LICIENCIATURA EN CIENCIAS COMPUTACIONALES
AUTÓMATAS Y COOMPILADORES

REPORTE DE PRÁCTICA

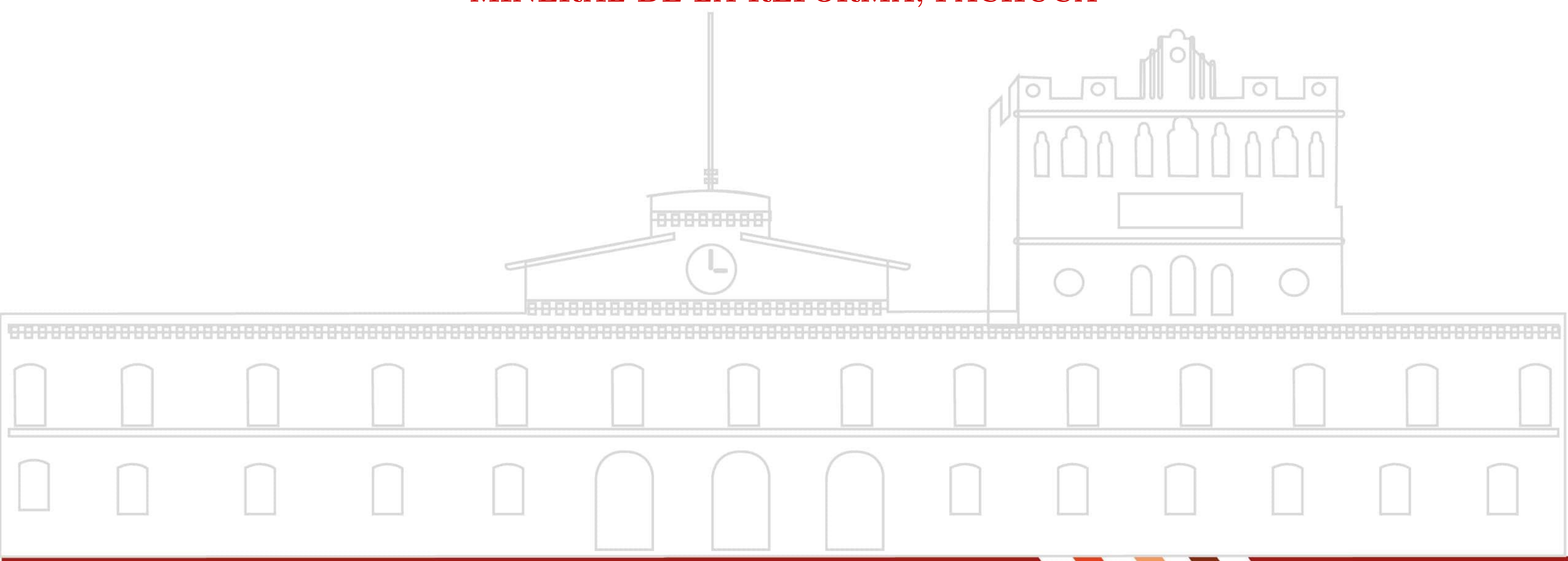
PRÁCTICA 0

ALUMNO: CHRISTIAN LÓPEZ SOLÍS

DR. EDUARDO CORNEJO VELÁZQUEZ

26 DE FEBRERO DEL 2025

MINERAL DE LA REFORMA, PACHUCA



1. Introducción

La Biblioteca Central es un espacio fundamental en la vida cultural y educativa de una comunidad. Funciona como un centro de conocimiento donde las personas pueden acceder a una vasta de colecciones de libros, revistas, y recursos digitales. Este lugar no solo promueve la lectura y el aprendizaje, sino que también se convierte en un punto de encuentro para actividades culturales, talleres y eventos comunitarios.

2. Objetivo

Visualizar y conocer cada uno de los servicios de brinda la biblioteca central de la UAEH, además de conocer que servicios, estancias de libros que sirven para la materia de Autonómas y Compiladores con el fin de conocer como funciona el lenguaje formal.

3. Marco Teórico

Lenguajes Formales

Un lenguaje formal es un conjunto de cadenas de símbolos de un alfabeto específico, utilizado para describir sistemas y estructuras en computación. Los lenguajes formales son fundamentales para la teoría de la computación, ya que permiten representar problemas y soluciones de forma estructurada. El concepto de alfabeto y palabra es clave, donde un alfabeto es un conjunto de símbolos, y una palabra es una secuencia finita de estos símbolos.

Autómatas

Un autómata es un modelo matemático que describe un sistema mediante estados y transiciones. Los autómatas finitos deterministas (AFD) tienen una única transición para cada estado y símbolo, mientras que los autómatas finitos no deterministas (AFND) pueden tener múltiples transiciones. Los autómatas con transiciones epsilon permiten transitar sin consumir símbolos de entrada.

Operaciones con Lenguajes

Las operaciones más comunes con lenguajes son:

- Unión: Combina dos lenguajes.
- Concatenación: Forma palabras concatenando elementos de diferentes lenguajes.
- Cierre de Kleene: Incluye todas las posibles cadenas que se pueden formar mediante la concatenación repetida de un lenguaje, incluyendo la palabra vacía

Minimización de Autómatas

La minimización de autómatas es el proceso de reducir el número de estados en un autómata sin alterar el lenguaje que reconoce. Esto se logra agrupando estados equivalentes, aquellos que tienen el mismo comportamiento para todas las posibles entradas. Este proceso mejora la eficiencia del autómata, optimizando su desempeño en la ejecución

4. Herramientas Empleadas

YouTube

Se utilizaron recursos educativos en YouTube para comprender y profundizar en temas clave de lenguajes formales y autómatas. Los videos proporcionaron una forma accesible y visual de explicar conceptos complejos, como la definición de autómatas, las operaciones con lenguajes formales y la minimización de estados.

Libros

PSe utilizaron recursos educativos además de YouTube como libros de la biblioteca central apara comprender un poco más los conceptos proporcionados en los videos de YouTube.

Editor de Textos LaTeX

Para la redacción del informe y la organización del marco teórico, se empleó LaTeX, una herramienta eficiente para la creación de documentos científicos, que permite organizar y estructurar contenido de manera clara y precisa, con un manejo adecuado de las referencias bibliográficas y el formato adecuado para la presentación de ecuaciones y gráficos.

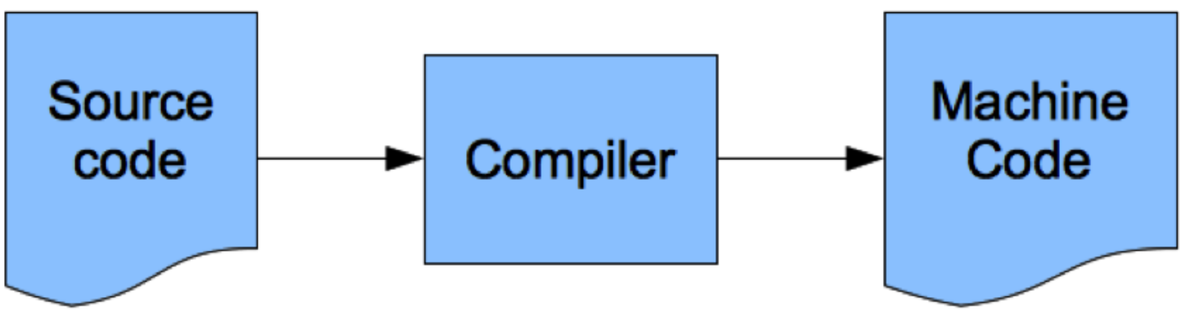


Figure 1: Ejemplo de un autómata y un compilador.

