



Bases de Datos 2

Obligatorio
28 de junio de 2025

Estudiantes (Grupo 5):
Sibila Araújo (5.088.424-4)
Lucía Bonilla (5.537.033-1)
Claudio Cabrera (5.629.514-8)

Profesores:
Ángel Mamberto
Rafael Trujillo

CONTENIDO

Introducción.....	4
Sistema Electoral Uruguayo en una Elección Nacional.....	5
Características del Voto.....	5
Características de los Electores.....	5
Características de una Hoja de Votación.....	5
Función.....	5
Cargos Políticos a Votar.....	6
Datos Necesarios.....	6
Comisiones Receptoras de Votos.....	7
Mecánica del Voto.....	7
Uso de Tableta Electrónica.....	10
Operativo de Seguridad.....	10
Estadísticas Relevantes.....	11
Glosario.....	11
Requerimientos del Producto Viable Mínimo.....	14
Requerimientos a Nivel Usuario.....	14
Del Administrador de Base de Datos.....	14
Del Elector.....	14
Del Presidente de Comisión Receptora de Votos.....	14
Del Público General.....	15
Restricciones.....	15
Generales.....	15
Del Elector.....	15
Del Presidente de Comisión Receptora de Votos.....	16
Ignoradas.....	16
Modelo Entidad-Relación.....	17
Marco Teórico.....	17
Definición.....	17
Componentes.....	17
Alternativas Propuestas.....	19
Alternativa Elegida.....	19
Diagrama Entidad-Relación.....	19
Bitácora de Construcción.....	20
Modelo Lógico.....	27
Marco Teórico.....	27
Definición.....	27
Componentes.....	27
Dependencias Funcionales.....	28
Normalización.....	28
Del Modelo Entidad-Relación a las Tablas Relacionales.....	29
Pasaje del Modelo Entidad-Relación Diseñado a Modelo Relacional.....	29

Arquitectura del Sistema Informático.....	33
Descripción General.....	33
Componentes.....	34
Sistema Gestor de Base de Datos y Base de Datos.....	34
Backend.....	34
Frontend.....	35
Patrones y Estilos de Arquitectura de Software.....	35
Estilo Multicapa.....	36
Estilo Cliente-Servidor.....	36
Estilo REST (Representational State Transfer).....	36
Patrón MVC (Modelo-Vista-Controlador).....	36
Estrategia para el Voto Secreto.....	37
Solución.....	37
Problema Encontrado.....	38
Justificación de la Solución.....	38
Solución para la Autenticación de Usuarios.....	39
Tecnología a Utilizar.....	39
Almacenamiento de Datos para la Autenticación.....	39
Despliegue.....	40
Tecnología a Utilizar.....	40
Estructura de Contenedores.....	40
Conclusiones.....	41
Referencias.....	43

Introducción

Las elecciones en Uruguay son procesos institucionales organizados por la Corte Electoral, en los que las personas habilitadas votan democráticamente para designar autoridades públicas o tomar otras decisiones de interés nacional, como la aprobación o modificación de leyes. En estas instancias, el sistema electoral se basa en la antigua técnica de colocar una hoja de votación dentro de una urna, por lo tanto, el proceso de registro de constancias de voto, y escrutinio resulta complicado y extenso.

En el marco de este proyecto, se propuso desarrollar un sistema para votar de forma electrónica, específicamente para elecciones presidenciales. En consecuencia, se diseñó un producto viable mínimo con una base de datos, y una aplicación sencilla que sirve como interfaz y que posee funcionalidades básicas como: votar, registrar votantes, informar sobre estadísticas de votos, entre otras tareas asociadas al proceso electoral.

Este documento menciona los requerimientos del sistema propuesto, considerando el sistema electoral vigente en Uruguay. Asimismo, se justifica el modelo de datos utilizado, tanto a nivel modelo entidad-relación como relacional, junto con la arquitectura de software a adoptar, especificando los patrones de diseño a aplicar y las tecnologías que serán utilizadas en los componentes del sistema.

Sistema Electoral Uruguayo en una Elección Nacional

Dado el alcance del proyecto, en esta sección sólo se detalla el proceso electoral de la elección nacional del año 2024 en Uruguay, en la cual se realizó la elección presidencial junto a otras de forma simultánea. El proceso se describe a partir de leyes, reglamentos y estadísticas brindadas por la Dirección Nacional de Impresiones y Publicaciones Oficiales del Uruguay (IMPO) y la Corte Electoral de la República Oriental del Uruguay.

Características del Voto

Según la Constitución de la República (*Artículo 77*, 1996), el voto en una elección nacional posee las siguientes características:

- Secreto. Implica que nadie está obligado a revelar a quién votó, además, el sistema electoral está diseñado para proteger la privacidad de elección de cada votante.
- Obligatorio. Es obligatorio para todas las personas que estén habilitadas a votar, es decir, que tienen el deber legal de participar en la elección.

Características de los Electores

Según el Reglamento de Elecciones Nacionales (*Circular N° 11906, Artículo 1*, 2024), en una elección nacional están habilitadas a votar o son electoras todas aquellas personas que cumplan con los siguientes requisitos:

- Ser ciudadano uruguayo natural o legal, pero para el caso de electores no ciudadanos, se aplica el Artículo 78 de la Constitución de la República de 1996.
- Ser mayor de 18 años.
- Estar inscripto en el Registro Cívico Nacional, es decir, debió haber tramitado la credencial cívica. Según el Sitio oficial de la República Oriental del Uruguay (2024), para tramitar la credencial es requisito presentar cédula de identidad, incluso si no es ciudadano.

Características de una Hoja de Votación

Función

La hoja de votación es el único medio que emplea el elector para votar, en forma simultánea, a los candidatos que desea que ocupen distintos cargos políticos. Al incluir

todas las listas de candidatos correspondientes a un mismo partido político en una sola hoja, se evita la emisión de votos separados. Esto simplifica el procedimiento electoral, asegura la coherencia partidaria del voto y facilita el escrutinio.

Cargos Políticos a Votar

Según el Reglamento de Elecciones Nacionales (*Circular N° 11906, Artículo 8, 2024*), una hoja de votación de la elección nacional debe contener cuatro listas de candidatos: para el Presidente y Vicepresidente del país (denominada fórmula presidencial), para la Cámara de Senadores, para la Cámara de Representantes y para la Junta Electoral del departamento en qué se registró la hoja. Debido al alcance del proyecto, únicamente se centrará en la hoja de votación con la fórmula presidencial y se ignorarán el resto de listas de candidatos.

Datos Necessarios

A continuación, se muestran hojas de votación de ejemplo reales tomadas del Visualizador de Hojas de Elecciones Nacionales 2024 de la Corte Electoral (<https://buscador-hojas.corteelectoral.gub.uy/buscadorhojasnacionales2024.aspx>):

Figura 1.a. y 1.b.

Hoja de votación 909 del Partido Independiente del departamento de Río Negro (izquierda) y Hoja de votación 609 del Frente Amplio del departamento de Canelones (derecha)



Según las hojas de votación vistas en el Visualizador de Hojas de Elecciones Nacionales 2024 y el Reglamento de Elecciones Nacionales (*Circular N° 11906, 2024*), una hoja de votación de la elección nacional debe presentar los siguientes datos:

- Nombre o, también llamado, lema del partido político (*Artículo 15*).
- Número de hoja (no puede contener letras) (*Artículo 15, Artículo 17*).
- Departamento para dónde se inscribió la hoja (*Artículo 15*).
- Fecha de la elección (*Artículo 15*).
- Fórmula presidencial (*Artículo 8*).
- Otros datos que no son necesarios, dado que sólo es relevante la elección presidencial.

Por otro lado, un punto importante que aclara la Constitución de la República (*Artículo 151, 1996*) es que un partido político, en cada elección nacional en la que participe, debe presentar la misma fórmula presidencial en todas sus hojas de votación.

Comisiones Receptoras de Votos

Según el Instructivo para los Integrantes de las Comisiones Receptoras de Votos para la Elección Nacional (abreviado como *Instructivo CRV*, p. 2, 2024), las Comisiones Receptoras de Votos son órganos electorales de carácter transitorio, cuyos integrantes son designados para cumplir una serie de funciones específicas, vinculadas al acto eleccionario. Están integradas por tres miembros titulares (Presidente, Secretario y Vocal) y tres suplentes que deberán sustituir a cualquiera de los miembros titulares inasistentes.

El Instructivo CRV (p. 2, 2024) menciona que la Comisión sólo puede supervisar un circuito electoral dentro del mismo departamento que los circuitos asignados para votar de sus miembros, los cuales son asignados por credencial cívica. Además, cada comisión sólo puede supervisar en una elección un único circuito en el departamento que le toqué.

Mecánica del Voto

Según el Instructivo CRV (p. 8-10, 2024), la mecánica normal del voto sigue estos pasos:

1. Ingreso al local de votación.

- El elector se presenta en su circuito correspondiente, allí debe presentar su credencial cívica, pero si no la tiene, puede declarar serie y número, junto con su nombre y apellido.
- Debe figurar en al menos uno de los dos recaudos: Padrón (habilitación) o Legajo (identidad).
- La Comisión verifica que no haya votado previamente (si el elector pertenece al Padrón).

