio de páginas con almacenamiento secundario. (HelenOS Project, 2006)

4.2.5 Sistema de archivos

El sistema operativo HelenOS tiene soporte de sistemas de archivos basado en un Sistema de Archivos Virtual (VFS), que actúa como una capa de abstracción entre las aplicaciones y los distintos sistemas de archivos. El VFS se implementa como un servidor central encargado de unificar el acceso a los dispositivos de almacenamiento. Cada sistema de archivos se ejecuta como un servicio independiente en espacio de usuario y registra sus capacidades en el VFS. El VFS proporciona una interfaz común de operaciones y ofrece compatibilidad con POSIX mediante una capa de adaptación. Su diseño se divide en un frontend, que gestiona solicitudes simples, y un backend, que delega las operaciones al servidor de archivos correspondiente. (Zárevúcky, Jiří,

2012; Cimerman, Miroslav, 2025).

Arquitectura del subsistema de archivos

La Tabla 4.2 detalla los componentes principales del subsistema de archivos de HelenOS, incluyendo el servidor VFS central, los servidores de sistemas de archivos específicos y los componentes de soporte que permiten la gestión unificada del almacenamiento en un entorno multiservidor (Zárevúcky, Jiří, 2012; HelenOS Project, 2006).

Tabla 4.2: Componentes del subsistema de archivos en HelenOS

Componente	**Ubicación / Tipo**	**Función Principal**
VFS (Virtual File System)	Servidor central en espacio de usuario	Proporciona una interfaz unificada para acceder a múltiples sistemas de archivos, gestiona el árbol de directorios global y coordina las operaciones entre aplicaciones y servidores de archivos específicos
Servidores de FS específicos (FAT, ext2, tmpfs, etc.)	Servidores independientes en espacio de usuario	Implementan la lógica específica de cada tipo de sistema de archivos, manejan estructuras en disco (inodos, bloques, metadatos) y se comunican con VFS mediante IPC
Frontend VFS	Módulo del servidor VFS	Procesa solicitudes simples de aplicaciones (open, read, write, close), mantiene tablas de archivos abiertos y gestiona descriptores de archivo
Backend VFS	Módulo del servidor VFS	Delega operaciones complejas al servidor de archivos apropiado, traduce llamadas genéricas a operaciones específicas del FS y coordina el acceso concurrente

Este diseño modular permite que cada sistema de archivos funcione como un proceso independiente, mejorando la estabilidad del sistema ya que un fallo en un servidor de archivos no afecta al VFS ni a otros sistemas de archivos montados.

4.2.6 Interfaz de usuario

HelenOS proporciona una interfaz de usuario básica basada en texto, sin soporte gráfico integrado en el núcleo. La interacción con el sistema se realiza mediante un shell en espacio de usuario, denominado Bdsh, encargado de interpretar comandos, ejecutar aplicaciones y gestionar la entrada y salida estándar. Dado su enfoque como sistema operativo de investigación, el entorno de usuario es minimalista y se limita a una interfaz de línea de comandos (CLI). Las aplicaciones se comunican con los servidores del sistema a través del API de HelenOS, actuando el shell como un cliente de dichos servicios sin requerir soporte especial del kernel. Segun (HelenOS Project, 2026).

