



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

***COMPUTACIÓN DIGITAL
ELEE A0442
NRC 24857***

PERÍODO ABR 2025 – AGO 2025

ING. TATIANA ACOSTA, PH.D



Resultados de aprendizaje de la asignatura

Conceptuales:

- Comprende y domina los fundamentos de los sistemas digitales, fundamentos de la arquitectura del computador, fundamentos de la arquitectura de sistemas embebidos y su aplicación para la resolución de problemas propios de la ingeniería.



Resultados de aprendizaje de la asignatura

Procedimentales:

- Analiza, sintetiza y diseña circuitos electrónicos combinacional y secuencial.
- Analiza y verifica las técnicas arquitectónicas utilizadas actualmente en el diseño y construcción de muchos de los computadores y sistemas embebidos que nos rodean.



Resultados de aprendizaje de la asignatura

Actitudinales:

- Participa activamente en un equipo de trabajo, resolviendo problemas que empleen conceptos de sistemas digitales, arquitectura del computador y arquitectura de sistemas embebidos en la tecnología de la información.



Contenido

FUNDAMENTOS DE ARQUITECTURA DEL COMPUTADOR

- **Introducción a sistemas computacionales**
 - Historia, evolución y tendencias
 - Diseño de computador, niveles de abstracción (hardware y software)
 - Nociones de sistemas operativos
- **Funciones de la unidad central de procesamiento (CPU)**
 - Ciclo de instrucción
 - Ejecución de instrucciones
 - Interrupciones
 - Unidad aritmético lógica
 - Unidad en punto flotante
 - Unidad de control



Introducción a sistemas computacionales

- Se puede definir a la arquitectura de computadores como el estudio de la estructura, funcionamiento y diseño de computadores. Esto incluye, sobre todo a aspectos de hardware, pero también afecta a cuestiones de software de bajo nivel.



Introducción a sistemas computacionales

- Computador (PC), es un dispositivo electrónico capaz de recibir un conjunto de instrucciones y ejecutarlas realizando cálculos sobre los datos numéricos, o bien compilando y correlacionando otros tipos de información.



Introducción a sistemas computacionales

- ¿Como funciona un PC?

Todo PC funciona, desde un punto de vista llamado externo, con un esquema similar y muy simple. A través de los periféricos de entrada (teclado, ratón, micrófono...) se introducen datos. Estos pasan a guardarse en los dispositivos correspondientes (memorias) y se incorporan a la unidad central (CPU) donde se procesan.



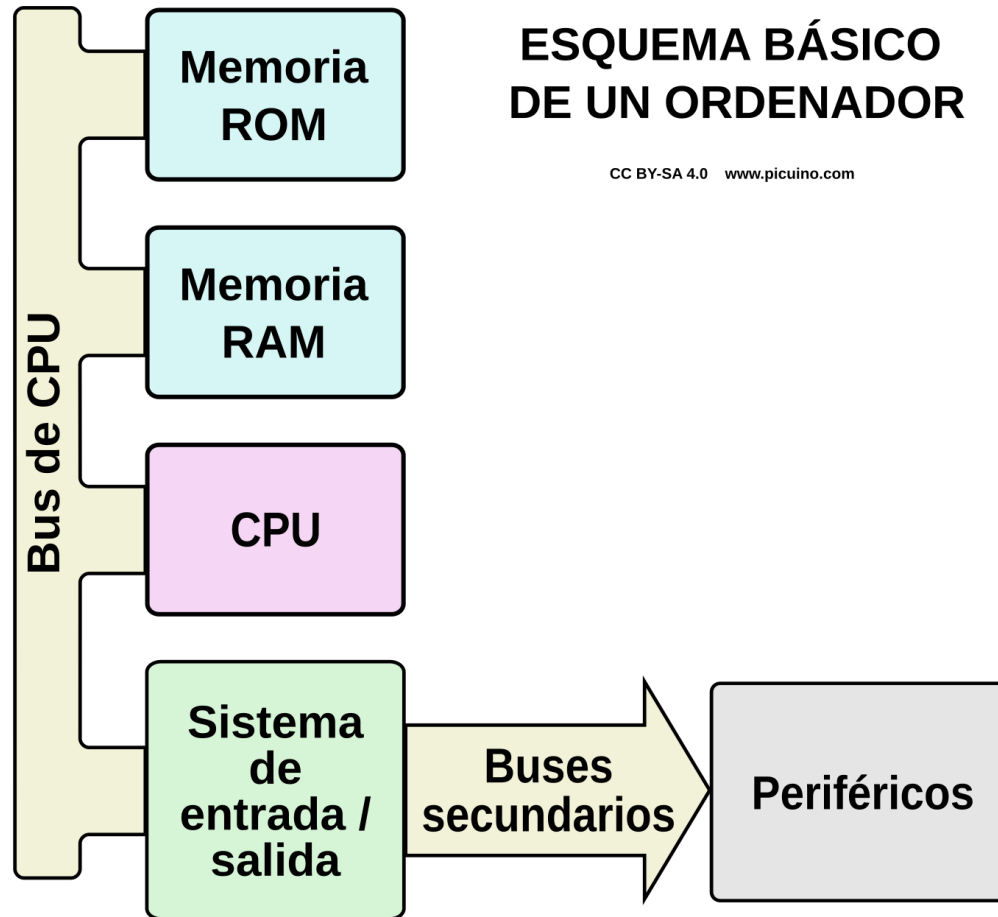
Introducción a sistemas computacionales

- El resultado de tal procesamiento se envía a los periféricos de salida (monitor, impresora...) dando lugar a la salida de datos.
- Internamente, la transferencia de los datos desde los dispositivos de entrada llega al CPU a través de los denominados buses de datos. En el CPU se procesan y siguen el camino inverso al recorrido anteriormente: se guardan en la memoria y restantes unidades de almacenamiento y salen mediante los dispositivos de salida.