2. Registro del votante.

- Se anota al elector en la Lista Ordinal de Votantes (Figuras 2.) con: nombre completo, número y serie de credencial, número de tirilla del sobre (Figura 3.) y observaciones (si las hubiera). Al anotar al elector en la Lista Ordinal de Votantes, este adquiere un número ordinal de votante que está ordenado por orden de llegada al circuito.
- Se ingresan los datos del votante en una tableta electrónica.

Figuras 2.a., 2.b. y 2.c.

Lista Ordinal de Votantes con datos de ejemplo

LISTA ORDINAL DE VOTANTES				
Nº	NOMBRE Y APELLIDO DEL VOTANTE	CREDENCIAL	Nº DE SOBRE	OBSERVACIONES
1	NOMBRE Y APELLIDO	XXX 0000	402	
2				
3				

LISTA ORDINAL DE VOTANTES				
Nº	NOMBRE Y APELLIDO DEL VOTANTE	CREDENCIAL	Nº DE SOBRE	OBSERVACIONES
1	NOMBRE Y APELLIDO	XXX 0000	402	
2				
3				

LISTA ORDINAL DE VOTANTES				
Nº	NOMBRE Y APELLIDO DEL VOTANTE	CREDENCIAL	Nº DE SOBRE	OBSERVACIONES
1	NOMBRE Y APELLIDO	XXX 0000	204	OBSERVADO POR IDENTIDAD
2				
3				

Nota. Los renglones se pueden tachar por distintos motivos, por lo tanto, puede que el número ordinal de votante de un elector no coincida con su verdadero orden de llegada al circuito, pero cumple que es mayor al del votante anterior del circuito. Tomado de *Elecciones Departamentales y Municipales 2025 -Curso para integrantes de CRV:*

Recepción de sufragios [Video], 2025, Corte Electoral de la República Oriental del Uruguay (<https://www.youtube.com/watch?v=Ke6A5f36vA4>).

Figura 3.

Sobre de votación con tirilla



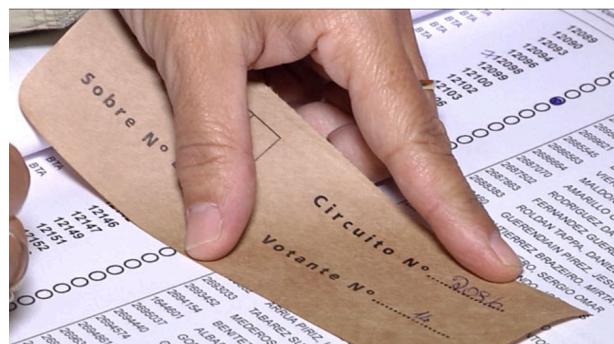
Nota. Debajo del sobre hay una tirilla que contiene el número y serie del circuito, el número de sobre y el número ordinal del votante. Adaptado de *Mujer sostiene un sobre de votación* [Fotografía], por Leonardo Mainé, 2024, El País (<https://www.elpais.com.uy/informacion/politica/cuando-se-van-a-conocer-los-resultados-de-las-elecciones-internas-2024-esto-preve-la-corte-electoral>).

3. Emisión del voto.

- El elector toma el sobre, muestra la tirilla y pasa al cuarto secreto.
- Tiene máximo 2 minutos para votar. Si excede el tiempo, se le solicita salir.
- Al salir, debe cortar la tirilla delante de la Comisión.
- La Comisión verifica que el número de sobre y el número ordinal del votante en la tirilla (Figura 4.) coincida con el que se le registró en la Lista Ordinal de Votantes.

Figura 4.

Tirilla de un sobre de votación



Nota. Adaptado de *Tirilla de un sobre de votación* [Fotografía], 2019, La Mañana .uy. (<https://www.xn--lamaana-7za.uy/opinion/ley-que-garantiza-voto-de-personas-con-discapacidad-motriz-se-aplicara-en-elecciones-nacionales-del-27-de-octubre/>).

- Si hay error con la tirilla (corte previo o números inconsistentes con los registrados en la Lista Ordinal de Votantes), el votante debe repetir el procedimiento. El sobre anterior se inutiliza, se deja constancia del incidente y se tacha el renglón usado de la Lista Ordinal de Votantes.

4. Finalización.

- Se devuelve la documentación al votante.
- Se le entrega su constancia de voto.
- El votante se retira del local.

Uso de Tableta Electrónica

Observe que se menciona el uso de una tableta electrónica, el Instructivo CRV (p. 4, 2024) menciona que contiene una aplicación donde el Presidente de la Comisión deberá:

- Registrar los datos de las constancias de voto del circuito durante la elección.
- Ingresar y clasificar los votos contenidos en los sobres durante el escrutinio (válido, en blanco, anulado, etcétera).

Operativo de Seguridad

Durante la elección nacional, el Ministerio del Interior, a través de la Policía Nacional y en coordinación con la Corte Electoral, despliega un operativo especial de seguridad para

garantizar el orden público, prevenir delitos en los establecimientos de votación, asegurar el traslado seguro de urnas y materiales electorales, entre otras tareas (Ministerio del Interior de la República Oriental del Uruguay, 2024).

Según el Instructivo CRV (p. 2, 2024), un policía sólo puede votar en un circuito dentro del mismo departamento que su circuito asignado para votar, el cual es asignado por credencial cívica, en caso contrario, podrá custodiarlo, pero no podrá votar.

Estadísticas Relevantes

Según los Resultados de la Elección Nacional (2024), interesa conocer las siguientes estadísticas a nivel circuito, departamento y país, teniendo en cuenta que sólo interesa la elección presidencial:

- Cantidad total de circuitos.
- Cantidad y porcentaje de circuitos cerrados.
- Cantidad y porcentaje de circuitos cerrados con observaciones.
- Cantidad total de personas habilitadas a votar.
- Cantidad y porcentaje de votos emitidos.
- Cantidad y porcentaje de votos válidos.
- Cantidad y porcentaje de votos observados.
- Cantidad y porcentaje de votos en blanco.
- Cantidad y porcentaje de votos anulados.
- Cantidad y porcentaje de votos a cada partido, lo cual se traduce a cantidad de votos a cada fórmula presidencial.
- Cantidad y porcentaje de votos a cada hoja de votación.

Glosario

Sean las siguientes algunas definiciones importantes provistas por fuentes o basadas en la experiencia al participar en elecciones:

Votante. adj. Que vota (llega su voto) (Real Academia Española, 2024).

Elector. adj. Que elige o tiene potestad o derecho de elegir (Real Academia Española, 2024).

Credencial Cívica. Se define como:

Es el único documento que acredita identidad en el acto de comparecer ante las comisiones receptoras de votos en los actos electorales, como son las elecciones nacionales ... (Sitio oficial de la República Oriental del Uruguay, 2024).

Una credencial cívica cuenta con una serie de tres letras y un número natural.

Círculo Electoral/Círculo. Son unidades organizadas por la Corte Electoral para facilitar la votación, cada elector es asignado a un circuito específico según la serie y número de su credencial cívica, datos que se asignan según dónde trámite su documento. Cada circuito tiene un rango de credenciales cívicas consecutivas habilitadas a votar allí que no se superpone con otros rangos, además, cada circuito se localiza en un establecimiento, como un liceo, universidad, escuela, etcétera. Por otro lado, un punto importante es que los electores sólo pueden votar en circuitos en el mismo departamento que su circuito asignado.

Padrón Electoral. Es una lista con las personas habilitadas a votar en cierto circuito, incluyendo los siguientes datos para identificarla: departamento, número de circuito, serie cívica y rango de números (Corte Electoral de la República Oriental del Uruguay, 2025).

Legajo. Cuaderno con hojas electorales (fotocopias de las credenciales cívicas de los electores por cada circuito) para la comprobación de identidad (Corte Electoral de la República Oriental del Uruguay, 2025).

Escrutinio. Reconocimiento y cómputo de los votos en las elecciones o en otro acto análogo (Real Academia Española, 2024).

El Instructivo CRV (2024) provee las siguientes definiciones:

Votos Emitidos. Todos los votos efectivamente emitidos en una elección. Esto incluye los votos a los lemas, los votos en blanco y los anulados (es el total de votos).

Votos Válidos. La cantidad de votos emitidos menos los anulados.

Voto Observado. Es aquel voto que se emite bajo las siguientes condiciones especiales:

Tabla 1.

¿Cuándo corresponde y cuándo no corresponde votar observado?

C. CIVICA		PADRON	LEGAJO	VOTO
SI		SI	SI	SIN OBSERVACION
SI		SI	NO	OBSERVADO SIMPLE
SI		NO	SI	OBSERVADO SIMPLE
SI		NO	NO	NO VOTA
SI/NO	Art. 78 de la Constitución	SI	SI	OBSERVADO SIMPLE
NO		SI	SI	SIN OBSERVACION
NO		SI	NO	OBS. POR IDENTIDAD
NO		NO	SI	OBSERVADO SIMPLE
NO		NO	NO	NO VOTA
DISCAPACIDAD MOTRÍZ (en un circuito que no sea de su pertenencia)				
SI		NO	NO	OBS. SIMPLE (se firma la hoja de identificación)

Tenga en cuenta que no vale la pena describir el procedimiento ante un voto observado, puesto que no aporta información relevante al proyecto.