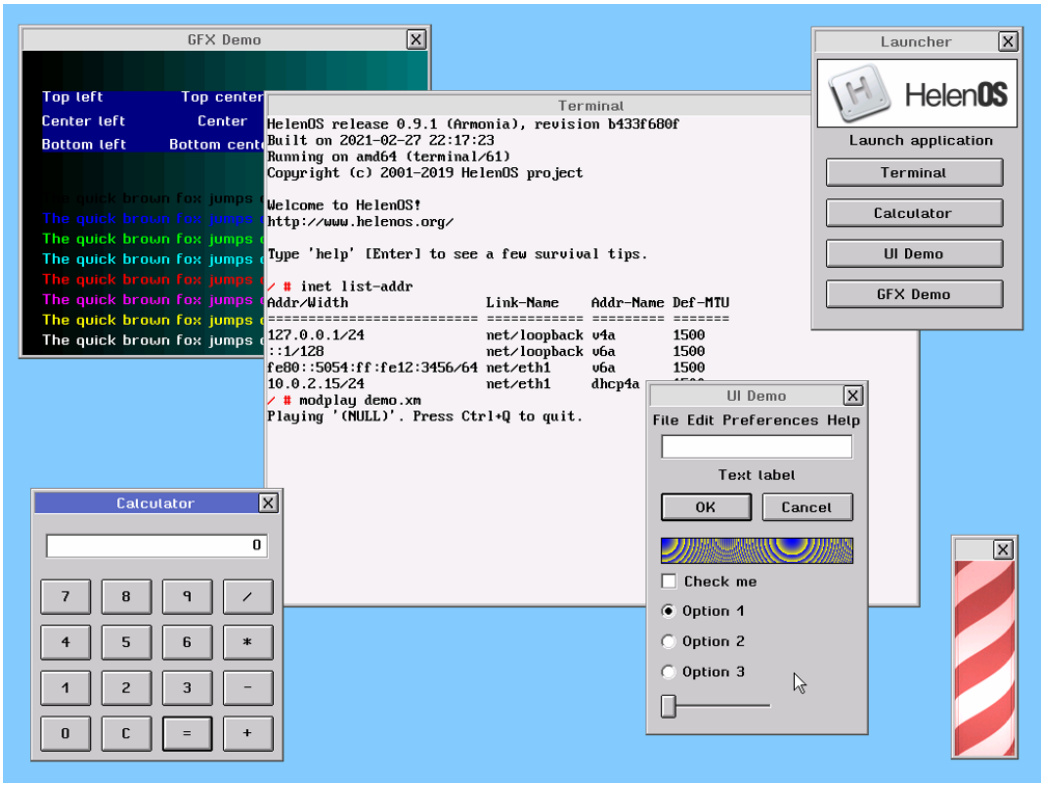


Figura 4.2: Diseño general de HelenOS y organización multiservidor basada en microkernel (fuente: (HelenOS Project, 2026)).

4.2.7 Políticas de planificación y manejo de recursos

HelenOS emplea un planificador preventivo con retroalimentación de prioridad, compatible con sistemas SMP y diseñado para ser altamente portable. Actualmente soporta múltiples arquitecturas de hardware, incluyendo x86, x86-64, IA64, SPARC, PowerPC, ARM y MIPS. Aunque no está orientado al uso general debido a la falta de aplicaciones de usuario, ya cuenta con subsistemas esenciales como sistemas de archivos y redes TCP/IP. El planificador utiliza múltiples colas de ejecución por procesador y una política round-robin con prioridades, incorporando migración de

hilos para balancear la carga. El diseño del sistema sigue el principio de separación entre mecanismos y políticas, delegando estas últimas al espacio de usuario. (Děcký, 2010; HelenOS Project, 2006).

Estrategias de planificación y gestión de recursos

La Tabla 4.3 presenta las principales políticas y mecanismos que emplea HelenOS para gestionar la planificación de hilos, la distribución de carga en sistemas multiprocesador y el manejo eficiente de recursos del sistema, siguiendo el principio de separación entre mecanismos (implementados en el kernel) y políticas (definidas en espacio de usuario) (Děcký, 2010; HelenOS Project, 2006).

Tabla 4.3: Políticas de planificación y manejo de recursos en HelenOS

Política / Mecanismo	**Descripción Técnica**	**Objetivo y Beneficios**
Planificación Round-Robin con Prioridades	Cada procesador mantiene múltiples colas de ejecución organizadas por niveles de prioridad. Los hilos rotan en su cola con quantum de tiempo fijo, pero las colas de mayor prioridad se atienden primero	Garantizar tiempo de CPU equitativo entre hilos de la misma prioridad mientras se respetan las diferencias de importancia. Previene inanición de tareas de baja prioridad mediante envejecimiento
Afinidad de CPU y Migración de Hilos	El planificador prefiere ejecutar hilos en el mismo procesador donde corrieron previamente (afinidad de caché). Hilos especializados del kernel monitorean la carga y migran hilos entre CPUs cuando detectan desbalance	Mejorar rendimiento aprovechando cachés L1/L2 calientes. Distribuir carga uniformemente en sistemas SMP/multicore para maximizar utilización de todos los procesadores
Planificación Preventiva (Preemptive)	El kernel puede interrumpir la ejecución de un hilo en cualquier momento mediante interrupciones de temporizador. No depende de que los hilos cedan voluntariamente la CPU	Garantizar respuesta interactiva del sistema y evitar que un hilo monopolice el procesador. Esencial para sistemas multiprogramados y tiempo compartido

Esta arquitectura flexible permite que HelenOS se adapte a diferentes cargas de trabajo y objetivos de rendimiento sin requerir recompilación del kernel, manteniendo la simplicidad conceptual del microkernel.