ESQUEMA BÁSICO DE UN ORDENADOR

CC BY-SA 4.0 www.picuino.com



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Historia, evolución y tendencias

- La computadora nace de la necesidad del ser humano de construir una máquina que lo apoye en realizar ciertos procesos, esencialmente, repetitivos, en un tiempo menor.



Historia, evolución y tendencias

- En la actualidad los computadores tienden a ser diseñados de acuerdo con la aplicación u objetivos específicos requeridos, en función de cuatro orientaciones claves:
 - Arquitecturas fundamentalmente seguras, confiables y protegidas.
 - Arquitecturas fundamentalmente eficientes en consumo de energía.
 - Arquitecturas fundamentalmente con baja latencia y resultados predecibles.
 - Arquitecturas avanzadas específicas para Inteligencia Artificial, Genomas, Aprendizaje automático, medicina y salud.

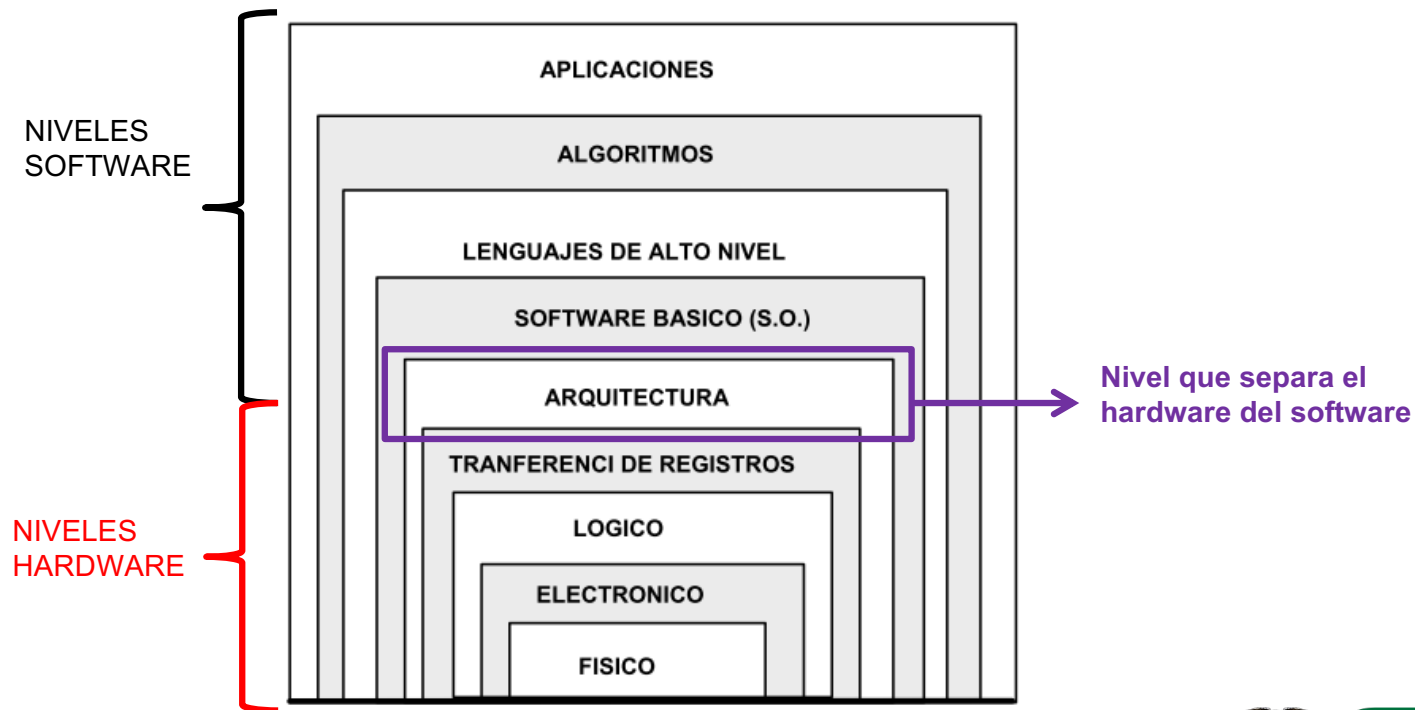


Diseño de computador, niveles de abstracción (hardware y software)

- Abstraer es la acción de seleccionar y simplificar información relevante en diferentes niveles, permitiendo un mejor manejo y entendimiento de sistemas complejos.
- Los niveles de abstracción que se pueden definir para poder entender el funcionamiento de una computadora son:

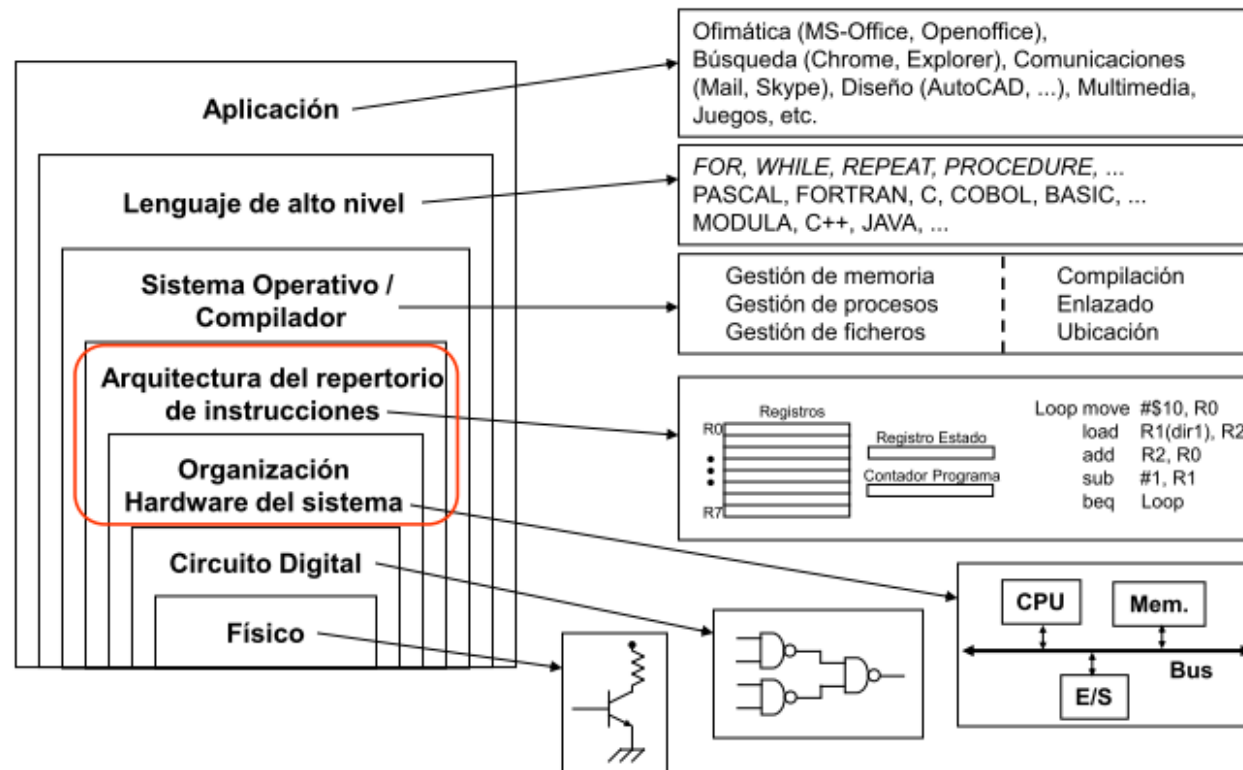


Diseño de computador, niveles de abstracción (hardware y software)



Introducción a sistemas computacionales

Diseño de computador, niveles de abstracción (hardware y software)



Diseño de computador, niveles de abstracción (hardware y software)

- **Nivel de transferencia de registros (RT):** Los elementos de entrada a este nivel son:
 - Registros, constituidos por grupos de biestables, mantienen el estado del sistema.
 - Módulos combinacionales, definen las transformaciones elementales del estado.
 - Elementos de interconexión, compuestos por buses y/o multiplexores que permiten el intercambio de información entre los registros y módulos combinacionales.
- El conjunto de transferencias elementales posibles en la ruta de datos construida con los elementos de entrada, constituyen los elementos de salida de este nivel.
- En este nivel se pueden utilizar lenguajes de descripción de hardware, como VHDL, para obtener una representación adecuada del mismo.



Diseño de computador, niveles de abstracción (hardware y software)

- **Nivel de Arquitectura:** En este nivel es donde se separa el hardware de software. Los elementos de entrada a este nivel son las transferencias de información en la ruta de datos de un computador. Aquí es donde se construye el lenguaje de máquina. La característica de este nivel es que a partir de aquí inician los niveles propiamente simbólicos cuyos componentes básicos no son elementos físicos sino símbolos establecidos por un lenguaje.
- El nivel de lenguaje máquina es el primero al que un usuario puede tener acceso a menos que la máquina sea microprogramable, en cuyo caso se dispone de un nivel intermedio que modifica el repertorio de instrucciones.



Diseño de computador, niveles de abstracción (hardware y software)

- Normalmente para poder programar en lenguaje de máquina hace falta una representación simbólica del mismo la cual se le conoce como lenguaje ensamblador, el cual ofrece representaciones, como el uso de macros y la definición simbólica de constantes y posiciones de memoria.
- Este nivel queda definido por:
 - El repertorio de instrucciones, con sus respectivos formatos, modos de direccionamiento, secuenciamiento y representación de datos. Los repertorios más utilizados son CISC y RISC, que los analizaremos posteriormente
 - La memoria y el conjunto de registros visibles por el programador.



Diseño de computador, niveles de abstracción (hardware y software)

- **Nivel de aplicaciones:** A este nivel corresponden las aplicaciones, que consisten en programas para realizar un grupo de funciones, tareas o actividades coordinadas para la solución del problema. Las especificaciones funcionales son expresadas mediante algoritmos, los cuales codificados en un lenguaje de programación y posteriormente compilados, se ejecutan en la máquina.



Nociones de sistemas operativos

- El sistema operativo es el conjunto de programas que permite la interacción del nivel de hardware/software con el nivel de programa/lenguaje de los niveles de abstracción del computador. Básicamente es una máquina virtual que es accedida por el usuario para utilizar el hardware puro, constituyendo una interfaz entre los programas de aplicación del usuario y el hardware.
- Los objetivos y funciones de los sistemas operativos son:
 - Facilitar al usuario el uso del hardware: El sistema operativo proporciona una interfaz de uso del hardware mucho más fácil de utilizar que el lenguaje máquina.
 - Eficiencia: Permite optimizar el uso de los recursos del computador, utilizándolo de la forma más eficiente posible.



Nociones de sistemas operativos

- Permitir la ejecución de programas: El sistema operativo realiza todas las tareas necesarias para que el usuario ejecute un programa, por ejemplo: cargar las instrucciones y datos del programa en memoria, iniciar dispositivos de entrada/salida y preparar otros recursos.
- Acceder a los dispositivos entrada/salida: El sistema operativo suministra una interfaz homogénea para los dispositivos de entrada/salida.
- Proporcionar una estructura y conjunto de operaciones para el sistema de archivos.
- Controlar el acceso al sistema y los recursos: Protege los recursos y los datos frente a usuarios no autorizados en el caso de sistemas compartidos.