Voto Anulado. Es aquel voto que no cumple con las normas establecidas por la Corte Electoral para ser un voto válido.

Voto en Blanco. Es aquel voto que no es anulado ni es para un lema. Este favorece al lema más votado.

Requerimientos del Producto Viable Mínimo

Objetivo General

Desarrollar un sistema informático que permita simular elecciones presidenciales en Uruguay, garantizando la emisión del voto secreto y único por elector, el registro correcto de constancias de votos y la carga correcta de datos básicos para las elecciones provistos por la Corte Electoral. Asimismo, el sistema debe permitir ver las estadísticas relevantes de una elección nacional, acotando el alcance a elección presidencial, tanto por circuito, como por departamento y a nivel país.

Requerimientos a Nivel Usuario

Del Administrador de Base de Datos

El sistema debe, como administrador, dado datos provistos por la Corte Electoral:

- Permitirme registrar elecciones, circuitos electorales, departamentos, localidades, establecimientos, partidos políticos, hojas de votación, fórmulas presidenciales, candidatos presidenciales, policías de custodia a circuitos, miembros de la Comisión Receptora de Votos y personas registradas en el Registro Cívico.
- Permitirme registrar los planes circuitales y funcionarios asignados a los circuitos de una elección registrada.

Del Elector

En una elección, el sistema debe, como elector:

- Mostrarme las hojas de votación disponibles para votar.
- Permitirme votar entre anulado, en blanco o a una hoja de votación.

Del Presidente de Comisión Receptora de Votos

En una elección, el sistema debe, como Presidente de Comisión Receptora de Votos:

- Permitirme abrir el circuito que debo supervisar.
- Permitirme cerrar el circuito que debo supervisar.

- Permitirme ver los datos de los electores del departamento del circuito que debo supervisar, es decir, dejarme ver el legajo de todos los circuitos del departamento que me tocó¹.
- Permitirme ver si un elector del departamento del circuito que debo supervisar ya votó.
- Permitirme registrar constancias de voto de electores válidos del circuito que debo supervisar.
- Permitirme marcar una constancia de voto como observada y agregar comentarios de observación.
- Permitirme ver quiénes son los funcionarios asignados al circuito que debo supervisar.
- Permitirme ver cuántos electores les falta votar en el circuito que debo supervisar.
- Permitirme ver la hora de inicio y fin de la elección.

Del Público General

En una elección, el sistema debe, como público general:

- Mostrarme los planes circuitales.
- Mostrarme las estadísticas relevantes antes mencionadas de una elección de los circuitos cerrados.

Restricciones

Generales

- Impedir el ingreso de votos y constancias de voto una vez cerrado el circuito.
- Impedir la visualización de resultados antes del cierre de un circuito.
- Impedir la reapertura de un circuito.

Del Elector

A nivel elección:

- Su voto debe ser irrastreable.

¹ Este requerimiento es posible dada la facilidad de consultar datos en los sistemas informáticos.

- Únicamente puede votar las hojas de votación que son del mismo departamento que su circuito asignado.
- Únicamente puede votar una vez por elección.
- Únicamente puede votar en circuitos del mismo departamento que su circuito asignado.

Del Presidente de Comisión Receptora de Votos

A nivel elección:

- Únicamente puede abrir su circuito durante la hora de votación.
- Únicamente puede cerrar su circuito cuando hayan votado todos los electores del circuito o cuando haya llegado la hora de fin de votación.

Ignoradas

Dado el alcance del proyecto, se decidió ignorar ciertas restricciones relacionadas con los datos base² debido a que se cargarán datos en archivos provistos por la Corte Electoral, incluso si no cumplen con las normas del sistema electoral de Uruguay, por lo tanto, no es responsabilidad del producto verificar que se cumplan estas restricciones.

Por ejemplo, se decidió ignorar a nivel elección:

- El circuito para supervisar de un funcionario debe ser del mismo departamento que su circuito asignado para votar.
- Los circuitos con cierta serie cívica deben estar ubicados en el mismo departamento.
- Un funcionario únicamente puede supervisar un circuito.
- Otras restricciones relacionadas con datos provistos por la Corte Electoral.

Sin embargo, estas restricciones sólo se ignorarán a nivel modelo físico, ya que es adecuado dejarlas en el modelo entidad-relación y modelo relacional para un futuro desarrollo más estricto del producto.

² Los datos base son los datos que se insertan antes del comienzo de una elección, como los relacionados a planes circuitales, candidatos, miembros de la Comisión Receptora de Votos, hojas de votación, etcétera.

Modelo Entidad-Relación

Marco Teórico

La siguiente información es provista por Elmasri y Navathe (*Capítulos 3 y 4, 2007*):

Definición

El modelo entidad-relación (MER) es una herramienta de diseño conceptual utilizada en bases de datos para representar de manera gráfica la estructura lógica de los datos y las relaciones entre ellos, sin preocuparse por los detalles del almacenamiento. Además, este modelo es una descripción concisa de los requerimientos de datos por parte de los usuarios e incluye descripciones detalladas de los tipos de entidades, relaciones y restricciones, elementos los cuales se expresan utilizando los conceptos proporcionados por la realidad que se intenta modelar (*Capítulo 3, p. 51-52*).

Componentes

Entidades. Representan objetos reales o abstractos que tienen existencia dentro del dominio del problema. En este caso ejemplos son: *Elector*, *Circuito*, *Establecimiento*, *Voto*, entre otras (*Capítulo 3, p. 55-56*).

Atributos. Características o propiedades de una entidad. Pueden ser simples (como *Nombre*), compuestos (como *Fecha_Nacimiento*), o derivados. El atributo clave es un atributo o conjunto de atributos que permite identificar de forma única a una entidad (*Capítulo 3, p. 56-58*).

Relaciones. Asocian dos o más entidades. Por ejemplo, un *Elector realiza una Constancia de Voto* (*Capítulo 3, p. 61-62*).

Atributos de Relaciones. Una relación puede tener atributos propios en el contexto de la relación (*Capítulo 3, p. 66-67*).

Entidad Débil. Esta entidad no tiene un identificador propio y necesita de otra entidad para existir (*Capítulo 3, p. 67-68*).

Relaciones N-Arias. Una relación n-aria implica que *n* entidades participan en la relación (*Capítulo 3, p. 75-78*).

Generalización. Es un mecanismo de abstracción que permite agrupar varias entidades específicas (subtipos) en una entidad más general (supertipo), porque comparten ciertas características comunes. Tiene las siguientes características:

Solapamiento. Puede ser:

Total. Toda entidad del supertipo pertenece a algún subtipo.

Parcial. No todas las entidades del supertipo tienen que pertenecer a un subtipo.

Disyunción. Puede ser:

Superpuesta. Una entidad del supertipo puede pertenecer a más de un subtipo a la vez.

Exclusiva. Cada entidad del supertipo pertenece a un único subtipo.

(Capítulo 4, 93-96).

Cardinalidad (mín-máx). Indica el número mínimo y máximo de entidades a las que se puede relacionar una entidad por medio de una relación. Se expresa mediante un par de números (*mínimo, máximo*), donde:

- El *mínimo* indica con cuántas entidades como mínimo debe relacionarse la entidad por medio de la relación.
- El *máximo* indica con cuántas entidades como máximo debe relacionarse la entidad por medio de la relación.
- Por ejemplo:
- (0,1) → Una entidad puede no participar o participar una única vez en la relación.
- (1,1) → La participación de la entidad en la relación es obligatoria y única.
- (0,n) → La participación de la entidad en la relación es opcional y múltiple (puede no participar o participar muchas veces).
- (1,n) → La participación de la entidad en la relación es obligatoria y múltiple (debe participar al menos una vez, pero puede hacerlo muchas veces).

(Capítulo 3, p. 72).

Totalidad. Se refiere al mínimo de la cardinalidad:

- Si el mínimo es 1, la entidad tiene participación total en la relación (es obligatoria).

- Si el mínimo es 0, la entidad tiene participación parcial (es opcional).

(Capítulo 3, p. 72).

Alternativas Propuestas

Durante el diseño del modelo de datos, se tuvieron en cuenta las siguientes alternativas:

- Para definir tipos, se evaluó usarlos como atributos de entidades o crear entidades que representen estos tipos, por ejemplo, para definir el tipo de un voto.
- Se evalúo utilizar algunas entidades débiles o erradicarlas completamente del modelo.
- Para lugares o zonas contenidas en otros lugares o zonas, se evalúo representarlos como entidades normales o entidades débiles.

Alternativa Elegida

Diagrama Entidad-Relación

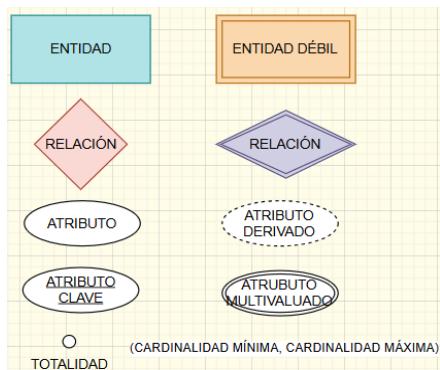
Debido al extenso tamaño del diagrama, se debe observar en el repositorio público de GitHub adjunto al informe.

