



VI. Pruebas del sistema

El PREP 2000 debía garantizar la seguridad, transparencia, confiabilidad e integridad de la información en todas sus fases; concluir el diseño e integración total del programa, con suficiente anticipación para realizar las pruebas y simulacros necesarios que garantizaran su correcto funcionamiento antes, durante y después de la jornada electoral, y difundir el mismo día resultados fehacientes y oportunos de la elección, integrados y validados de forma tal que la transparencia y la legalidad fueran incuestionables por parte de los diversos actores políticos. Para esto se trabajó fuertemente en la fase de pruebas, se evaluaron todos los elementos del modelo, simulando la operación del día de la jornada electoral.

Las pruebas tenían como objetivos:

- Evaluar:
 - Integralmente los elementos del modelo PREP 2000.
 - Cada una de las partes que interactuaban en el modelo.
 - El resultado de la capacitación del recurso humano.
- Reforzar el entrenamiento mediante la simulación de la jornada electoral.
- Detectar posibles fallas para su inmediata corrección.
- Realizar pruebas de volumen y de funcionalidad de todos los componentes.
- Estimar tiempos de captura, transmisión, procesamiento y difusión de datos.
- Simular fallas para observar el comportamiento del modelo.
- Identificar posibles mejoras al modelo.
- Evaluar la prueba.

El modelo general del PREP 2000 se conformaba por cuatro grandes elementos que se podían probar integralmente y por separado:

- a) Captura: involucraba todo lo relacionado con la captura de votos desde los CEDAT y la logística necesaria.
- b) Transmisión: integración de los paquetes de datos, desde que salían de los CEDAT hasta que llegaban al servidor de accesos instalado físicamente en el centro de cómputo del PREP 2000 (CENARREP I).
- c) Procesamiento: desde que el paquete de datos ingresaba al centro de cómputo, se le aplicaban los procedimientos respectivos de acuerdo a lo establecido por el Código Federal de Instituciones y Procedimientos Electorales (COFIPE) y era consolidado en una base de datos para su conteo. Involucraba también la replicación al centro alterno de procesamiento.
- d) Difusión: significaba la extracción de los datos, su sumarización y la generación de procesos necesarios para difundirlos, tanto para la red interna del Instituto como para Internet a través de los proveedores autorizados para tal efecto.

Pruebas en la captura

Pruebas de aplicativo TC y TCR

Para el correcto funcionamiento de las terminales tanto controladora como de captura junto con el aplicativo PREP 2000, se realizaron diversas pruebas con los fines específicos siguientes:

1. Probar la funcionalidad conforme al diseño de la aplicación de las TC y TCR. Para la prueba fue necesaria la instalación de un CEDAT en el sótano del edificio "C" en las instalaciones del IFE, en el cual se aplicaban dos tipos de pruebas:
 - a. Pruebas unitarias. Se instaló una TC con una TCR, un *sniffer* de línea telefónica en una PC, que era el programa para monitorear la información que estaba siendo transmitida. Se crearon diferentes escenarios de prueba para cada una de las especificaciones esperadas; en caso de detectar un error u omisión, se reportaba de inmediato al área de desarrollo para TC y TCR.
 - b. Pruebas de volumen. Para este tipo de pruebas se conectó una TC con 16 TCR, se creó un *set* de datos para la captura y se requirió de 16 capturistas, para recrear una condición extrema en un CEDAT.
2. Probar la integración operativa de los componentes del PREP 2000 con su aplicación de forma simultánea, para lo cual se hicieron pruebas con las primeras versiones

del aplicativo con el objeto de integrar lo que fuese necesario para que la comunicación entre dichos elementos fuera correcta.

Pruebas en la transmisión

Pruebas de comunicación con el sistema PREP 2000

Estas pruebas se realizaron para asegurar la integración de varios elementos: terminales controladoras, servidor de acceso y aplicativo. Se llevaron a cabo de la siguiente manera:

- a. Pruebas de integración entre la terminal controladora y el medio de comunicación encargado de contestar las llamadas de todas las terminales conectadas en cada punto de la República (*Total Control*).

Las primeras pruebas realizadas con los equipos fueron referentes al envío de paquetes de datos desde una controladora hasta el equipo *Total Control* y que este último entregara paquetes TCP/IP dentro de los cuales encapsulaba protocolo VISA. Dicha prueba fue de importancia para el conocimiento de las características, funcionalidades y configuración del equipo. Se pudieron detectar y solucionar problemas en las señales de la transmisión como paridad, de negociación de la comunicación, de intercambio de señales (como ACK y NACK), etcétera.

La prueba consistió en el envío de un paquete de datos directamente al equipo y su recepción por una aplicación simple que espera a que le lleguen datos en un puerto TCP configurable (8,081 en este caso). La TC se conectó a una línea telefónica normal y marcó a un número conocido. Este número telefónico correspondía a una línea conectada directamente a una de las tarjetas "quad" del *Total Control*, cuya función era recibir la llamada y atenderla, de forma tal que la comunicación se estableciera sin problemas.