Nociones de sistemas operativos

- Detección y respuesta ante errores: El sistema operativo debe prever todas las posibles situaciones críticas y resolverlas, si es que se producen.
- Capacidad de adaptación: Un sistema operativo debe ser construido de manera que pueda evolucionar a la vez que surgen actualizaciones hardware y software.
- Gestionar las comunicaciones en red: El sistema operativo debe permitir al usuario manejar con facilidad todo lo referente a la instalación y uso de las redes de ordenadores.
- Permitir a los usuarios compartir recursos y datos: Este aspecto está muy relacionado con el anterior y daría al sistema operativo el papel de gestor de los recursos de una red



Nociones de sistemas operativos

- Los principales recursos que administra el sistema operativo son:
 - El procesador.
 - La memoria.
 - Los dispositivos de entrada/salida.
 - El sistema de archivos.
- El sistema operativo gestiona estos recursos con su componente más importante, el núcleo o kernel. Este normalmente es una pequeña parte de todo el sistema operativo, pero es la que más se utiliza. El núcleo reside por lo general en la memoria principal, mientras que el resto de las partes se cargan en ella solamente cuando se necesitan.

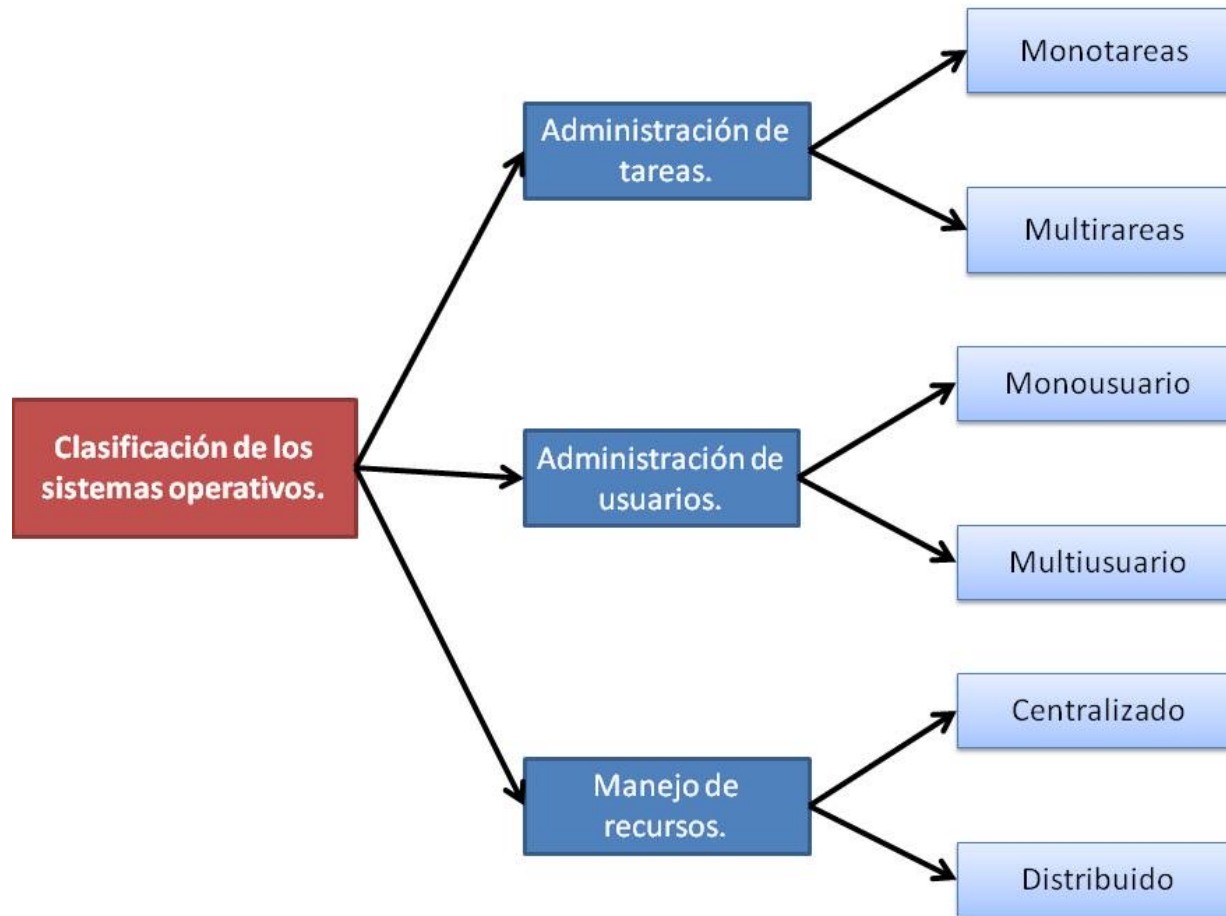


Nociones de sistemas operativos

- El núcleo se encarga de controlar y administrar los servicios y peticiones de recursos. Lo realiza por medio de los siguientes niveles de gestión:
 - Gestión de procesos.
 - Gestión de memoria.
 - Gestión de entrada/salida (E/S).
 - Gestión del Sistema de archivos.



Introducción a sistemas computacionales



TAREA

- Consultar los otros tipos de clasificación de los sistemas operativos.



Funciones de la unidad central de procesamiento (CPU)

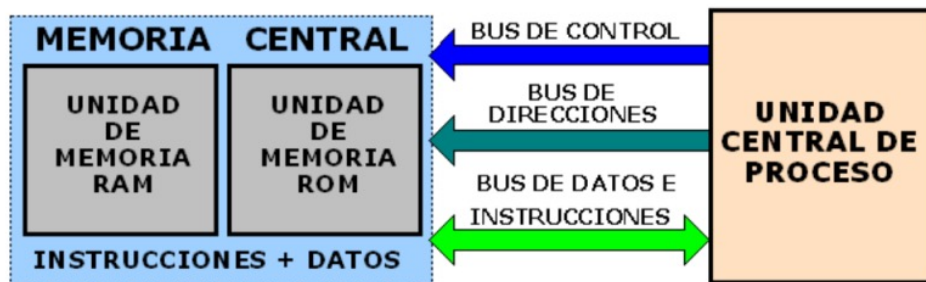
- La organización o estructura del computador se refiere a las unidades funcionales del computador y al modo como están interconectadas.
- Los elementos habituales asociados a la organización o estructura del computador son los siguientes:
 - Sistemas de interconexión y de control.
 - Interfaz entre el computador y los periféricos.
 - Tecnologías utilizadas.