El link al repositorio es: https://github.com/LuciaBonilla/2025_1_BD2_Obligatorio.git

Las siguientes son las referencias del diagrama:

Figura 5.

Referencias del diagrama entidad-relación construido



En el diagrama se observa que la totalidad ya es indicada completamente en la cardinalidad mínima, pero se agrega un punto en blanco también para representarla para facilitar la lectura.

Bitácora de Construcción

Entidades Identificadas. En base al sistema de votación anteriormente descrito y los requerimientos del sistema, se identificaron las siguientes entidades:

- **Entidades acerca de Zonas.** DEPARTAMENTO, LOCALIDAD, ESTABLECIMIENTO, LUGAR DE TRABAJO.
- **Entidades acerca de Elecciones.** PARTIDO POLÍTICO, CIRCUITO, ELECCIÓN, HOJA DE VOTACIÓN, FÓRMULA PRESIDENCIAL, VOTO, CONSTANCIA DE VOTO.
- **Entidades acerca de Personas.** PERSONA, POLICÍA, RECEPTOR, ELECTOR, CANDIDATO.
- **Entidades para Categorizar.** TIPO DE LOCALIDAD, TIPO DE CIRCUITO, TIPO DE VOTO, TIPO DE OBSERVACIÓN, ROL DE COMISIÓN RECEPATORA, CARGO POLÍTICO.

Aspectos Generales.

- El modelo únicamente admite elecciones presidenciales contenidas en elecciones nacionales.
- Para facilitar su lectura, el diagrama se lee de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, además, se recomienda ver el diagrama a la vez que se lee esta bitácora.
- Todos los atributos *Código* se refieren a identificadores autogenerados.
- Todos los atributos *Serie_Cívica* son tres letras.
- Todos los atributos de número son números naturales.
- Todos los atributos de hora están compuestos por hora y minutos, es decir, están en el formato HH:MM, ya que no interesan los segundos.
- Todos los atributos de fecha están compuestos por día, mes y año.
- No hay entidades débiles, de este modo se simplifica el diseño, el mantenimiento de la base de datos y las consultas a la base de datos.
- Como el proceso electoral es muy complejo, este modelo es útil para un producto viable mínimo, sin embargo, en un futuro se puede extender.

Sobre las Entidades para Categorizar.

- Entidades útiles para agregar metadata a los tipos, por ejemplo, descripción o fecha cuando se creó el tipo; así como también útiles para la edición de un tipo porque la edición recae en una única entidad, de este modo no hay que ir entidad por entidad que use el tipo para editarlos en su totalidad.
- Todas las entidades asociadas tienen los mismos tipos:
 - TIPO DE LOCALIDAD: “PARAJE”, “PUEBLO”, “CIUDAD”.
 - TIPO DE CIRCUITO: “RURAL”, “URBANO”.
 - TIPO DE VOTO: “ANULADO”, “EN BLANCO”.
 - TIPO DE OBSERVACIÓN: “SIMPLE”, “POR IDENTIDAD”.
 - ROL DE COMISIÓN RECEPTORA: “PRESIDENTE”, “SECRETARIO”, “VOCAL”, “SUPLENTE”.
 - CARGO POLÍTICO: “PRESIDENTE”, “VICEPRESIDENTE”.

Sobre la entidad DEPARTAMENTO.

- Puede contener cero o varias localidades (participación parcial).
- Puede tener cero o varias hojas de votación (participación parcial).

Sobre la entidad LOCALIDAD.

- Puede contener cero o varios establecimientos (participación parcial).
- Está obligada a participar en la relación con TIPO DE LOCALIDAD (participación total), ya que obligatoriamente es de un tipo.
- Puede estar contenida en ninguno o en un único departamento (participación parcial).
- No es una entidad débil de DEPARTAMENTO ni está obligada a participar con la entidad, debido a que el departamento puede dejar de existir, pero la localidad seguirá existiendo.

Sobre la entidad ESTABLECIMIENTO.

- Su atributo clave es Código porque, si el atributo clave es la combinación *Nombre*, *Calle*, *Código_Postal*, *Nombre_Barrio*, dificulta la consulta y el mantenimiento de la

base de datos, además, existe la posibilidad de que la combinación se repita para establecimientos diferentes.

- Puede ser la sede de cero o varios partidos políticos (participación parcial).
- Puede ser la comisaría de cero o varios policías (participación parcial).
- Puede ser el lugar de localización de cero o varios circuitos (participación parcial).
- Puede estar contenido en ninguna o en una única localidad (participación parcial).
- No es una entidad débil de LOCALIDAD ni está obligado a participar con la entidad, debido a que la localidad puede dejar de existir, pero el establecimiento seguirá existiendo.

Sobre la entidad ELECCIÓN.

- Puede tener cero o varios circuitos (participación parcial).
- Puede tener cero o varias hojas de votación (participación parcial).

Sobre la entidad CIRCUITO.

- Su atributo clave es *Código* porque, si el atributo clave es la combinación *Número, Serie_Cívica, Número_Desde* (sólo *Número_Desde* alcanza en la combinación porque los rangos de los circuitos de una misma serie no se superponen), dificulta la consulta y el mantenimiento de la base de datos, además, existe la posibilidad de que la combinación se repita para elecciones diferentes.
- Puede encontrarse en ninguno (por espera de asignación) o en un único establecimiento (participación parcial); los circuitos con la misma serie cívica deben ir en el mismo departamento.
- No es una entidad débil de ELECCIÓN por la simplicidad de consulta y el mantenimiento de la base de datos, ya que varios votos y constancias de votos surgen de un único circuito.
- En él se pueden realizar cero o varios votos (participación parcial).
- En él se pueden realizar cero o varias constancias de votos (participación parcial).
- Está obligada a participar en la relación con TIPO DE CIRCUITO y ELECCIÓN (participación total), ya que obligatoriamente es de un tipo y de una elección.

- Tenga en cuenta que la localidad donde está el circuito puede ser, por ejemplo, del tipo “CIUDAD”, pero el tipo del circuito puede ser “RURAL”.
- Puede ser custodiado por cero (por espera de asignación) o varios policías (participación parcial).
- Puede ser supervisado por cero (por espera de asignación) o hasta seis miembros de la Comisión Receptora de Votos (Presidente, Secretario, Vocal y los tres suplentes) (participación parcial).
- El atributo *Está_Cerrado* se pone como verdadero cuando todos sus electores votaron o cuando no es hora de la votación.
- Según la ubicación del circuito (establecimiento), se sabe a qué departamento corresponde la serie cívica.
- La accesibilidad del circuito dependerá del establecimiento (falta de elevadores, falta de rampas, etcétera).

Sobre la entidad HOJA DE VOTACIÓN.

- Su atributo clave es *Código* para simplificar el modelo y facilitar el mantenimiento de la base de datos, puesto que muchos votos pueden elegir una única lista, además, el atributo *Número* se puede repetir en distintas elecciones.
- Está obligada a participar con la entidad DEPARTAMENTO y ELECCIÓN, porque obligatoriamente fue registrada para un departamento y es de una elección.
- Puede tener cero (por espera de asignación) o una única fórmula presidencial (participación parcial).
- Puede ser elegida en cero o varios votos (participación parcial).

Sobre la entidad FÓRMULA PRESIDENCIAL.

- En ella participan cero (por espera de asignación) o hasta dos candidatos (participación parcial), uno a Presidente y otro a Vicepresidente.
- Está obligada a participar con la entidad PARTIDO POLÍTICO, porque obligatoriamente fue presentada por un partido político.

- Puede estar en cero (por espera de asignación) o varias hojas de votación (participación parcial).

Sobre la entidad PARTIDO POLÍTICO.

- El atributo *Lema* es el nombre del partido.
- Puede presentar cero o varias fórmulas presidenciales, pero siempre la misma en una elección (participación parcial).
- Puede tener ningún o un único establecimiento como sede (participación parcial).

Sobre la entidad PERSONA.

- Las personas son aquellas con credencial cívica (incluidos menores de edad y no ciudadanos). Los no ciudadanos tienen cédula de identidad si tienen credencial cívica, por lo tanto, no hay problema que el atributo clave sea el atributo *Cédula_Imagen*.
- Una PERSONA puede ser POLICÍA, RECEPTOR, ELECTOR, CANDIDATO o ninguno (parcial), además, puede ser más de uno (superpuesta).

Sobre la entidad POLICÍA.

- Puede custodiar cero (por espera de asignación) o varios circuitos (participación parcial), pero un único circuito por elección.
- Puede ser de ninguna o una única comisaría (participación parcial); una comisaría es un establecimiento.

Sobre la entidad RECEPTOR.

- Es un miembro de la Comisión Receptora de Votos.
- Puede trabajar en cero o varios lugares de trabajo (participación parcial).
- En el contexto de una supervisión de votos de un circuito, tiene un único rol de la Comisión Receptora de Votos, por ello hay una relación ternaria.
- Puede supervisar votos de cero (por espera de asignación) o varios circuitos (participación parcial), pero un único circuito por elección.

Sobre la entidad LUGAR DE TRABAJO.