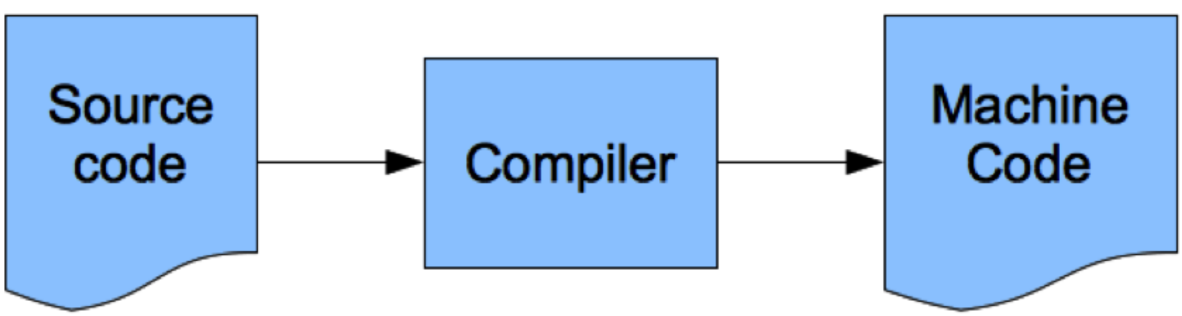


Figure 2: Ejemplo de un autómata y un compilador.

5. Desarrollo

º Video 1: Lenguajes formales desde cero (Palabras, alfabeto y clausura de kleene):

Alfabeto

Definición: Conjunto finito de símbolos usados para construir palabras en un lenguaje formal.
Definición Libro: Un alfabeto es un conjunto finitio no vacío cuyos elemntos se denomina símbolos y uxtapuestos de este alfabeto.
Ejemplos:

- El alfabeto español: $\{A, B, C, \ldots, Z\}$
- El alfabeto binario: $\{0, 1\}$

Cadenas o palabras

Definición: Secuencia finita y ordenada de símbolos de un alfabeto.
Ejemplos:

- Con el alfabeto español, una cadena puede ser "código".
- Con el alfabeto binario, una cadena puede ser "1010".

Cadena vacía

Definición: Cadena de longitud cero, representada por λ o ϵ.
Definición Libro: Denominamos palabra vacía la palabra de longitud cero. Representaada por .
Ejemplos:

- En un alfabeto de letras, una cadena vacía no contiene ningún símbolo: "" (vacío).
- En un alfabeto binario, la cadena vacía es simplemente la ausencia de 0s y 1: "" (vacío).

Longitud de una palabra

Definición: Número de símbolos que contiene una cadena.
Definición Libro: La longitud de una palabra es el número de símbolos que la componen. Representados por "w".
Ejemplos:

- La palabra "hola" tiene longitud de 4.
- La cadena binaria "101010" tiene longitud de 6.

Frecuencia de un símbolo en una cadena

Definición: Número de veces que aparece un símbolo en una palabra.
Ejemplos:

- En la palabra "banana", la letra "a" aparece 2 veces.
- En la cadena "110011", el número "1" aparece 4 veces.

Orden de palabras

Definición: Criterio para comparar cadenas basado en su longitud, y en caso de igualdad, en el orden alfabético.
Ejemplos:

- "Casa" es menor que "Computadora" porque tiene menos letras.
- Entre "sol" y "sal" va primero "sal", porque la letra "a" aparece antes que la "o" en el alfabeto.

Combinaciones de cadenas

Definición: Posibles secuencias de símbolos generadas a partir de un alfabeto.
Ejemplos:

- Con el alfabeto $\{0, 1\}$, las combinaciones de longitud 2 son $\{00, 01, 10, 11\}$.
- Con el alfabeto $\{A, B\}$, las combinaciones de longitud 3 son $\{AAA, AAB, \ldots, BBA, BBB\}$.

º Video 2: Operaciones con Palabras — Lenguajes Formales II

Concatenación

Definición: Operación de unir dos palabras para formar una nueva.
Ejemplos:

- "sol" + "luna" = "solluna".
- "bio" + "logia" = "biología".

Potencia de una palabra

Definición: La potencia enésima de una palabra es la repetición de la misma palabra n veces mediante concatenación. Se define recursivamente, donde cualquier palabra elevada a 0 da como resultado la cadena vacía.
Ejemplos:

- "go" elevado a la 3: "gogogo".
- "abc" elevado a la 4: "abcabcabcabc".

Prefijos, sufijos y segmentos

Definición Libro: Prefijos y sufijos son casos de particulares de subpalabras, cuando estás se encuentran al prinicpio o al final de la palabra.
Definición Libro:

- Un prefijo es una subcadena inicial de una palabra.
- Un sufijo es una subcadena final de una palabra.
- Un segmento es cualquier subcadena dentro de la palabra.

Ejemplos para "casa":

- Prefijos: “”, c, ca, cas, casa.
- Sufijos: “”, a, sa, asa, casa.
- Segmentos: c, ca, cas, a, as, asa, s, sa.

Ejemplos para “perro”:

- Prefijos: “”, p, pe, per, perr, perro.
- Sufijos: “”, o, ro, rro, erro, perro.
- Segmentos: p, pe, per, e, er, err, r, ro, roo, o.

Reverso de una palabra

Definición: Es la misma palabra escrita de derecha a izquierda. Se define recursivamente eliminando el primer símbolo y colocando el último al inicio.
Ejemplos:

- El reverso de “casa” es “asac”.
- El reverso de “amor” es “roma”.

Palabras capicúa

Definición: Es aquella cuya palabra reversa es igual a sí misma.
Ejemplos:

- anilia
- radar

Lenguaje

Definición: Subconjunto de la clausura de Kleene de un alfabeto. Puede ser finito si tiene un número limitado de palabras o infinito si no tiene restricciones en su longitud.
Ejemplos:

- Lenguaje de palabras que empiezan con “a”: $\{a, an, auto, avion, \ldots\}$.
- Lenguaje de palabras con longitud menor a 3: $\{a, yo, sol, no\}$.

º Video 3: Operaciones con Lenguajes y Aplicaciones — Lenguajes Formales III

Operaciones Booleanas en Lenguajes

Definición: Los lenguajes pueden ser manipulados con operaciones de conjuntos como unión, intersección, complemento, diferencia y diferencia simétrica.
Ejemplos:

- Si un lenguaje L_1 contiene palabras que comienzan con "a" y L_2 contiene palabras que terminan en "a", su intersección será el conjunto de palabras que empiezan y terminan en "a" (ej. *ala*, *ancla*).
- La diferencia entre un lenguaje de números $\{1, 2, 3, 4, 5\}$ y otro lenguaje $\{2, 4\}$ sería $\{1, 3, 5\}$.