Funciones de la unidad central de procesamiento (CPU)

- Los dos tipos de organización más habituales que existen son:

ARQUITECTURA VON NEUMANN



ARQUITECTURA HARVARD



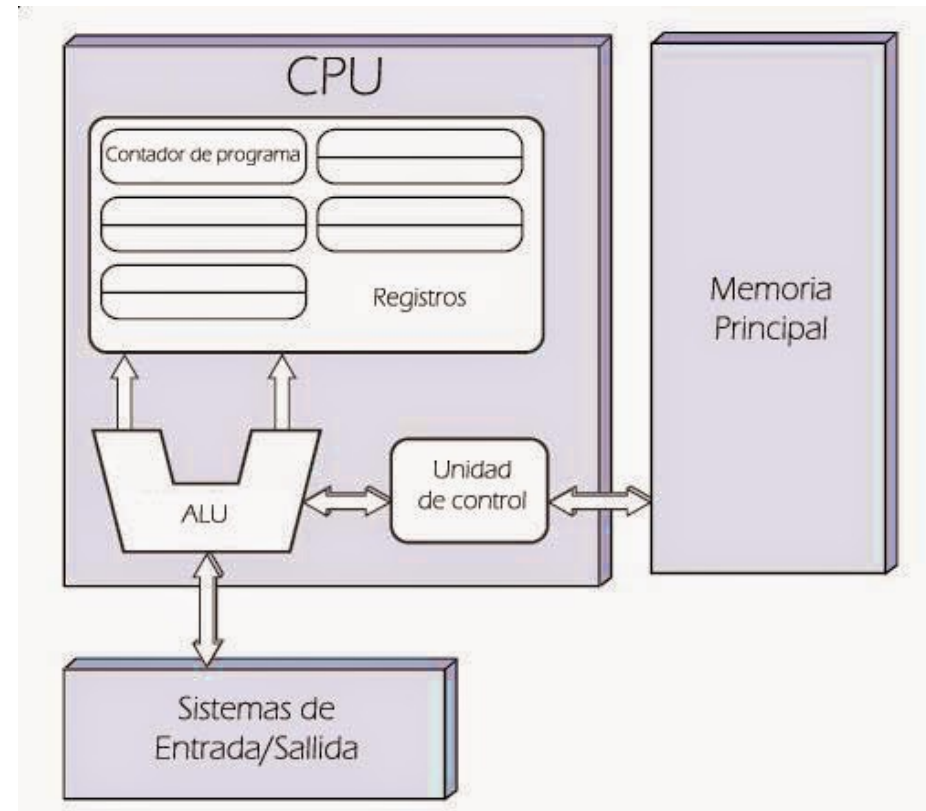
Funciones de la unidad central de procesamiento (CPU)

- **Von Neumann:** Tradicionalmente los sistemas con microprocesadores se basan en esta arquitectura, en la cual la unidad central de proceso (CPU), está conectada a una memoria principal única (casi siempre sólo RAM) donde se guardan las instrucciones del programa y los datos. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (control, direcciones y datos).
- El objetivo de esta arquitectura es construir un sistema flexible que permita resolver diferentes tipos de problemas.



Funciones de la unidad central de procesamiento (CPU)

- Para conseguir esta flexibilidad, se construye un sistema de propósito general que se pueda programar para resolver los diferentes tipos de problemas.
- Para cada problema concreto se define un programa diferente.



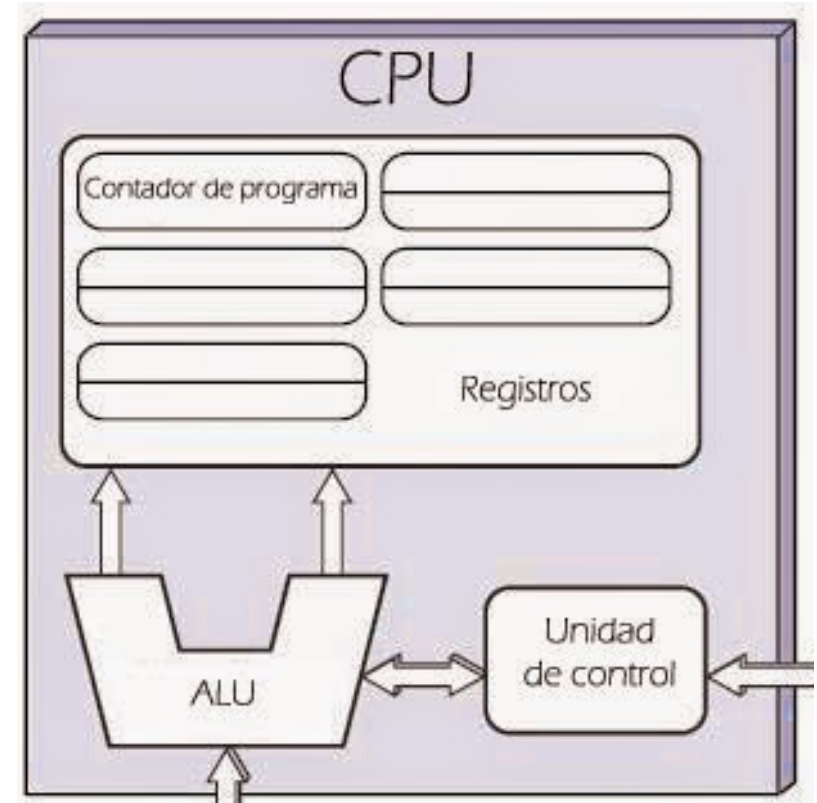
Funciones de la unidad central de procesamiento (CPU)