- Únicamente sirve para saber dónde trabaja un receptor, por ejemplo, “DGI” o “Banco Itaú”.
- Puede ser lugar de trabajo de cero o varios receptores (participación parcial).

Sobre la entidad CANDIDATO.

- Puede participar en cero o varias fórmulas presidenciales con un cargo político (participación parcial), pero únicamente puede presentarse en una fórmula por elección.

Sobre la entidad ELECTOR.

- Puede realizar cero o varias constancias de votos (participación total), pero una única por elección.
- No está obligado a realizar una constancia de voto para existir porque puede no haber votado cuando estaba habilitado, en otras palabras, los electores son personas habilitadas a votar sin necesariamente haber votado.
- En una elección, el elector únicamente puede votar en un circuito que esté colocado en el mismo departamento que su circuito asignado (por credencial cívica). Si vota en otro circuito, entonces su constancia de voto será observada, pero también puede ser observada si vota en su circuito asignado en ciertas condiciones (Tabla 1.).

Sobre la entidad VOTO.

- Es la entidad que elige una opción en una elección, pero no permite rastrear al votante que la realizó.
- Debe realizarse en un circuito (participación total).
- Puede elegir ninguna o una única hoja de votación (participación parcial).
- No está obligada a participar en la relación con TIPO DE VOTO (participación parcial), ya que si se elige una hoja de votación es un voto normal; el tipo de voto sólo sirve para diferenciar entre voto en blanco y voto anulado.
- Únicamente puede realizarse si el circuito donde se realiza está abierto.

Sobre la entidad CONSTANCIA DE VOTO.

- Es la entidad que permite constatar que un elector votó en una elección (se puede ser elector sin haber votado), pero no permite rastrear qué votó el votante.
- Está obligada a relacionarse con ELECTOR y CIRCUITO, ya que obligatoriamente fue realizada por un elector y provino de un circuito (participación total).
- Se infiere el día que se realizó por la fecha de la elección.
- El atributo *Número_Ordinal_Votante* es el número ordinal del votante correcto en el circuito.
- El número de sobre no es necesario representarlo, ya que el atributo *Código* ya es suficiente.
- Si la constancia de voto es observada, entonces será de algún tipo de observación (participación parcial). El tipo de observación dependerá de ciertas condiciones (Tabla 1.).
- Únicamente puede realizarse si el circuito donde se realiza está abierto.

Modelo Lógico

Marco Teórico

La siguiente información es provista por Elmasri y Navathe (*Capítulos 5, 7 y 10, 2007*):

Definición

El modelo relacional (MR) es un marco formal para organizar datos en bases de datos mediante relaciones, comúnmente representadas como tablas. Cada relación consta de tuplas (filas) y atributos (columnas), donde cada tupla representa un registro de datos único y cada atributo representa una propiedad o característica de dicho registro. El modelo se basa en la teoría de conjuntos y la lógica de predicados, que proporcionan una base rigurosa para la definición y manipulación de datos (*Capítulo 5, p. 124-125*).

Componentes

Relación. Una tabla con filas y columnas que representan una entidad o relación (*Capítulo 5, p. 125*).

Tupla. Una sola fila en una relación que representa una instancia de datos (*Capítulo 5, p. 125*).

Atributo. Una columna en una relación que representa un campo de datos con un dominio definido de valores válidos (*Capítulo 5, p. 125*).

Esquema. La estructura de una relación, incluyendo su nombre, atributos y tipos de datos (*Capítulo 5, p. 125*).

Clave Primaria. Un atributo o conjunto de atributos que identifica de forma única cada tupla en una relación (*Capítulo 5, p. 130-131*).

Clave Foránea. Un atributo (o conjunto de atributos) en una relación que hace referencia a la clave primaria de otra relación. Las claves foráneas establecen la integridad referencial, garantizando que la relación entre los datos de las distintas tablas se mantenga consistente (*Capítulo 5, p. 133*).

Restricciones de Integridad. Reglas que garantizan la validez de los datos. Estas incluyen la integridad de la entidad (sin valores nulos en las claves primarias) y la integridad

referencial (los valores de las claves externas deben coincidir con los valores de las claves primarias existentes o ser nulos) (*Capítulo 5*, p. 133-134).

Dependencias Funcionales

Las dependencias funcionales son restricciones que describen las relaciones entre atributos dentro de una relación. Formalmente, una dependencia funcional $X \rightarrow Y$ significa que si dos tuplas tienen los mismos valores para el conjunto de atributos X , también deben tener los mismos valores para el conjunto de atributos Y . Comprender las dependencias funcionales es esencial para el diseño de bases de datos, ya que guían la normalización y ayudan a prevenir anomalías en los datos (*Capítulo 10*, 291-292).

Normalización

La normalización es el proceso sistemático de organizar los datos en una base de datos para minimizar la redundancia y la dependencia. Implica descomponer las relaciones basadas en dependencias funcionales para crear tablas bien estructuradas que reduzcan el riesgo de anomalías durante las operaciones de datos, como la inserción, la actualización o la eliminación (*Capítulo 10*, p. 299).

Formas Normales. La normalización sigue una serie de reglas progresivamente más estrictas denominadas formas normales:

Primera Forma Normal (1NF). Garantiza que todos los atributos contengan valores atómicos (indivisibles), eliminando los grupos repetitivos (*Capítulo 10*, p. 300-301).

Segunda Forma Normal (2NF). Se basa en la 1NF eliminando las dependencias parciales; los atributos no clave deben depender de la clave primaria completa (*Capítulo 10*, p. 304).

Tercera Forma Normal (3NF). Elimina las dependencias transitivas, garantizando que los atributos no clave dependen únicamente de la clave primaria (*Capítulo 10*, p. 304).

Forma Normal de Boyce-Codd (BCNF). Una versión más estricta de la 3NF que requiere que cada determinante sea una clave candidata (*Capítulo 10*, p. 308-309).

Del Modelo Entidad-Relación a las Tablas Relacionales

La transición de un MER a un MR implica convertir entidades, relaciones y atributos en relaciones (tablas). Las entidades se convierten en relaciones con sus atributos como columnas. Las relaciones con cardinalidad 1:1 o 1:N se representan añadiendo claves foráneas a las tablas relacionadas. Las relaciones muchos a muchos (N:N) se transforman en relaciones independientes que contienen claves foráneas que refieren a las entidades participantes. Este proceso preserva la integridad semántica del diseño conceptual del MER en el MR, lo que facilita su implementación en sistemas gestores de bases de datos relacionales (*Relational Database Management System*, RDBMS) (*Capítulo 7*, p. 189-194).

Pasaje del Modelo Entidad-Relación Diseñado a Modelo Relacional

- Tablas para Categorizar.

TIPO_DE_LOCALIDAD (Código, Nombre)

R.N.E.: No Estructurales

- Valores admitidos en Nombre: "PARAJE", "PUEBLO", "CIUDAD".

TIPO_DE_CIRCUITO (Código, Nombre)

R.N.E.:

- Valores admitidos en Nombre: "RURAL", "URBANO".

TIPO_DE_VOTO (Código, Nombre)

R.N.E.:

- Valores admitidos en Nombre: "ANULADO", "EN BLANCO".

TIPO_DE_OBSERVACIÓN (Código, Nombre)

R.N.E.:

- Valores admitidos en Nombre: "SIMPLE", "POR IDENTIDAD".

ROL_DE_COMISIÓN_RECECTORA (Código, Nombre)

R.N.E.:

- Valores admitidos en Nombre: "PRESIDENTE", "SECRETARIO", "VOCAL", "SUPLENTE".

CARGO_POLÍTICO (Código, Nombre)

R.N.E.:

- Valores admitidos en Nombre: "PRESIDENTE", "VICEPRESIDENTE".

- Tablas acerca de Zonas.

DEPARTAMENTO (

Código,

Nombre

)

R.N.E.:

- Nombre distinto de nulo y único (por realidad).

```

LOCALIDAD (
    Código,
    Nombre,
    Código_Departamento,
    Código_Tipo_Localidad          -> DEPARTAMENTO.Código
                                         -> TIPO_DE_LOCALIDAD.Código
)
R.N.E.:
- Nombre distinto de nulo (por realidad) y Código_Tipo_Localidad distinto de nulo (por participación total).

ESTABLECIMIENTO (
    Código,
    Nombre,
    Calle,
    Código_Postal,
    Nombre_Barrio,
    Es_Accesible,
    Código_Localidad              -> LOCALIDAD.Código
)
R.N.E.:
- Nombre, Código_Postal y Es_Accesible distintos de nulo (por realidad).

LUGAR_DE_TRABAJO (
    Código,
    Nombre
)
R.N.E.:
- Nombre distinto de nulo y único (por realidad).

TRABAJO_DE_RECECTOR (
    Código_Identidad_Receptor,      -> RECEPTOR.Cédula_Identidad
    Código_Lugar_Trabajo           -> LUGAR_DE_TRABAJO.Código
)


- Tablas acerca de Personas.


PERSONA (
    Código_Identidad,
    Nombre,
    Apellido,
    Fecha_Nacimiento,
    Serie_Credencial_Cívica,
    Número_Credencial_Cívica
)
R.N.E.:
- Todos los atributos distintos de nulo (por realidad).
- La fecha de nacimiento está compuesta porque no hay utilidad práctica en dejarla como columnas diferentes para el día, mes y año.
- La combinación de datos de la credencial cívica debe ser única.

POLICÍA(
    Código_Identidad,                -> CIUDADANO.Cédula_Identidad
    Código_Comisaría                 -> ESTABLECIMIENTO.Código
)
RECEPTOR(
    Código_Identidad                -> CIUDADANO.Cédula_Identidad
)
ELECTOR(
    Código_Identidad                -> CIUDADANO.Cédula_Identidad
)
CANDIDATO(
    Código_Identidad                -> CIUDADANO.Cédula_Identidad
)

```

- Tablas acerca de Elecciones.