Producto de Lenguajes

Definición: El producto entre dos lenguajes se obtiene concatenando cada palabra del primer lenguaje con cada palabra del segundo.
Ejemplos:

- Si $L_1 = \{ab, cd\}$ y $L_2 = \{ef, gh\}$, el producto será $\{abe, abgh, cdef, cdgh\}$.
- Si L_1 es el conjunto de nombres $\{Luis, Ana\}$ y L_2 los apellidos $\{Pérez, Gómez\}$, su producto es $\{LuisPérez, LuisGómez, AnaPérez, AnaGómez\}$.

Potencia de un Lenguaje

Definición: Es el resultado de aplicar el producto repetidamente con el mismo lenguaje. Si un lenguaje L es elevado a n, se concatena consigo mismo n veces.
Ejemplos:

- Si $L = \{a, bb\}$ y L^2 se obtiene de multiplicar L consigo mismo, el resultado es $\{aa, abb, bba, bbbb\}$.
- Si $L = \{01, 10\}$, entonces L^3 incluiría $\{010101, 011010, 100101, 101010\}$.

Cierre de un Lenguaje

Definición: Es la unión de todas sus potencias, incluyendo la cadena vacía.
Ejemplos:

- Si $L = \{a, b\}$, su cierre incluiría la cadena vacía, a, b, aa, ab, ba, bb, aaa, etc.
- Si $L = \{cat, dog\}$, su cierre incluiría $\{cat, dog, catcat, dogcat, catdog, dogdog, catcatcat, \ldots\}$.

Cociente de un Lenguaje

Definición: El cociente de un lenguaje es la operación que elimina un prefijo o sufijo específico de las palabras en un lenguaje.
Ejemplos:

- Si $L = \{recortar, revivir, cemaz\}$ y aplicamos el cociente por la izquierda con "re", el resultado será $\{cortar, vivir\}$.
- Si $L = \{unión, universal, uniforme\}$ y aplicamos el cociente por la izquierda con "uni", obtenemos $\{ón, versal, forme\}$.

Homomorfismo de Lenguajes

Definición: Es la transformación de un lenguaje en otro mediante la sustitución sistemática de símbolos.
Ejemplos:

- En un homomorfismo donde $a \to 4$, $e \to 3$, $o \to 0$, la palabra "hola" se transforma en "h0l4".
- En un sistema de codificación de formas, si $A \to \triangle$, $B \to$, entonces "ABBA" se convierte en $\triangle\triangle$.

º Video 4: Descubre los Autómatas: El Corazón de la Computación

Autómata

Definición: Máquina abstracta utilizada para modelar y describir procesos de cálculo mediante estados y transiciones.
Ejemplos:

- Un semáforo que cambia entre los estados rojo, amarillo y verde según una secuencia predefinida.
- Un cajero automático que sigue una serie de pasos al procesar una transacción bancaria.

Grafo

Definición: Representación visual de un autómata donde los nodos corresponden a los estados y los arcos a las transiciones.
Ejemplos:

- Un mapa de metro donde las estaciones son los nodos y las líneas de conexión son los arcos.
- Un diagrama de flujo en programación que muestra el proceso de ejecución de un algoritmo.

Autómata Finito

Definición: Modelo con un número finito de estados que procesa entradas secuencialmente, utilizado para reconocer patrones en texto.
Ejemplos:

- Un corrector ortográfico que detecta errores en palabras mediante reglas predefinidas.
- Un sistema de control de acceso que valida una clave ingresada y permite o deniega la entrada.

Autómata de Pila

Definición: Autómata que usa una pila para almacenar información temporalmente, empleado en análisis sintáctico y validación matemática.
Ejemplos:

- Un compilador que verifica la correcta anidación de paréntesis y llaves en el código fuente.
- Una calculadora que evalúa expresiones matemáticas con jerarquía de operaciones.

Máquina de Turing

Definición: Modelo de computación con una cinta infinita que puede resolver cualquier problema computable.
Ejemplos:

- Un algoritmo de inteligencia artificial que juega ajedrez evaluando todas las posibles jugadas.
- Un sistema de reconocimiento de voz que convierte el habla en texto mediante un conjunto de reglas y procesos.

Aplicaciones de los Autómatas

Definición: Uso de autómatas en diversas áreas del mundo digital como la robótica, análisis de texto y compiladores.
Ejemplos:

- Un chatbot que responde preguntas analizando el texto ingresado por el usuario.
- Un filtro de correo que clasifica los mensajes como spam o legítimos según su contenido.

º Video 5: Qué es un Autómata Finito Determinista (AFD)

Autómata Finito Determinista (AFD)

Definición: Máquina de estados que procesa cadenas y determina si son aceptadas o no.
Ejemplos:

- Un AFD que reconoce las palabras que terminan en la letra "a".
- Un AFD que solo acepta números binarios con al menos un "0".

Estados del AFD (Q)

Definición: Conjunto de situaciones posibles en las que se encuentra el autómata al procesar una cadena.
Ejemplos:

- En un AFD de binarios, los estados pueden representar si la cadena contiene un "0" o no.
- En un AFD que detecta vocales, los estados pueden representar si se ha encontrado una vocal o no.

Alfabeto del AFD ()

Definición: Conjunto de símbolos con los que trabaja el autómata.
Ejemplos:

- Para un autómata que analiza números binarios, el alfabeto es {0,1}.
- Para un autómata que analiza palabras en inglés, el alfabeto es {a, b, c, ..., z}.

Función de transición ()

Definición: Regla que indica a qué estado se moverá el autómata según el símbolo procesado.
Ejemplos:

- Si el autómata está en un estado inicial y recibe un "0", se mueve a un estado que indica que ha visto un cero.
- Si un AFD para palabras en español está en un estado que reconoce vocales y recibe una consonante, cambia a un estado de no vocal.

Estado inicial (q)

Definición: Estado en el que comienza el autómata al recibir una cadena.
Ejemplos:

- En un AFD que reconoce números pares, el estado inicial es "par".
- En un AFD que reconoce cadenas terminadas en "a", el estado inicial es el que no ha procesado ninguna letra.

Estados finales (F)

Definición: Estados en los que, si el autómata termina el procesamiento, la cadena es aceptada.
Ejemplos:

- En un AFD que acepta palabras con al menos una "a", el estado final es aquel en el que ya se ha leído una "a".
- En un AFD que acepta solo números binarios con un número par de ceros, el estado final es aquel en el que la cantidad de ceros leídos es par.

Determinismo en el AFD

Definición: Cada estado tiene como mucho una transición definida por cada símbolo del alfabeto, sin ambigüedad.
Ejemplos:

- Un AFD que procesa "ab" no puede tener dos transiciones diferentes para "b" en el mismo estado.
- Un AFD que acepta solo cadenas con exactamente un "1" no puede tener dos caminos diferentes para un mismo símbolo en un mismo estado.