4.2.8 Flujo de ejecución básico

El flujo de ejecución de HelenOS inicia con el bootloader, que carga el microkernel en memoria y transfiere el control. El kernel inicializa el hardware esencial y habilita la planificación, la gestión de memoria y el IPC. Luego se lanzan los servidores fundamentales en espacio de usuario, como controladores de dispositivos, VFS y servicios de nombres. Finalmente, se inicia el shell Bdsh, y el sistema opera mediante múltiples tareas independientes que se comunican de forma concurrente a través del IPC del microkernel.(HelenOS Project, 2006)

Capítulo 5

Herramientas y entorno de desarrollo

5.1 Lenguaje(s) de programación alto y bajo nivel

5.2 Compilador cruzado

5.3 Emulador

5.4 Control de versiones (Git)

5.5 Editor o entorno de desarrollo

Capítulo 6

Planificación de implementación

6.1 Cronograma tentativo por componentes.

6.2 Estrategia de pruebas y validación.

6.3 Posibles riesgos y cómo mitigarlos.

Referencias

Cimerman, Miroslav (2025). Software RAID for HelenOS. Tesis de Grado (Bakalářská práce), Charles University (Univerzita Karlova), Faculty of Mathematics and Physics, Praga, República Checa. Supervisor: Mgr. Vojtěch Horký, Ph.D. Departamento de Sistemas Distribuidos y Confiables. Programa: Computer Science. Accedido el 4 de enero de 2026.

Děcký, M. (2010). A road to a formally verified general-purpose operating system. In *Proceedings of the International Symposium on Architecting Critical Systems (ISARCS '10), Lecture Notes in Computer Science, vol. 6150.* Recuperado el 22 Octubre 2025.

Děcký, M. (2015). *Application of Software Components in Operating System Design.* PhD thesis, Charles University in Prague, Faculty of Mathematics and Physics.

HelenOS Project (2006). *HelenOS 0.2.0 Design Documentation.* Technical report, Charles University (Univerzita Karlova), Faculty of Mathematics and Physics. Documentación oficial de diseño y principios del micronúcleo. Accedido el 3 de enero de 2026.

HelenOS project (2026). HelenOS: The multiserver microkernel-based operating sys-

tem. Sitio web oficial. Accedido el 3 de enero de 2026. Fuente de la imagen de arquitectura y diseño del sistema.

HelenOS Project (2026). HelenOS Wiki: Tutorial. Wiki oficial del proyecto HelenOS. Instrucciones de ejecución y despliegue del sistema en arquitectura x86. Accedido el 3 de enero de 2026.

Jermář, J. (2025). Helenos — source code (github repository). https://github.com/HelenOS/helenos. Repositorio accedido el 22 Octubre 2025.

Jermář, Jakub and Děcký, Martin and Cejpek, Josef and Mejdrech, Lukáš and others (2006). *HelenOS - Software Project Documentation*. Technical report, Charles University (Univerzita Karlova), Faculty of Mathematics and Physics. Documentación detallada del proyecto de software. Accedido el 3 de enero de 2026.

Jindrák, Jaroslav (2022). C++ Runtime for HelenOS. Tesis de Maestría (Diplomová práce), Charles University (Univerzita Karlova), Faculty of Mathematics and Physics, Praga, República Checa. Supervisor: Mgr. Martin Děcký, Ph.D. Departamento de Sistemas Distribuidos y Confiables. Programa: Computer Science. Rama: Software Systems. Accedido el 4 de enero de 2026.

Korop, N. (2025). Captura de paquetes para helenos. Tesis de grado, Universidad Charles (Univerzita Karlova), Facultad de Matemáticas y Física. Aceptada el 19 de junio de 2025. Accedido el 3 de enero de 2026.

Theseus OS Project (2023). The theseus os book. Recuperado de https://www.theseus-os.com/Theseus/book/index.html.

Volf, Matěj (2025). Rust for HelenOS. Tesis de Grado (Bakalářská práce), Charles University (Univerzita Karlova), Faculty of Mathematics and Physics, Praga, República Checa. Director de tesis: Mgr. Vojtěch Horký, Ph.D. Departamento de Sistemas Distribuidos y Confiables. Accedido el 3 de enero de 2026.

Zárevúcky, Jiří (2012). Improved VFS design for HelenOS. Tesis de Grado (Bakalářská práce), Masaryk University (Masarykova univerzita), Faculty of Informatics, Brno, República Checa. Accedido el 4 de enero de 2026. Este trabajo rediseña el servidor de archivos virtual para optimizar la comunicación IPC en HelenOS.

Anexos