ELECCIÓN(

Código,
Fecha_Votación,
Hora_Inicio_Votación,
Hora_Fin_Votación

)

R.N.E:

- Todos los atributos distintos de nulo (por realidad).
- La fecha de votación está compuesta porque no hay utilidad práctica en dejarla como columnas diferentes para el día, mes y año.

CIRCUITO(

Código,
Número,
Serie_Cívica,
Número_Desde,
Número_Hasta,
Está_Cerrado
Código_Tipo_Circuito, -> TIPO_DE_CIRCUITO.Código
Código_Establecimiento, -> ESTABLECIMIENTO.Código
Código_Elección -> ELECCIÓN.Código

)

R.N.E:

- *Número, Serie_Cívica, Número_Desde* y *Código_Elección* distintos de nulo y combinación única (por realidad; no se repetirán datos identificatorios de circuito en una elección).
- *Número_Hasta* y *Está_Cerrado* también distintos de nulo (por realidad).
- *Código_Tipo_Circuito* y *Código_Elección* distintos de nulo (por participación total).

PARTIDO_POLÍTICO(

Código,
Lema,
Código_Sede -> ESTABLECIMIENTO.Código

)

R.N.E:

- *Lema* distinto de nulo y único (por realidad).

FÓRMULA_PRESIDENCIAL(

Código,
Código_Partido -> PARTIDO_POLÍTICO.Código

)

R.N.E:

- *Código_Partido* distinto de nulo (por participación total).

HOJA_DE_VOTACIÓN(

Código,
Número,
Código_Elección, -> ELECCIÓN.Código
Código_Departamento, -> DEPARTAMENTO.Código
Código_Fórmula_Presidencial -> FÓRMULA_PRESIDENCIAL.Código

)

R.N.E:

- *Número* distinto de nulo (por realidad), y *Código_Elección* y *Código_Departamento* distintos de nulo (por participación total).
- *Número*, *Código_Elección* y *Código_Departamento* combinación única (por realidad; no se repetirán datos identificatorios de hoja en una elección).

```

CANDIDATURA(
    Cédula_Identidad_Candidato,          -> CANDIDATO.Cédula_Identidad
    Código_Cargo_Político,                -> CARGO_POLÍTICO.Código
    Código_Fórmula_Presidencial           -> FÓRMULA_PRESIDENCIAL.Código
)
R.N.E:
- En una elección, un candidato únicamente puede relacionarse con una única fórmula en una elección y siempre con el mismo cargo.
- Código_Cargo_Político distinto de nulo (por realidad).

VOTO(
    Código,                                -> TIPO_DE_VOTO.Código
    Código_Tipo_Voto,                     -> HOJA_DE_VOTACIÓN.Código
    Código_Hoja_Votación,                 -> CIRCUITO.Código
    Código_Circuito
)
R.N.E:
- Código_Circuito distinto de nulo (por participación total).
- Código_Tipo_Voto es nulo si Código_Hoja_Votación no lo es (por realidad).
- Únicamente puede realizarse si el circuito donde se realiza está abierto.

CONSTANCIA_DE_VOTO(
    Código,                                -> ELECTOR.Cédula_Identidad
    Número_Ordinal_Votante,               -> TIPO_OBSERVACIÓN.Código
    Hora_Votación,
    Cédula_Identidad_Votante              -> CIRCUITO.Código
    Código_Tipo_Observación,
    Comentarios_Observación,
    Código_Circuito
)
R.N.E:
- Número_Ordinal_Votante y Hora_Votación distintos de nulo (por realidad).
- Cédula_Identidad_Votante y Código_Circuito distinto de nulo (por participación total).
- En una elección, el elector únicamente puede votar en un circuito que esté colocado en el mismo departamento que su circuito asignado (por credencial cívica).
- Un elector únicamente puede realizar una única constancia de voto en una elección.
- Únicamente puede realizarse si el circuito donde se realiza está abierto.

SUPERVISIÓN(
    Cédula_Identidad_Receptor,          -> RECEPTOR.Cédula_Identidad
    Código_Rol_Comisión,                 -> ROL_DE_COMISIÓN_RECEPTEORA.Código
    Código_Circuito                      -> CIRCUITO.Código
)
R.N.E:
- Únicamente hasta seis roles pueden supervisar un circuito de una elección ("PRESIDENTE", "VOCAL", "SECRETARIO" y los tres "SUPLENTE").
- Un receptor únicamente puede supervisar un circuito de una elección con un rol, pero puede supervisar varios circuitos si son de distintas elecciones.
- Código_Rol_Comisión distinto de nulo (por realidad).

CUSTODIA(
    Cédula_Identidad_Policía,            -> POLICÍA.Cédula_Identidad
    Código_Circuito                      -> CIRCUITO.Código
)
R.N.E:
- En una elección, un policía únicamente puede custodiar un circuito.

```

Arquitectura del Sistema Informático

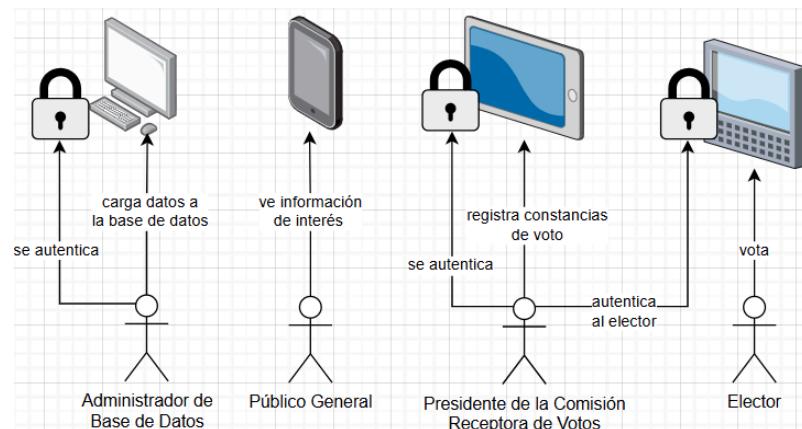
En esta sección se describe a grandes rasgos el sistema informático electoral, sus componentes, las tecnologías a utilizar, los patrones y estilos de arquitectura de software a aplicar, y cómo se desplegarán los componentes.

Descripción General

El sistema informático electoral será una aplicación web en modalidad cliente-servidor con arquitectura multicapa de tres capas, y que será utilizada por los siguientes usuarios:

Figura 6.

Sistema informático desde el punto de vista de los usuarios



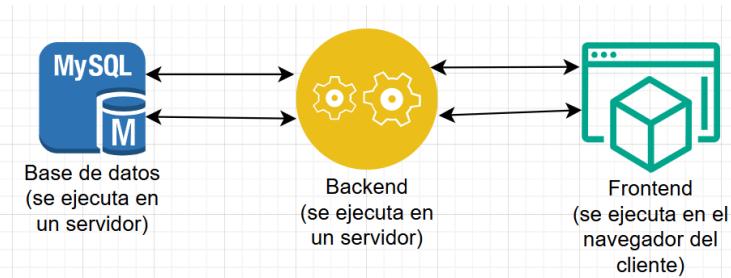
- El público general, que podrá ver los planes circuitales y los resultados de las elecciones. Este usuario no utilizará autenticación.
- El Presidente de una Comisión Receptora de Votos, que podrá registrar constancias de votos de un circuito. Este usuario deberá autenticarse para realizar sus funciones y utilizará una tablet provista por la Corte Electoral.
- El elector, que podrá votar. Este usuario deberá autenticarse por cada voto realizado, pero las credenciales únicamente las conocerá el Presidente de la Comisión Receptora de Votos. Además, utilizará un dispositivo que sólo es para los electores y que estará localizado en el circuito.

Por otro lado, el usuario administrador de la base de datos únicamente se encargará de cargar los datos provistos por la Corte Electoral en la base de datos, así como también registrar a los usuarios, pero esto lo realizará a nivel del DBMS.

Componentes

Figura 7.

Componentes del sistema informático



Sistema Gestor de Base de Datos y Base de Datos

Descripción. Un DBMS es un software de propósito general que facilita los procesos de definición, construcción, manipulación y compartición de bases de datos entre varios usuarios y aplicaciones. Por lo tanto, en una arquitectura multicapa de tres capas, se encuentra en la capa de acceso a datos junto a la base de datos.

Tecnología a Utilizar. Se utilizará un RDBMS por la alta consistencia, el esquema rígido y la capacidad de realizar consultas complejas con el lenguaje de consulta SQL. En consecuencia, se utilizará MySQL, un RDBMS de código abierto desarrollado por Oracle.