Autómata Completo

Definición: Un AFD es completo si en cada estado hay una transición para cada símbolo del alfabeto.
Ejemplos:

- Un AFD que reconoce cualquier secuencia de ceros y unos tiene una transición para cada símbolo en cada estado.
- Un AFD que procesa palabras con vocales y consonantes tiene una transición para cada letra del alfabeto en cada estado.

Tabla de Transiciones

Definición: Forma de representar un AFD usando una tabla que muestra cómo los estados cambian según los símbolos recibidos.
Ejemplos:

- Un AFD con estados {q0, q1, q2} y alfabeto {a, b} puede tener una tabla donde q0 con "a" va a q1 y con "b" va a q2.
- Un AFD que procesa cadenas binarias tiene una tabla donde cada estado indica si la cantidad de ceros es par o impar.

Representación Gráfica del AFD (Grafo)

Definición: Uso de nodos y flechas para representar los estados y sus transiciones.
Ejemplos:

- Un AFD que verifica si un número binario tiene un número par de ceros se representa con dos estados conectados por transiciones etiquetadas con 0 y 1.
- Un AFD que acepta cadenas terminadas en "a" puede representarse con un grafo donde hay una transición a un estado final al leer una "a".

Lenguaje Aceptado por un AFD

Definición: Conjunto de cadenas que el autómata reconoce como válidas.
Ejemplos:

- Un AFD diseñado para aceptar números binarios con un número par de ceros acepta cadenas como {00, 1100, 1010}.
- Un AFD diseñado para aceptar palabras en inglés que terminan en vocal acepta cadenas como {apple, banana, orange}.

º Video 6: Qué es un Autómata Finito No Determinista (AFND)

Autómata Finito No Determinista (AFND)

Definición: Un autómata finito no determinista es un modelo matemático compuesto por cinco elementos: Q (conjunto de estados), (alfabeto de entrada), (función de transición), q (estado inicial) y F (conjunto de estados finales). Su principal característica es que puede haber múltiples transiciones.
Ejemplos:

- Un AFND que reconoce cadenas que terminan en "01", pero en ciertos estados puede transitar a más de un estado al recibir el mismo símbolo.
- Un autómata que modela un laberinto donde desde una posición se puede tomar varios caminos dependiendo de las condiciones.

Componentes de un AFND

Definición: Un AFND se compone de los mismos elementos que un AFD:

- Q: Conjunto de estados posibles del autómata.
- : Alfabeto que contiene los símbolos de entrada aceptados.
- : Función de transición que define las reglas de cambio entre estados.
- q: Estado inicial desde donde se comienza la evaluación de una cadena.
- F: Conjunto de estados finales donde la cadena es aceptada.

Ejemplos:

- Un AFND con los estados Q = {q0, q1, q2}, alfabeto = {0,1}, estado inicial q = q0 y estados finales F = {q2}.
- Un autómata que acepta las palabras que inician con "a" y terminan con "b", con transiciones múltiples desde el estado inicial.

No Determinismo

Definición: En un AFND, desde un mismo estado y con el mismo símbolo de entrada, pueden existir múltiples transiciones posibles. Esto lo diferencia de los AFD, donde cada entrada tiene un único destino determinado.
Ejemplos:

- Un autómata que al recibir el símbolo "1" desde el estado q0 puede transitar tanto a q1 como a q2.
- Un sistema de control de accesos donde, al ingresar una credencial, se puede derivar a distintas verificaciones de seguridad.

Función de Transición () en un AFND

Definición: En un AFD, la función de transición toma un estado y un símbolo de entrada y devuelve un único estado. En cambio, en un AFND, la función de transición puede devolver un conjunto de estados posibles, lo que permite múltiples caminos en la ejecución del autómata.
Ejemplos:

- Un AFND donde la función de transición (q0,1) = {q1, q2}, lo que significa que al recibir un ”1” desde q0, el autómata puede ir a q1 o q2.
- Un autómata para validar direcciones de correo electrónico, donde ciertos caracteres pueden llevar a múltiples estados dependiendo del contexto.

Representación de un AFND

Definición: Un AFND se puede representar mediante grafos o tablas de transición, similar a un AFD. Sin embargo, en un AFND, un estado puede tener varias flechas de salida para un mismo símbolo, lo que indica las diferentes opciones posibles.
Ejemplos:

- Un diagrama de autómata donde el estado q0 tiene dos flechas con ”0” apuntando a q1 y q2 simultáneamente.
- Una tabla de transición donde la celda (q0, 1) contiene {q1, q2} en lugar de un solo estado.

Relación entre AFND y AFD

Definición: Todo AFD es un caso particular de un AFND. Es posible convertir cualquier AFND en un AFD equivalente agrupando estados y redefiniendo la función de transición.
Ejemplos:

- Un AFND que se transforma en un AFD al combinar los estados {q1, q2} en un solo estado Q'.
- La conversión de un autómata que reconoce números binarios divisibles por 3 en una versión determinista equivalente.

º Video 7: Convertir un Autómata NO Determinista (AFND) a Determinista (AFD

Autómata Finito No Determinista (AFND)

Definición: Un autómata donde desde un estado, con un símbolo de entrada, pueden existir múltiples transiciones a diferentes estados.
Ejemplos:

- Desde el estado q_1 con el símbolo 0, puede ir al estado q_1 o al estado q_2.
- En q_2, con el símbolo 1, puede transitar a q_3 o quedarse en q_2.

Autómata Finito Determinista (AFD)

Definición: Un autómata en el que para cada estado y símbolo de entrada, hay una única transición a otro estado (o al mismo).
Ejemplos:

- Desde el estado q_1 con el símbolo 0, solo puede ir al estado q_1q_2 (grupo de estados).
- Desde q_2 con el símbolo 0, transita a q_1q_2 y con el símbolo 1 a q_3.

Conjunto de Estados

Definición: Es el conjunto de todos los estados posibles en el autómata. En el AFD, estos estados pueden ser combinaciones de los estados del AFND.
Ejemplos:

- q_1, q_2 y q_3 son los estados en el AFND.
- En el AFD, un estado puede ser q_1q_2, que representa una combinación de los estados q_1 y q_2.

Función de Transición

Definición: Define cómo se mueve el autómata entre estados al procesar los símbolos de entrada.
Ejemplos:

- Desde q_1 con un 0, transita a q_1q_2.
- Desde q_2 con un 1, transita a q_3.

Estado Inicial

Definición: El estado desde el que comienza el autómata.
Ejemplos:

- En el AFND, el estado inicial es q_1.
- En el AFD, el estado inicial se mantiene como q_1.

Estados Finales

Definición: Son los estados en los que el autómata puede terminar para aceptar una cadena.
Ejemplos:

- En el AFND, q_1 y q_3 son estados finales.
- En el AFD, el estado q_1q_2 es final si contiene un estado final del AFND (en este caso, q_1).

Conversión de AFND a AFD

Definición: Proceso mediante el cual los estados y transiciones del AFND se reagrupan en el AFD, asegurando que para cada conjunto de estados, las transiciones sean únicas y deterministas.
Ejemplos:

- El conjunto $\{q_1, q_2\}$ en el AFND se convierte en un solo estado en el AFD.
- El conjunto $\{q_2, q_3\}$ en el AFND también se convierte en un solo estado en el AFD.