Unidad de Control (UC)

- Controla todos los componentes
- Interpreta instrucciones
 - Decodifica y Ejecuta instrucciones.
 - Transforma instrucciones en órdenes a otros componentes
 - Puede ser programada por hardware (cableada) y “microprogramada” (varias microinstrucciones por instrucción)

Unidad Aritmético Lógica (ALU)

- Realiza operaciones matemáticas y lógicas
 - Sumas, restas, multiplicaciones
 - Operaciones lógicas: And, Or, Xor
 - Desplazamientos y rotaciones de datos



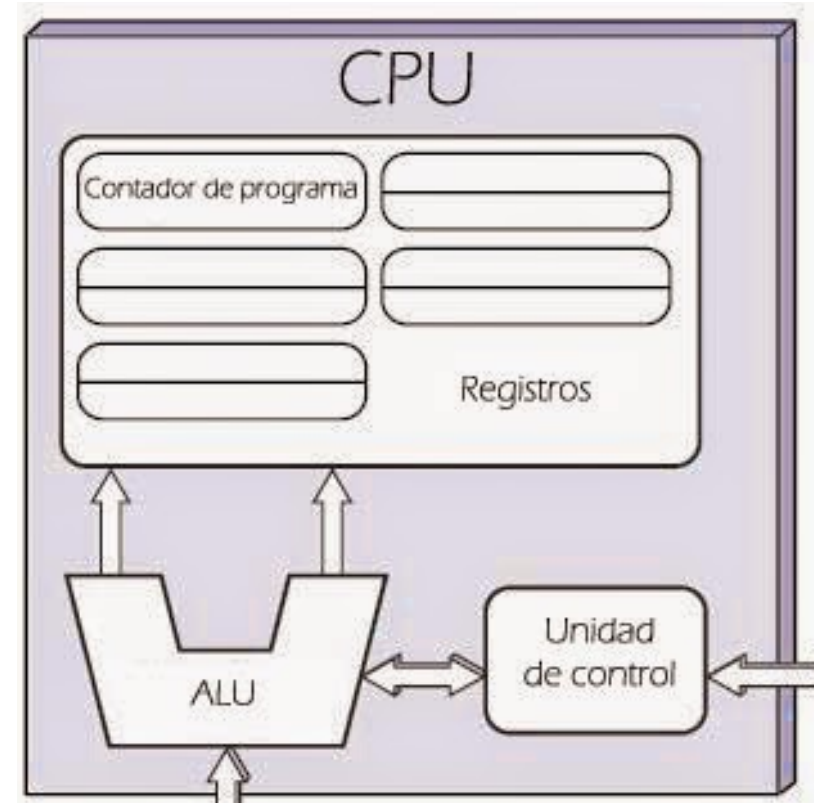
Funciones de la unidad central de procesamiento (CPU)

Registros

- Almacenan datos binarios
- Acceso rápido
- Tamaño fijo
- De propósito general (programas)
- Específicos
 - Acumulador
 - Program counter
 - Puntero a memoria

DataPath

- Conexión interna que comunica la UC con las otras unidades y registros.
- Mueve datos entre los diferentes componentes
- Controlado por un reloj.



Ciclo de instrucción

- Las instrucciones que puede realizar una CPU son de diferente tipo de acuerdo con lo que el fabricante del dispositivo haya diseñado, al conjunto de instrucciones se lo conoce como juego de instrucciones. En la mayoría de arquitecturas existen los siguientes tipos de instrucciones:
 - Transferencia de datos (movimiento de información entre dispositivos)
 - Aritméticas (suma, resta, complemento a 2)
 - Lógicas y manejo de bits (operación AND, OR, XOR, NOT)



Ciclo de instrucción

- Transferencia de control del programa (Permiten saltar a otras partes del código.)
 - Manejo de cadenas (Manejo de arreglos de información)
 - Control de banderas (Colocación en '0' o en '1' bits de los registros de control y de estado)
 - Entrada/salida (Permiten la comunicación con los dispositivos de entrada y salida).
-
- Dependiendo de lo que realice la instrucción requerirá de diferente información para su ejecución.



Ciclo de instrucción

- Por ejemplo, si es una instrucción aritmética, requerirá saber cuál de ellas debe hacer suma, resta o multiplicación, con que operandos va a trabajar y en donde va a colocar el resultado.
- Si es una operación de transferencia de datos, deberá indicar la ubicación (dirección) tanto de la fuente de los datos como del destino.
- La información necesaria para la ejecución de la operación debe ser codificada en un conjunto de bits puesto que el computador es una máquina digital que entiende sólo '0's o '1's.



Ciclo de instrucción

- Al ciclo de instrucción se le conoce como ciclo de fetch-and-execute o ciclo de fetch-decode-execute y es el período (tiempo) que tarda la CPU en ejecutar una determinada instrucción.
- Por lo tanto, dependiendo de la arquitectura del procesador y de las instrucciones, un ciclo de instrucción puede contener uno o varios ciclos de máquina.
- Así por ejemplo la ejecución de una instrucción que escriba el resultado en memoria consta de los siguientes pasos:
 - Leer una instrucción.
 - Decodificar una instrucción



Ciclo de instrucción

- Encontrar la ubicación donde se encuentra el operando (registro, memoria caché, memoria principal, disco duro).
- Traer el operador a la CPU.
- Ejecutar la operación.
- Encontrar la ubicación del destino de la memoria.
- Guardar el resultado en la posición de memoria.
- Por tanto, al acceder dos veces a la memoria tanto para la lectura de la instrucción como para almacenar el resultado de la operación tardará mucho más que por ejemplo una instrucción de control de banderas en la que se coloque en '0' un bit del registro de estado.