Arquitectura de la Base de Datos. La arquitectura de la base de datos se basará en el modelo entidad-relación y modelo relacional previamente descritos, derivados de la realidad del sistema electoral uruguayo. A partir de esos modelos se implementarán las tablas, restricciones, relaciones y transacciones necesarias para garantizar la integridad referencial, evitar inconsistencias y registrar cada operación relevante con seguridad.

Backend

Descripción. Un backend es el componente encargado de procesar los datos, implementar la lógica del negocio, validar reglas y controlar el acceso a la base de datos. Este componente se ejecuta en un servidor y expone una interfaz programática que permite

a los clientes interactuar con la base de datos de forma controlada. Por lo tanto, en una arquitectura multicapa de tres capas, se encuentra en la capa de lógica del negocio.

Tecnología a Utilizar. El backend será desarrollado utilizando Flask, un framework ligero para aplicaciones web WSGI³, garantizando una arquitectura modular, validaciones de las entradas de los usuarios, y separación entre la lógica del dominio y la persistencia de datos.

Frontend

Descripción. Un frontend es el componente encargado de gestionar la interacción del usuario con el sistema. Se ejecuta en el dispositivo del usuario⁴ y se encarga de representar visualmente los datos, obtener entradas, y enviar solicitudes al backend. Este componente implementa la interfaz gráfica, aplica validaciones iniciales y traduce las acciones del usuario en llamadas al backend. Por lo tanto, en una arquitectura multicapa de tres capas, se encuentra en la capa de presentación.

Tecnología a Utilizar. El frontend será desarrollado utilizando React, una biblioteca Javascript de código abierto diseñada para crear interfaces de usuario, con el objetivo de facilitar el desarrollo de aplicaciones en una sola página web con distintas rutas. Asimismo, se utilizará Vite, una herramienta para compilar el proyecto y crear un servidor de desarrollo.

Diseño de la interfaz. Se priorizará un diseño minimalista, responsive y accesible, que reduce errores del usuario y promueve la claridad en la navegación. La separación de vistas por roles y estados del sistema permitirá adaptar la experiencia a cada tipo de usuario: elector, Presidente de Comisión Receptora de Votos y público general. Además, dado el alcance del proyecto, únicamente se realizará un diseño para tablet que se podrá observar en el repositorio público de GitHub adjunto al informe.

Patrones y Estilos de Arquitectura de Software

Se aplicarán los siguientes patrones y estilos de arquitectura de software:

³ “La Interfaz de Pasarela del Servidor Web, o Web Server Gateway Interface en inglés (WSGI) es un estándar que facilita la conexión entre el servidor web y las aplicaciones web desarrolladas en Python” (Wikipedia, 2025).

⁴ En el caso de este proyecto se ejecutará en el navegador web del cliente.

Estilo Multicapa

Se adoptará una arquitectura lógica de tres capas donde:

Capa de Presentación. → Frontend

Capa de Lógica de Negocio. → Backend

Capa de Acceso a Datos. → DBMS y base de datos

Esta arquitectura garantiza independencia entre capas, permitiendo que casi⁵ cada una evolucione o se reemplace sin afectar a las demás.

Estilo Cliente-Servidor

La aplicación se basará en una arquitectura cliente-servidor, donde los clientes (usuarios desde navegadores web) realizarán solicitudes al servidor central. Este servidor se encargará de procesar las solicitudes, acceder a la base de datos y devolver respuestas adecuadas. Esta arquitectura permite separar la lógica de presentación (frontend) y la lógica de negocio (backend), y que funcionen de forma desacoplada, favoreciendo la escalabilidad y el mantenimiento.

Estilo REST (Representational State Transfer)

La comunicación entre el frontend y el backend se realizará mediante una API RESTful, siguiendo el estilo arquitectónico REST. Esta interfaz utiliza métodos HTTP estándar (GET, POST, PUT, DELETE), es sin estado⁶, y permite acceder a los recursos mediante URIs. Las respuestas se devolverán en formato JSON, lo cual mejorará la interoperabilidad, permitirá la escalabilidad horizontal⁷ y facilitará el consumo por distintos clientes.

Patrón MVC (Modelo-Vista-Controlador)

El sistema adoptará el patrón de diseño MVC de manera distribuida, es decir, no en su versión clásica:

Modelo. Estará representado por las estructuras de datos y lógica de negocio en el backend (Flask), y por el esquema relacional implementado en MySQL.

⁵ Casi porque si cambia el DBMS, entonces debe cambiar el código en el backend para acceder a la base de datos.

⁶ Es decir que el backend no guardará el estado de las peticiones anteriores de los usuarios.

⁷ Debido a la característica de sin estado de la API, cualquier servidor en funcionamiento da la misma respuesta.

Vista. Correspondrá al frontend en React, que se encargará de renderizar la información y manejar la interacción con los usuarios.

Controlador. Se encontrará en el backend, coordinando las solicitudes entrantes, aplicando reglas de validación, y gestionando la persistencia de datos y respuestas.

Esta separación de responsabilidades facilita la modularidad y el mantenimiento del sistema.

Estrategia para el Voto Secreto

Solución

Dado el modelo de datos, existen dos entidades principales para lograr el voto secreto: la constancia de voto, la cual indica que un elector votó; y el voto, la cual elige la opción de voto (hoja, anulado o en blanco), pero no asocia voto con votante. El flujo de votación a nivel aplicación será así:

1. Antes de iniciar la votación en el circuito, el Presidente de la Comisión Receptora de Votos accederá a la página web principal e ingresará a su cuenta previamente registrada con sus credenciales provistas por la Corte Electoral. El Presidente sólo accederá a sus funciones cuando sea la hora de votación y queden electores por votar en el circuito, es decir, mientras el circuito pueda estar abierto.
2. El elector llegará al circuito y el Presidente de la Comisión revisará los datos del elector en la aplicación para ver si puede votar; estos datos los verá desde su tablet y pantalla en la aplicación web.
3. En el dispositivo para que el elector pueda votar, el Presidente de la Comisión ingresará sus credenciales provistas por la Corte Electoral, lo cual generará una credencial temporal. La credencial servirá para que el elector sólo pueda ver las opciones disponibles y votar en menos de 3 minutos.
4. El elector votará y con esto se creará una entidad voto en la base de datos.
5. Luego de creado el voto, la credencial temporal quedará invalidada y se denegará el acceso a las funciones para votar y, para que el resto de electores voten, el

Presidente de la Comisión deberá poner sus credenciales de nuevo en el dispositivo para electores.

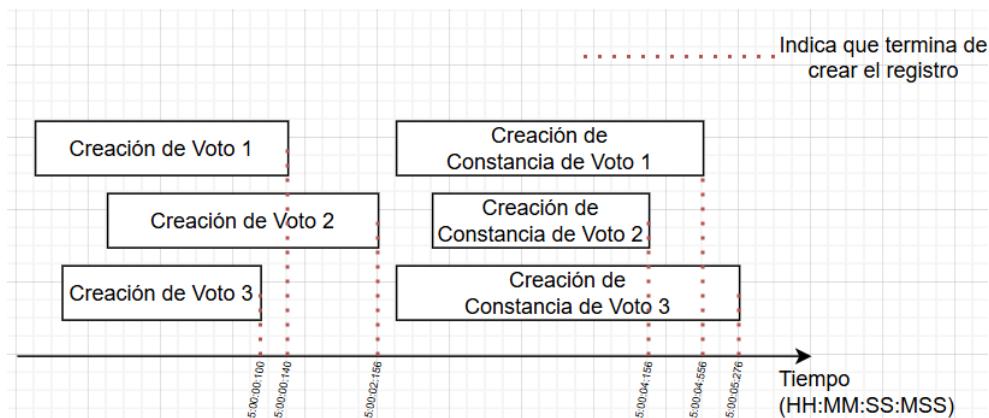
6. Luego el Presidente de la Comisión ingresará y enviará los datos de la constancia de voto a través de su tablet, lo cual creará la entidad constancia de voto en la base de datos.

Problema Encontrado

Observe que ambas entidades se crean casi al mismo tiempo, por lo tanto, en este sentido es posible rastrear qué votó un elector por medio de la hora de creación de los registros correspondientes en la base de datos.

Figura 8.

Creación de votos y constancias de voto durante el tiempo



Justificación de la Solución

No obstante, como se observa en la Figura 8., antes de que se genere la Constancia de Voto 1, ya se había creado la Constancia de Voto 2. Por lo tanto, si se analiza únicamente la hora de creación de los registros, podría asumirse erróneamente que el Voto 1 corresponde a la Constancia de Voto 2.

Esta discrepancia temporal es contribuida por múltiples factores, entre ellos la calidad de la conexión a internet del circuito y el tiempo que demora el Presidente de la Comisión en registrar manualmente las constancias. En consecuencia, pueden existir diferencias significativas entre el momento en que se emite un voto y el momento en que se registra su constancia, lo que dificulta establecer una relación indirecta entre ambos.