Proceso para Convertir un AFND a un AFD

1. **Identificar los componentes del AFND:** Determina los estados, el alfabeto, la función de transición, el estado inicial y los estados finales.
2. **Crear el conjunto de nuevos estados (Q'):** Los nuevos estados del AFD serán subconjuntos de los estados del AFND.
3. **Estado inicial del AFD:** El estado inicial del AFD es el conjunto que contiene el estado inicial del AFND, más los estados alcanzables por transiciones epsilon ().
4. **Definir la función de transición del AFD:** Para cada conjunto de estados en el AFD, determina a qué conjunto de estados lleva cada símbolo del alfabeto.
5. **Identificar los estados finales del AFD:** Los estados finales del AFD son aquellos conjuntos de estados que contienen al menos un estado final del AFND.
6. **Construir el grafo del AFD:** Con los nuevos estados y la función de transición, construye el grafo del AFD.
7. **Simplificación (opcional):** Elimina estados inaccesibles o no finales si es necesario.

º Video 8: Qué es un Autómata con Transiciones Epsilon

Cadena Vacía ()

Definición: Representa la ausencia de símbolos, o la cadena de longitud cero. Se denota como λ o ε, dependiendo de la notación utilizada.
Ejemplos:

- La cadena vacía es una cadena que no contiene ningún símbolo, como "".
- En un lenguaje, una palabra que consiste únicamente en λ no tiene caracteres pero es válida dentro de las operaciones de cadenas, como en la concatenación.

AF (Autómata Finito con Transiciones Vacías)

Definición: Son autómatas finitos en los cuales las transiciones entre estados pueden ocurrir con la cadena vacía (λ), lo que significa que no necesitan procesar ningún símbolo de entrada para cambiar de estado.
Ejemplos:

- Un estado puede cambiar a otro solo usando la cadena vacía sin consumir ningún símbolo de la entrada.
- Un autómata puede tener múltiples transiciones vacías desde un estado, lo que le permite saltar entre varios estados sin procesar ningún símbolo.

Función de Transición en AF

Definición: En estos autómatas, la función de transición no solo incluye transiciones basadas en símbolos del alfabeto, sino también sobre la cadena vacía (λ), permitiendo el movimiento entre estados sin procesar símbolos.
Ejemplos:

- Desde un estado A, con una transición λ, se puede ir al estado B sin que se haya procesado ningún símbolo.
- Un estado puede tener transiciones simultáneas con la cadena vacía, lo que implica que desde un solo estado inicial, se puede llegar a varios estados finales sin consumir símbolos de la cadena.

Conmutación de Estados en AF

Definición: Los autómatas con transiciones vacías permiten que un estado se cambie sin procesar ningún símbolo de entrada, lo que agrega flexibilidad en cómo se recorren los estados.
Ejemplos:

- En un autómata, desde un estado inicial, puede haber múltiples transiciones λ hacia varios estados finales, lo que permite al autómata "saltar" entre estos estados sin procesar nada de la cadena.
- Si hay transiciones λ entre dos estados (por ejemplo, de q_2 a q_3), el autómata puede alternar entre estos estados de manera indefinida sin consumir símbolos.

Transformación de AF a AFD

Definición: Es posible convertir un autómata con transiciones vacías en un autómata finito determinista (AFD) siguiendo reglas específicas que consideren las transiciones vacías.
Ejemplos:

- Un AFλ se puede transformar en un AFD agrupando los estados de manera que las transiciones λ sean absorbidas en nuevas transiciones.
- En la conversión, los estados que pueden alcanzarse mediante transiciones vacías se combinan en un solo estado en el AFD resultante.

º Video 9: Convertir un AFND con Transiciones a un AFND

Lambda Clausura (-clausura)

Definición: La lambda clausura de un estado se refiere al conjunto de estados accesibles desde un estado dado sin procesar ningún símbolo (utilizando solo transiciones λ). Esto incluye el estado mismo y los estados alcanzables mediante transiciones λ.
Ejemplos:

- Lambda clausura de q_0 en el autómata: $\{q_0, q_1, q_2\}$.
- Lambda clausura de q_3: $\{q_3, q_0, q_1, q_2\}$.

Construcción de la tabla de transiciones

Definición: Una vez calculada la λ-clausura de cada estado, se construye una tabla con las posibles transiciones del autómata para cada símbolo del alfabeto, considerando las λ-transiciones. En la tabla se indica a qué estados se puede llegar al procesar un símbolo desde un estado dado, aprovechando las transiciones λ.
Ejemplos:

- Desde q_0 con el símbolo 0, los posibles estados son q_1 y q_2.
- Desde q_3 con el símbolo 1, los posibles estados son q_0, q_1, q_2, q_3.

Conversión a grafo

Definición: Después de obtener la tabla de transiciones, se representa el autómata en forma de grafo, con los estados como nodos y las transiciones como aristas etiquetadas con los símbolos correspondientes.
Ejemplos:

- Transición de q_0 a q_1 con símbolo 0.
- Transición de q_2 a q_2 con símbolo 1 (bucle).

Estado inicial y estados finales

Definición: El estado inicial del AFND convertido es el mismo que el del AFND original. Los estados finales se determinan observando las λ-clausuras: si el estado inicial tiene una λ-clausura que incluye algún estado final del autómata original, ese estado también será considerado final en el AFND resultante.
Ejemplos:

- El estado inicial es q_0, que no es final, pero su λ-clausura incluye el estado q_3, que es final.
- Si el estado final original era q_2, su λ-clausura también lo mantendrá como final.

º Video 10: Pattern Matching con Autómatas: Mejora tus Algoritmos

Pattern Matching (Coincidencia de patrones)

Definición: Se refiere a la técnica de encontrar patrones específicos dentro de una estructura de datos más grande, como cadenas de texto, secuencias genéticas, o bases de datos.
Ejemplos:

- Buscar una palabra en tu bandeja de entrada de Gmail y encontrar todos los correos que la contienen.
- Usar expresiones regulares para encontrar direcciones de correo electrónico dentro de un texto.

Autómatas

Definición: Son modelos computacionales que permiten procesar secuencias de símbolos y detectar patrones en esas secuencias, como las cadenas de texto o secuencias genéticas.
Ejemplos:

- Un autómata que detecta palabras en un texto binario.
- Un autómata finito no determinista que procesa un texto mientras sigue múltiples posibles rutas de búsqueda simultáneamente.

Árbol Aceptor de Prefijos

Definición: Es un tipo de autómata que permite aceptar secuencias de caracteres que corresponden a los prefijos de un conjunto de palabras. Es útil para realizar búsquedas en texto.
Ejemplos:

- Crear un árbol para detectar las palabras ”100”, ”101” y ”110” en un texto binario.
- Un árbol aceptor que detecta patrones como ”dog”, ”dogs” y ”dodge” en un texto en inglés.