Ciclo de instrucción

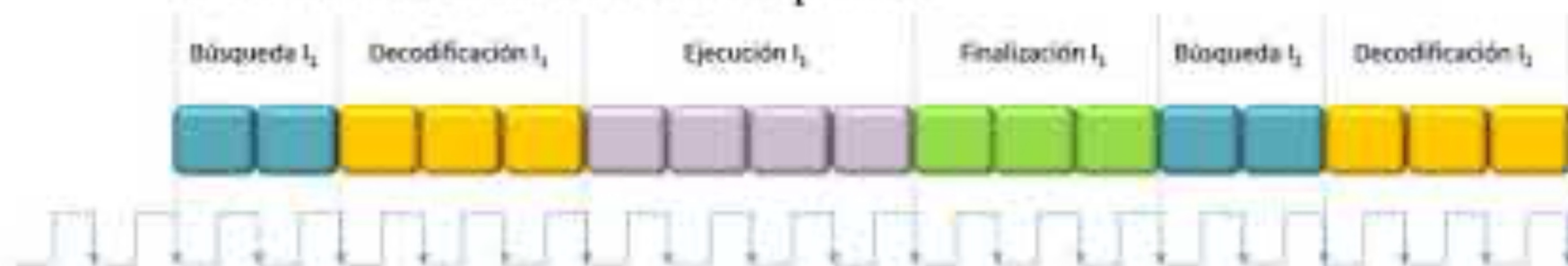
- Debido a que para cierto tipo de instrucciones y tipo de arquitecturas el ciclo de máquina es igual al ciclo de instrucción, comúnmente lo usan como términos sinónimos. Sin embargo, una diferencia clara entre ciclo de máquina y ciclo de instrucción se observa cuando se compara los componentes envueltos en su desarrollo. Mientras el ciclo de máquina comprende la escritura de resultados hasta la unidad de manejo de memoria, el ciclo de instrucción termina cuando los resultados son grabados en memoria principal.



Ciclos máquina

Latencia =

*Número de Instrucciones \times
Ciclos por Instrucción en promedio \times
Duración del Ciclo Máquina*



Ejecución de instrucciones

- Un programa contiene datos e instrucciones. Los datos pueden ser fijos (datos constantes) o pueden cambiar (datos variables).
- Si los datos son constantes estos se encuentran almacenados de manera embebida en las instrucciones y no se requiere de un espacio de memoria de datos para almacenarla.
- Si los datos son variables requieren de un espacio de la memoria de datos para ser almacenados y modificados durante el tiempo de ejecución del programa.



Ejecución de instrucciones

- Todo programa está compuesto por una rutina principal, llamada main, en donde se encuentran descritos todos los pasos (instrucciones) que se deben cumplir para obtener el producto.
- Algunos pasos del programa se repiten durante la ejecución de este y para facilitar al programador la escritura del programa es posible crear una definición de un procedimiento (función o rutina) así cuando se requiera escribir esos pasos en lugar de escribirlos uno por uno, se escribirá el nombre del procedimiento.



Interrupciones

- Durante la ejecución de un programa, el CPU puede recibir una interrupción, que puede relacionarse con él o no.
- Las interrupciones alteran la ejecución del programa en respuesta a eventos internos o externos del sistema. De manera general se puede hablar de dos tipos de interrupciones: SOFTWARE Y HARDWARE.



Interrupciones

- Las interrupciones software permiten resolver eventos internos, tal como solventar situaciones de error al ejecutar una determinada instrucción. Por ejemplo, la presencia de una división por cero dispara automáticamente una interrupción Tipo 0.
- Las interrupciones hardware se producen por eventos provenientes de dispositivos externos al microprocesador que se reciben por pines particulares presentes en el circuito integrado del microprocesador, y se dividen en dos tipos: Interrupciones enmascarables y no enmascarables.



Interrupciones

Una vez que se genera una interrupción se cumple con el siguiente proceso:

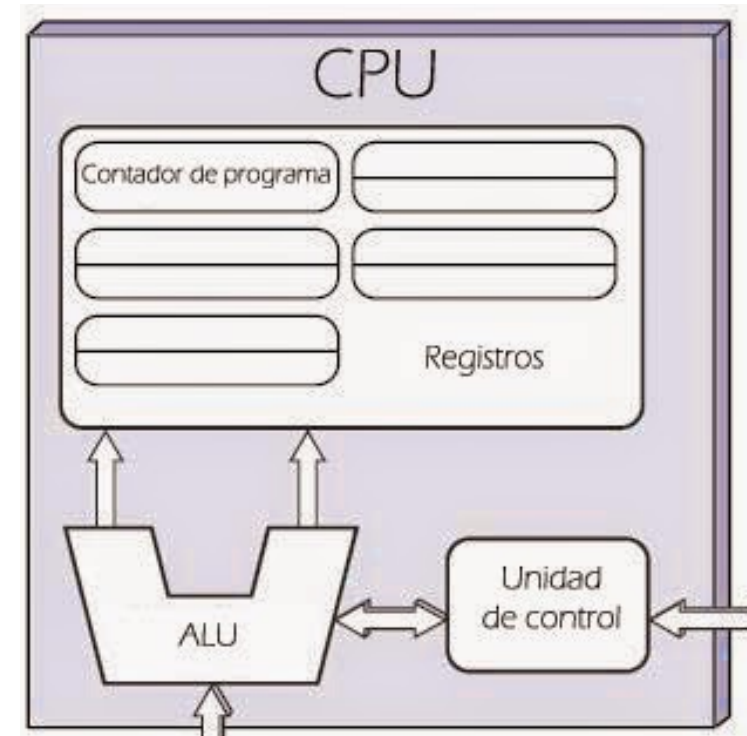
- Terminar la ejecución de la instrucción en curso
- Guardar el contexto (Contador de Programa y otros registros necesarios para la ejecución del programa en curso)
- Deshabilitar las interrupciones enmascarables
- Determinar quién causó la interrupción
- Saltar a la rutina de atención del periférico
- Atender a la interrupción
- Restaurar el contexto
- Habilitar las interrupciones enmascarables
- Retornar al programa principal