Además, en contextos de alta concurrencia y periodos de votación reducidos, es posible que se generen muchas constancias de voto en intervalos muy breves, lo que introduce aún mayor ambigüedad en cualquier intento de rastreo a partir de las horas de creación de los registros.

Solución para la Autenticación de Usuarios

En el sistema informático hay dos usuarios que deberán autenticarse a nivel frontend para realizar sus funciones: el elector y el Presidente de la Comisión Receptora de Votos. De este modo, se utilizarán los tokens de acceso y actualización.

Un token de acceso es una credencial de corta duración que demuestra que un usuario está autenticado y autorizado para acceder a recursos específicos, o realizar determinadas acciones en una aplicación. Además, el token de acceso tiene un tiempo de vencimiento, por lo tanto, se usa un token de actualización, es decir, una credencial de larga duración que se utiliza para obtener un nuevo token de acceso, sin pedirle al usuario que inicie sesión nuevamente.

Tecnología a Utilizar

Se utilizará JWT (JSON Web Token), un formato de token compacto, seguro para URL y firmado digitalmente, que se utiliza para transmitir información de forma segura entre dos partes, generalmente un cliente y un servidor. Se utiliza ampliamente para la autenticación y la autorización en aplicaciones web actuales.

Almacenamiento de Datos para la Autenticación

Credenciales para Inicio de Sesión. Cada Presidente de la Comisión Receptora tendrá una cuenta con usuario y contraseña provista por la Corte Electoral; estos datos estarán en la base de datos con la cédula como usuario y la contraseña encriptada.

Tokens de Acceso y Actualización. El almacenamiento de los tokens en la base de datos ofrecerá importantes ventajas en términos de seguridad y control, especialmente para este sistema electoral, a diferencia de un enfoque totalmente sin estado, que se basa únicamente en los tiempos de expiración de los tokens integrados en el propio token. Este enfoque tiene las siguientes ventajas:

- Permite la revocación inmediata de tokens en caso de cierre de sesión o fallos de seguridad.
- Garantiza que los tokens de votación sean de un sólo uso para evitar votos duplicados.
- Mantiene un registro de auditoría que registra cuándo y quién los emitió o utilizó.
- Facilita la gestión activa de sesiones al limitar el acceso concurrente y supervisar actividades sospechosas, mejorando así la trazabilidad y el cumplimiento normativo.

En este caso en la base de datos habrán tres tablas: dos para los tokens de acceso y actualización para los Presidentes de la Comisión Receptora de Votos, y una para los tokens temporales para que los electores puedan votar.

Despliegue

Tecnología a Utilizar

El sistema será empaquetado y desplegado utilizando Docker, una plataforma de virtualización a nivel de contenedor que permite encapsular cada componente con todas sus dependencias. Esto garantiza la portabilidad, reproducibilidad y facilidad de despliegue del entorno, tanto para pruebas como para producción.

Estructura de Contenedores

El despliegue se organizará en múltiples contenedores coordinados mediante Docker Compose, con el siguiente esquema:

- database: contenedor con el servicio MySQL y los scripts de inicialización de la base de datos. Este contenedor es de reserva por si falla la base de datos provista por la cátedra.
- backend-app: contenedor con la aplicación Flask, expuesto en un puerto interno.
- frontend-app: contenedor con la aplicación React, servida mediante un servidor web.

Cada contenedor se comunicará por medio de una red interna definida en docker-compose.yml, permitiendo escalabilidad y separación clara de responsabilidades.

Conclusiones

El proyecto describe el diseño, modelado e implementación de un sistema informático electoral conforme a los requerimientos funcionales del sistema electoral vigente en Uruguay. A partir de un enfoque integral y técnico, se han logrado los siguientes resultados:

Modelado de Datos. El MER refleja adecuadamente la complejidad del sistema electoral en Uruguay, representando entidades como elector, receptor, circuito, constancia de voto, voto y otros elementos claves, con sus relaciones e integridad referencial. El pasaje al MR se realizó de forma rigurosa, asegurando un esquema normalizado, sin redundancias innecesarias y con restricciones no estructurales bien definidas.

Arquitectura Multicapa. El sistema se estructurará en tres capas lógicas (presentación, lógica de negocio y acceso a datos), lo cual garantizará la separación de responsabilidades, facilitará el mantenimiento del sistema, y promoverá la reutilización y escalabilidad.

Patrones y Estilos de Arquitectura. La combinación del estilo cliente-servidor con el uso de una API RESTful y la aplicación del patrón MVC distribuido permitirá una implementación clara, coherente y extensible. Esta estructura distribuirá responsabilidades de manera lógica entre frontend (vista), backend (controlador y parte del modelo) y base de datos (modelo persistente), logrando así un sistema modular y de fácil integración con distintos clientes.

Autenticación basada en JWT y Control de Tokens. El sistema utilizará un mecanismo de autenticación con tokens JWT para garantizar seguridad, trazabilidad y control de sesiones. El almacenamiento de tokens en la base de datos fortalecerá la auditoría, la revocación de accesos y la detección de usos indebidos, lo cual es fundamental en un contexto crítico como el electoral. La diferenciación de tokens por tipo de usuario (Presidente de Comisión y elector) permitirá una gestión segura y controlada de las funciones sensibles del sistema.

Estrategia de Voto Secreto. Si bien el sistema registrará tanto el voto como la constancia de voto por separado, el flujo de votación y las diferencias de latencia entre registros (sumadas al uso de tokens temporales) permitirán preservar la privacidad del votante. La imposibilidad de relacionar directamente una constancia con un voto específico, constituirá una barrera técnica razonable contra el rastreo de identidad, permitiendo el voto secreto.

Despliegue con Docker. El uso de Docker y Docker Compose permitirá encapsular cada componente en contenedores independientes, pero intercomunicados. Esto mejorará la portabilidad entre entornos, facilitará la puesta en marcha para pruebas y producción, y reducirá las incompatibilidades o problemas de configuración, contribuyendo a la estabilidad del sistema.

Alineación con Requerimientos Legales y Escalabilidad Futura. El diseño propuesto considera elementos normativos, operativos y tecnológicos básicos. A su vez, la arquitectura, el modelo de datos y la elección de tecnologías permitirán futuras extensiones del sistema sin necesidad de reestructuraciones profundas.

Referencias

- Corte Electoral de la República Oriental del Uruguay. (2024). *Instructivo para los integrantes de las Comisiones Receptoras de Votos para la Elección Nacional.*
<https://www.gub.uy/corte-electoral/sites/corte-electoral/files/documentos/publicaciones/INSTRUCTIVO%20CRV%202024.pdf>
- Corte Electoral de la República Oriental del Uruguay. (2024). *Visualizador de hojas.*
<https://buscador-hojas.corteelectoral.gub.uy/buscadorhojasnacionales2024.aspx>
- Corte Electoral de la República Oriental del Uruguay. (2025, 30 de abril). *Elecciones departamentales y municipales 2025 - Curso para integrantes de CRV: Recepción de sufragios [Video].* YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=Ke6A5f36vA4&t=14s>
- Corte Electoral de la República Oriental del Uruguay. (2024, 27 de octubre). *Resultados elecciones nacionales.*
<https://eleccionesnacionales2024.corteelectoral.gub.uy/>
- Diccionario de la lengua española. (2024). *Vigesimotercera edición.* <https://dle.rae.es/>
- Dirección Nacional de Impresiones y Publicaciones Oficiales del Uruguay. (1967/1996). *Constitución de la República* (publicada el 2 de febrero de 1967 y reformada el 8 de diciembre de 1996).
<https://www impo.com.uy/bases/constitucion/1967-1967>
- Dirección Nacional de Impresiones y Publicaciones Oficiales del Uruguay. (2024, 17 de julio). *Circular Nº 11906.*
<https://www impo.com.uy/bases/circulares-corte-electoral/11906-2024>
- Elmasri, R., & Navathe, S. B. (2007). Capítulos 3, 4, 5, 7 y 10. En M. Martín-Romo (Ed.), *Fundamentos de sistemas de bases de datos* (5.ª ed.). Pearson Educación S.A.
- La Mañana. (2019). [Fotografía].
<https://www.xn--lamaana-7za.uy/opinion/ley-que-garantiza-voto-de-personas-con-discapacidad-motriz-se-aplicara-en-elecciones-nacionales-del-27-de-octubre/>
- Leonardo Mainé. (2024). *Mujer sostiene un sobre de votación* [Fotografía]. El País.
<https://www.elpais.com.uy/informacion/politica/cuando-se-van-a-conocer-los-resultados-de-las-elecciones-internas-2024-esto-preve-la-corte-electoral>
- Ministerio del Interior de la República Oriental del Uruguay. (2024, 25 de octubre). *Cerca de 6.000 policías se encargarán del operativo de seguridad para las elecciones nacionales.*
<https://www.gub.uy/ministerio-interior/comunicacion/noticias/cerca-6000-policias-se-encargaran-del-operativo-seguridad-para-elecciones>
- Sitio oficial de la República Oriental del Uruguay. (2024, 11 de diciembre). *Credencial cívica.*
<https://www.gub.uy/tramites/credencial-civica>

Wikipedia. (2025). *WSGI*.

<https://es.wikipedia.org/wiki/WSGI#:~:text=La%20Interfaz%20de%20Pasarela%20del...>