Autómata Finito No Determinista (AFND)

Definición: Este tipo de autómata permite procesar múltiples secuencias de símbolos en paralelo, lo que hace más eficiente la detección de patrones.
Ejemplos:

- Usar un AFND para detectar ”abc” y ”bcd” en una cadena más larga.
- Un AFND que detecta cualquier palabra que termine en ”ing” en un conjunto de textos.

Autómata Diccionario

Definición: Es un tipo de autómata que se construye a partir de un conjunto de palabras y permite realizar búsquedas más eficientes de patrones dentro de un texto.
Ejemplos:

- Construir un autómata diccionario para buscar todas las palabras de un vocabulario específico dentro de un texto.
- Utilizar un autómata diccionario para localizar rápidamente todas las direcciones de correo electrónico en una base de datos de texto.

Naive Algorithm (Algoritmo Ingenuo)

Definición: Es un enfoque básico para la búsqueda de patrones, donde se compara cada posible ubicación en el texto con el patrón, lo que puede resultar en una gran cantidad de comparaciones.
Ejemplos:

- Buscar la palabra "cat" en una cadena larga de texto comparando cada subsecuencia con "cat".
- Comparar cada posición de un archivo de texto con el patrón "data" para encontrar coincidencias.

º Video 11: Clases de Equivalencia en Autómatas y Lenguajes Formales

Lenguaje por la derecha

Definición: Es el conjunto de palabras que, al ser procesadas desde un estado en un autómata, nos llevan a un estado final.
Ejemplos:

- En un autómata que acepta cadenas con un número par de ceros, el lenguaje por la derecha del estado s_1 incluirá todas las palabras con un número par de ceros.
- En el mismo autómata, el lenguaje por la derecha del estado s_2 incluirá todas las palabras con un número impar de ceros.

Relación de Equivalencia

Definición: Es una relación sobre un conjunto que cumple tres propiedades: reflexiva, simétrica y transitiva.
Ejemplos:

- En autómatas, si el estado x tiene el mismo comportamiento que el estado y, es decir, $x \sim y$, entonces $y \sim x$.
- Si el estado x tiene el mismo comportamiento que y y y tiene el mismo comportamiento que z, entonces $x \sim z$.

Clases de Equivalencia

Definición: Son conjuntos de elementos que están relacionados entre sí bajo una relación de equivalencia.
Ejemplos:

- En un autómata, los estados s_1 y s_2 que tienen el mismo lenguaje por la derecha pueden pertenecer a la misma clase de equivalencia.

- Si un autómata tiene dos estados con comportamientos diferentes, entonces estos dos estados estarán en clases de equivalencia separadas.

Lenguajes Regulares

Definición: Son lenguajes que pueden ser procesados por autómatas finitos, los cuales tienen un número finito de clases de equivalencia.
Ejemplos:

- Un lenguaje que acepta cadenas con un número par de ceros es regular, ya que tiene un número finito de clases de equivalencia.
- Un lenguaje que acepta cadenas de longitud arbitraria no será regular si tiene un número infinito de clases de equivalencia.

º Video 12: Demostrar que un Lenguaje es Regular - Teorema de Myhill-Nerode:

Lenguaje Regular

Definición: Un lenguaje es regular si puede ser representado por un autómata finito o una expresión regular.
Ejemplos:

- El lenguaje $\{ab, aab, aabb\}$ es regular.
- El lenguaje $\{a^i b^j \mid i, j > 0\}$ es regular.

Cociente de un lenguaje

Definición: El cociente de un lenguaje con un símbolo (como 'a' o 'b') es el lenguaje resultante al eliminar ese símbolo de las palabras del lenguaje original.
Ejemplos:

- Si aplicamos el cociente de 'a' sobre L, el lenguaje resultante es $L \cup B$ (conjunto de al menos una B).
- Al aplicar el cociente de 'B' sobre L, el resultado es el conjunto vacío.

Proceso de cociente sucesivo

Definición: Aplicar el cociente sucesivamente hasta que no surjan nuevos lenguajes es una técnica para verificar si un lenguaje es regular.
Ejemplos:

- Aplicar el cociente de 'a' sobre L da un nuevo lenguaje L' y el cociente de 'b' sobre L' da el conjunto vacío.
- Al aplicar cocientes sobre otros lenguajes obtenidos, eventualmente se obtiene un conjunto finito de lenguajes.

Número Finito de Clases de Equivalencia

Definición: Un lenguaje es regular si tiene un número finito de clases de equivalencia.
Ejemplos:

- Si después de aplicar el cociente varias veces no surgen nuevos lenguajes, se concluye que el lenguaje es regular.
- El lenguaje $\{ab, aab, aabb\}$ tiene un número limitado de clases de equivalencia, lo que lo hace regular.

Teorema de Myhill-Nerode

Definición: El lenguaje es regular si y solo si el número de clases de equivalencia es finito.
Ejemplos:

- El lenguaje $L = \{a^i b^j \mid i, j > 0\}$ tiene un número finito de clases de equivalencia.
- Un lenguaje que tiene una cantidad infinita de clases de equivalencia no es regular.

º Video 13 : Demostrar que un Lenguaje NO es Regular - Teorema de Myhill-Nerode

Lenguaje Regular

Definición: Un lenguaje es regular si puede ser representado por un autómata finito o por una expresión regular.
Ejemplos:

- El lenguaje $\{a^n b^n \mid n \geq 1\}$ no es regular.
- El lenguaje $\{a, ab, aabb, aaabbb\}$ es regular.

Teorema de Myhill-Nerode

Definición: Este teorema ayuda a determinar si un lenguaje es regular o no al analizar el número de clases de equivalencia que tiene el lenguaje.
Ejemplos:

- Un lenguaje con un número infinito de clases de equivalencia no es regular.
- Si un lenguaje tiene solo un número finito de clases de equivalencia, es regular.

Secuencia Infinita en la Clausura

Definición: Se debe buscar una secuencia infinita en la clausura de un conjunto para demostrar que el lenguaje tiene infinitas clases de equivalencia.
Ejemplos:

- Para un lenguaje con la condición de que los ceros y unos deben estar en el mismo número, como $0^n 1^n$, la secuencia será infinita.
- Para un lenguaje de palabras que contienen ceros seguidos de unos, el número de ceros y unos debe coincidir en cantidad, lo que genera secuencias infinitas.

Cocientes de un Lenguaje

Definición: El cociente de un lenguaje con respecto a una palabra es el conjunto de palabras que se pueden formar agregando esa palabra al principio de las cadenas del lenguaje.
Ejemplos:

- El cociente de $\{a^n b^n \mid n \geq 1\}$ con respecto a "a" sería $\{a^n b^n \mid n \geq 1\}$.
- El cociente de $\{ab, aabb, aaabbb\}$ con respecto a "ab" sería el conjunto vacío.

Cociente de un Lenguaje con una Palabra Específica

Definición: Cuando aplicamos el cociente de un lenguaje a una palabra específica, podemos generar un conjunto de palabras que representan una clase de equivalencia.
Ejemplos:

- Si aplicamos el cociente de la palabra "a" sobre el lenguaje $L = \{a^n b^n \mid n \geq 1\}$, obtenemos el conjunto $\{b^n \mid n \geq 1\}$.
- Si aplicamos el cociente de la palabra "ab" sobre el lenguaje $L = \{a, ab, aabb\}$, obtenemos el conjunto $\{aabb\}$.