Funciones de la unidad central de procesamiento (CPU)

Unidad Aritmético Lógica

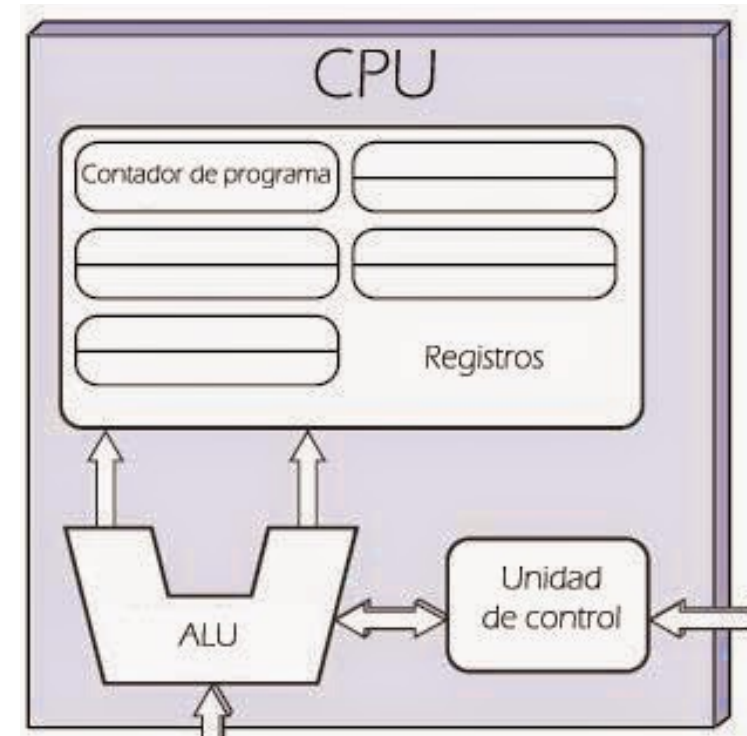
- La Unidad Aritmética Lógica (ALU) es la encargada de ejecutar las instrucciones correspondientes a operaciones aritméticas o lógicas del procesador. Para cumplir con este objetivo una ALU está compuesta de circuitos digitales combinacionales, agrupados en dos partes: el circuito aritmético y el circuito lógico.



Funciones de la unidad central de procesamiento (CPU)

Unidad Aritmético Lógica

- Una ALU básica es capaz de realizar una operación lógica o una operación aritmética sobre dos operandos. Para la selección de dicha operación dispone como entrada de un conjunto de selectores, que le permitirán seleccionar las operaciones que va a realizar, así como discriminar el resultado que va a pasar a la salida de la ALU ya sea de la parte aritmética o de la parte lógica.



Unidad en punto flotante

- La unidad de punto flotante (Floating Point Unit FPU), también conocida como coprocesador matemático, es una componente de la CPU especializada en realizar el cálculo de operaciones de punto flotante.
- Las operaciones básicas de la FPU son operaciones de suma y multiplicación, aunque existen sistemas de mayor complejidad que realizan cálculos trigonométricos y exponenciales.
- En algunas arquitecturas, el tratamiento de las operaciones de punto flotante es totalmente distinto al de las operaciones enteras, utilizando registros dedicados y tiempos de ciclo diferentes. Inclusive, operaciones como la división podrían realizarse en circuitos dedicados.



Unidad en punto flotante

- Cuando una CPU recibe una instrucción matemática, dependiendo del formato de esta, la envía automáticamente al procesador correspondiente.
- En lo referente al rendimiento del procesador, el rendimiento de las operaciones de números enteros y de punto flotante puede variar significativamente.
- El sistema punto flotante sirve para representar cualquier número con excepción del cero e infinito y elimina en lo posible el error de redondeo. Está limitado únicamente por la cantidad de bits que se utilicen para representar el número.



Funciones de la unidad central de procesamiento (CPU)

Unidad de control

- La Unidad de Control se constituye en el jefe del sistema, y por tanto está encargada de gestionar, sincronizar y ordenar las funciones de la CPU.

Existen dos maneras de diseñar la Unidad de Control:

- Unidad de Control Cableada, y
- Unidad de Control Microprogramada.



Unidad de control

- **Unidad de control cableada.-** es una unidad de control que utiliza un conjunto fijo de puertas lógicas y circuitos para ejecutar instrucciones. Las señales de control para cada instrucción están cableadas en la unidad de control, por lo que esta tiene un circuito dedicado para cada instrucción posible. Las unidades de control cableadas son simples y rápidas, pero pueden ser inflexibles y difíciles de modificar.



Unidad de control

- **Unidad de control microprogramada.-** es una unidad de control que utiliza un microcódigo para ejecutar instrucciones. El microcódigo es un conjunto de instrucciones que se pueden modificar o actualizar, lo que permite una mayor flexibilidad y facilidad de modificación. Las señales de control para cada instrucción son generadas por un microprograma que se almacena en la memoria, en lugar de estar incorporadas a la unidad de control.



Unidad de control

- Las unidades de control microprogramadas generalmente son más lentas que las unidades de control cableadas porque requieren un paso adicional de decodificación del microcódigo para generar señales de control, pero son más flexibles y fáciles de modificar.
- Se utilizan comúnmente en las CPU modernas porque permiten una implementación más sencilla de conjuntos de instrucciones complejos y un mejor soporte para extensiones de conjuntos de instrucciones.