Índice Infinito de un Lenguaje

Definición: Un lenguaje tiene un índice infinito si tiene un número infinito de clases de equivalencia.
Ejemplos:

- El lenguaje $\{0^n 1^n \mid n \geq 0\}$ tiene un índice infinito.
- El lenguaje $\{a^n b^n \mid n \geq 0\}$ también tiene un índice infinito.

Conclusión: Lenguaje No Regular

Definición: Un lenguaje con un índice infinito no es regular, ya que necesitaría un número infinito de estados en un autómata finito para ser procesado.
Ejemplos:

- El lenguaje de palabras con la misma cantidad de ceros y unos no puede ser procesado por un autómata finito.
- El lenguaje $\{a^n b^n \mid n \geq 1\}$ no puede ser representado por una expresión regular ni un autómata finito.

º Video 14: Minimización de Estados de un Autómata Explicada Desde Cero:

Reducción de Estados

Definición: Es el proceso de simplificar un autómata eliminando los estados redundantes que tienen el mismo comportamiento.
Ejemplos:

- Eliminar los estados $q7$ y $q8$ porque son inaccesibles en el autómata.
- Agrupar dos estados equivalentes como $q1$ y $q3$ porque siguen las mismas transiciones.

Autómata Accesible

Definición: Un autómata es accesible si se puede llegar a cualquier estado desde el estado inicial.
Ejemplos:

- Si en un autómata, el estado $q7$ no tiene transiciones hacia él desde otros estados, no es accesible.
- Eliminar estados como $q7$ y $q8$ que no tienen transiciones entrantes, dejándolos inaccesibles.

Autómata Completo

Definición: Un autómata es completo si para cada estado existe una transición definida para cada símbolo del alfabeto.
Ejemplos:

- Un autómata con los símbolos "a" y "b" debe tener transiciones definidas para ambos símbolos en cada estado.
- Si el estado $q2$ no tiene transición definida para "b", hay que agregarla hacia un estado sumidero.

Estado Sumidero

Definición: Un estado sin salida hacia otros estados, usado para procesar entradas no reconocidas.
Ejemplos:

- En el autómata corregido, $q2$ tiene un estado sumidero que captura las transiciones no definidas para "b".
- Un autómata que no sabe cómo procesar una secuencia específica lleva a un estado sumidero que se queda atrapado allí.

Algoritmo de Reducción de Estados

Definición: Es un algoritmo de particionamiento que agrupa los estados que tienen el mismo comportamiento.
Ejemplos:

- En la primera iteración, los estados finales ($q2$, $q4$, $q6$) y no finales ($q0$, $q1$, $q3$, $q5$) se agrupan en clases separadas.
- Al dividir clases de estados con el mismo comportamiento, se agrupan $q1$ y $q3$ en la misma clase si sus transiciones son equivalentes.

Partición de Estados

Definición: Es el proceso de dividir los estados en grupos o clases según su comportamiento.
Ejemplos:

- En una iteración, se separan los estados finales y no finales en dos clases.
- En una segunda iteración, se separan los estados que tienen el mismo comportamiento tras procesar los símbolos del alfabeto.

Refinamiento de Particiones

Definición: Es el proceso de dividir aún más las particiones si los estados dentro de una clase no se comportan igual.
Ejemplos:

- Si dos estados en la misma clase tienen diferentes transiciones, se separan en nuevas clases.
- Al comparar estados, si $q1$ y $q3$ tienen transiciones diferentes después de procesar "a" y "b", se separan en nuevas clases.

Clases Equivalentes

Definición: Son grupos de estados que se comportan de la misma forma en un autómata.
Ejemplos:

- Los estados $q2$ y $q4$ pueden ser parte de la misma clase porque tienen el mismo comportamiento en todas las transiciones.
- Los estados $q0$ y $q5$ tienen el mismo comportamiento en términos de sus transiciones, por lo que forman una clase equivalente.

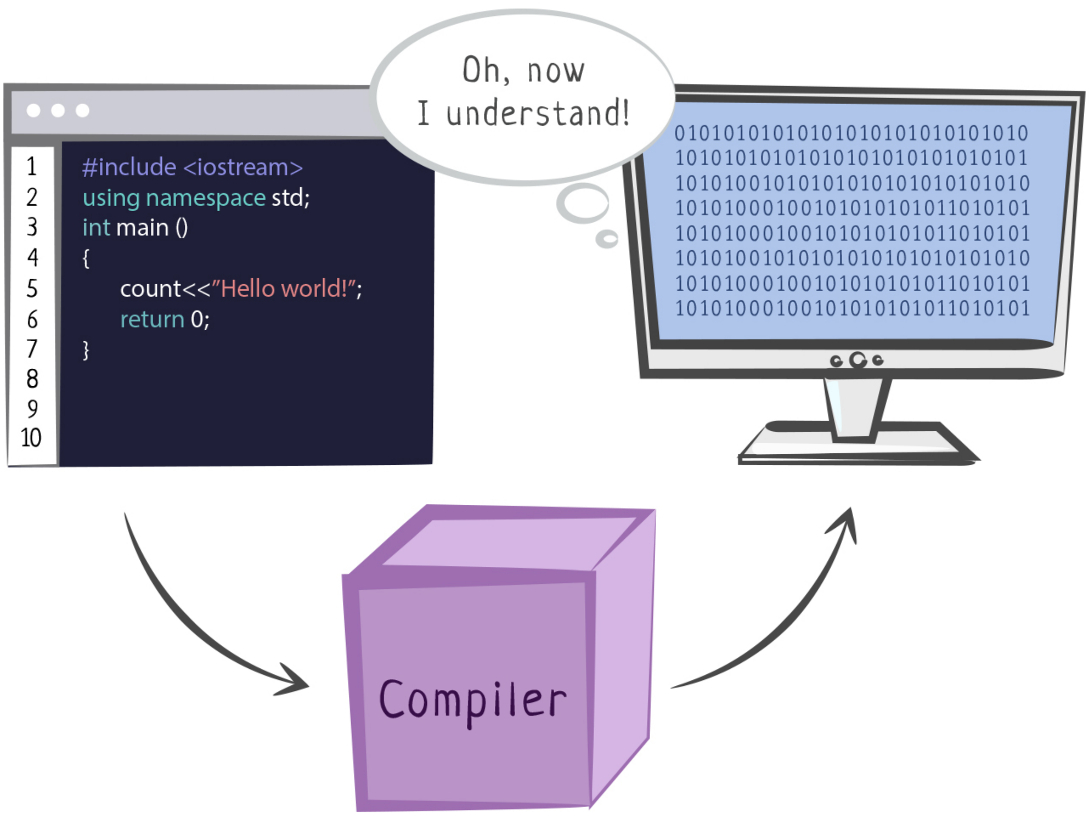
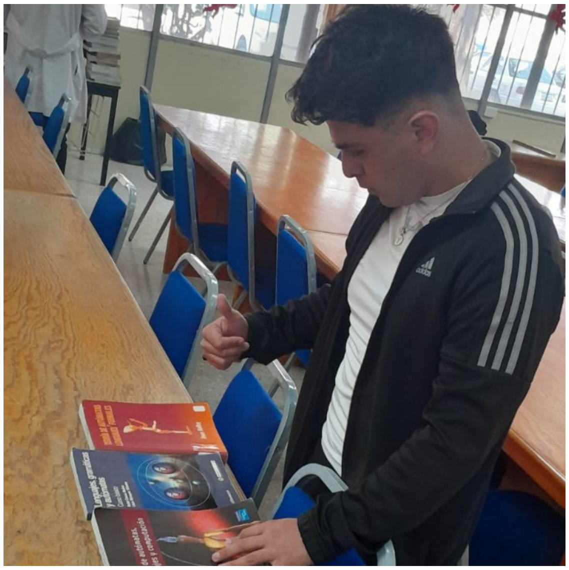
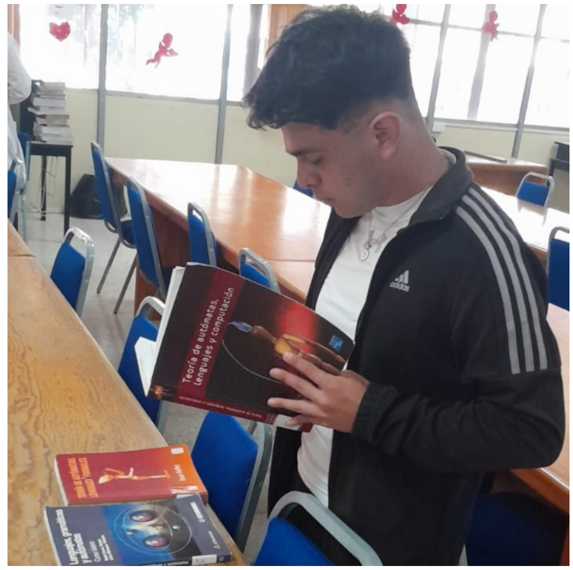


Figure 3: Ejemplo de un autómata y un compilador.

5. Evidencia de biblioteca



(a) Libros



(b) Libro 1

(c) Libro 2

(d) Libro 3

Figure 4: Imágenes relacionadas con la biblioteca central.

6. Preguntas a exámen

Cuestionario de 5 preguntas

1. ¿Qué es un lenguaje formal y cómo se clasifican según la Jerarquía de Chomsky?

- Un lenguaje formal es un conjunto de cadenas sobre un alfabeto con reglas bien definidas.

2. Explica la relación entre los autómatas finitos y los lenguajes regulares:

- Los autómatas finitos reconocen lenguajes regulares, que pueden describirse con expresiones regulares.

3. ¿Cómo se representan los lenguajes regulares mediante expresiones regulares?

- Mediante combinaciones de símbolos y operadores como concatenación (ab), unión (a—b) y *ierre de Kleene (a).

4.¿Cómo se usan los lenguajes formales en el análisis léxico y sintáctico de un compilador?

- Análisis léxico: Usa expresiones regulares para dividir el código en tokens.
- Análisis sintáctico: Usa gramáticas libres de contexto para validar la estructura del código.

5. ¿Cuál es la diferencia entre un autómata finito determinista (AFD) y un autómata finito no determinista (AFND)?

- Un autómata finito determinista (AFD) es un modelo que, dado un estado y un símbolo de entrada, siempre tiene una única opción para moverse al siguiente estado. En cambio, un autómata finito no determinista (AFND) puede tener varias opciones para un mismo símbolo o incluso transiciones sin necesidad de leer un símbolo (transiciones). A pesar de esta diferencia, ambos tipos de autómatas pueden reconocer los mismos lenguajes regulares.

7. Conclusión

Es importante conocer y adentrarse a una biblioteca porque ofrece un vasto y diverso conjunto de recursos académicos y herramientas de aprendizaje que pueden enriquecer significativamente la experiencia educativa. Dentro de una biblioteca, los estudiantes tienen acceso a una amplia variedad de libros, revistas académicas, bases de datos especializadas y recursos en línea que complementan los contenidos enseñados en clase y les permiten profundizar en sus áreas de interés. Además, la biblioteca ofrece un ambiente propicio para la concentración, el estudio en grupo y la investigación, con espacios de lectura tranquila, salas de estudio equipadas y acceso a expertos bibliotecarios que pueden brindar orientación y asistencia en la búsqueda de información. En resumen, la biblioteca es un recurso invaluable que promueve el aprendizaje autodirigido, la investigación académica y el desarrollo intelectual de los estudiantes.

8. Referencias Bibliográficas

References

[1] Codemath. (2023, 28 noviembre). *Lenguajes Formales desde CERO — Palabra, Alfabeto y Clausura de Kleene [Vídeo]*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=$_U dVL - 84rXc$

[2] Codemath. (2023, 4 diciembre). *Operaciones con Palabras — Lenguajes Formales II [Vídeo]*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=MXDl4Ts$_E Z0$

[3] Codemath. (2023b, diciembre 15). *Operaciones con Lenguajes y Aplicaciones — Lenguajes Formales III [Vídeo]*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=uU-fNuwbmZg

[4] Codemath. (2024, 29 enero). *Descubre los autómatas: el corazón de la computación [Vídeo]*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=pMIwci0kMv0

[5] Codemath. (2024b, febrero 4). *Qué es un Autómata Finito Determinista (AFD) [Vídeo]*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=d9aEE-uLmNE

[6] Codemath. (2024c, abril 23). *Qué es un Autómata Finito No Determinista (AFND) [Vídeo]*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=dIgKBNuaglE

[7] Codemath. (2024d, abril 29). *Convertir un Autómata NO Determinista (AFND) a Determinista (AFD) [Vídeo]*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=hzJ8CNdPElc

[8] Codemath. (2024e, mayo 5). *Qué es un Autómata con Transiciones Epsilon [Vídeo]*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=71P3daDZWlQ

[9] Codemath. (2024f, mayo 11). *Convertir un AFND con Transiciones a un AFND [Vídeo]*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=1yKBT8gWN-Y

[10] Codemath. (2024g, mayo 27). *Pattern Matching con Autómatas: Mejora tus Algoritmos [Vídeo]*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=22XqyZLhKPg

[11] Codemath. (2024h, junio 22). *Clases de Equivalencia en Autómatas y Lenguajes Formales [Vídeo]*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=JuTuMe8Q58c

[12] Codemath. (2024i, julio 1). *Demostrar que un Lenguaje es Regular - Teorema de Myhill-Nerode [Vídeo]*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=gYOvlrjRBwg

[13] Codemath. (2024j, julio 8). *Demostrar que un Lenguaje NO es Regular - Teorema de Myhill-Nerode [Vídeo]*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=FPWpCq20g0o

[14] Codemath. (2025, 13 febrero). *Minimización de estados de un autómata explicada desde cero [Vídeo]*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=gd6uyNXsqcw