Mediante el uso de varios programas para monitorear la información que viaja a través de un medio de comunicación (en línea telefónica, en el *Total Control* y en el equipo de procesamiento) se pudo detectar el envío y formato del paquete de datos, dando como resultado la primera configuración preliminar del equipo, así como la del programa que espera datos en el puerto TCP y la configuración de la terminal controladora.

- b. Pruebas de integración con terminal controladora, utilizando las tarjetas de modem (tarjetas *Hyper DSP*) del propio equipo *Total Control*.

Una vez que las tarjetas *Hyper* estuvieron listas y con la memoria suficiente se procedió a la prueba. El detalle aquí fue que no se pudo utilizar la línea telefónica

directamente como en el caso anterior. Para solventar este problema se decidió tener conexiones *espalda con espalda* de dos equipos, uno al que se le marcaba normalmente y otro que habilitaba la comunicación TCP/IP.

- c. Pruebas de carga de las tarjetas *Hyper* DSP. Una vez que el equipo se tuvo *espalda con espalda*, se pensó en probar cada uno de los modems de cada tarjeta *Hyper* (en total, el equipo tuvo seis tarjetas con 30 modems cada una). Dada la dificultad de poner 180 terminales TC para probar cada modem y suministrar carga al equipo, se optó por una solución de *software*.

Esta última opción consistió en la programación de una aplicación que simulaba el comportamiento de las terminales controladoras (TC), la negociación en la comunicación del modem y el protocolo *VISA*, y el manejo de las respuestas por parte del *Total Control* y del aplicativo.

La programación en C de dicha aplicación, en tiempo, resultaba complicada, por lo que se decidió el uso de *expect*, que es un intérprete que sirve para la automatización de procesos interactivos. De esta manera se probaron 180 modems correspondientes a cada equipo *Total Control* adquirido y se simuló una carga al 100% para cuatro tarjetas.

- d. Pruebas de comunicación con aplicación. Configurado el equipo *Total Control*, las TC y probados sus componentes, sólo restaba culminar la programación de la primera parte del sistema PREP 2000, en donde la funcionalidad básica era la recepción del paquete de datos por un puerto conocido y configurable y su paso a las rutinas de validación y consolidación en base de datos, así como dar la respuesta a la terminal controladora que originaba el mensaje. Las pruebas preliminares dieron pauta a la programación de dicha aplicación.

Pruebas en el procesamiento

El procesamiento es la parte fundamental de todo el sistema PREP 2000 y basa su operación en la integración tecnológica de varios componentes, por lo que se aplicaron pruebas a cada uno de los siguientes elementos:

- Ambiente de desarrollo Sun U450.
- Sistemas de cómputo Sun E3500 (en configuración PDB y HA).
- RDBMS *Oracle Parallel Server*.
- *Middleware* HA *Tuxedo*.
- Programación C++.

- Reglas institucionales, algoritmos y secuencias de recepción y procesamiento en general fueron programados en lenguaje C++, el cual resultó ser muy versátil, además de haber sido probado y utilizado en otros procesos electorales (1997) con resultados exitosos.

Las pruebas se llevaron a cabo por la parte técnica y se verificó la instalación, la configuración y el desempeño. Todas las pruebas realizadas al sistema PREP 2000 debían evaluar propiedades como:

- *Atomicidad*: que la transacción sea indivisible en lo que se refiere a la afectación de la información. Si la transacción está formada por más de una operación de afectación, el monitor asegura que ambas operaciones modifican la base de datos o que si alguna de las operaciones falla no afecte el proceso.
- *Consistencia*: si la transacción a ejecutar crea nuevos estados o genera datos adicionales y falla, se debe asegurar que toda la información regrese al estado original antes de la afectación.
- *Aislamiento (Isolated)*: una transacción en proceso y que aún no ha finalizado se mantiene aislada de cualquier otra.
- *Durabilidad*: el estado en que se deja la información una vez que la transacción ha operado sobre ella queda de manera permanente y en forma correcta y consistente.

En lo referente al desarrollo del aplicativo se realizaron diferentes pruebas para constatar la correcta operación de rutinas y procedimientos que formaban parte del sistema, las cuales fueron clasificadas de la siguiente manera:

a. Pruebas unitarias

De manera similar a las pruebas unitarias aplicadas al *software* de TC y TCR, las del sistema involucraron cada una de las funciones por cada tipo de transacción, es decir, cada una de las diferentes entradas que el sistema esperaba procesar fueron alimentadas a éste, de forma tal que se esperara el resultado establecido conforme al análisis y diseño. Junto con esto, reflejaban el correcto funcionamiento de flujo de datos que debería existir entre cada una de las funciones y servicios involucrados.

Para este tipo de pruebas, que integraba el uso de las terminales de captura y equipo de comunicaciones, a nivel de *software*, se desarrolló un pequeño programa que enviaba transacciones específicas a los servicios *socket* o de entrada al sistema. Todas estas pruebas fueron realizadas en el ambiente de desarrollo.

El análisis de los resultados detectó en cada una de las etapas de desarrollo los posibles errores potenciales que la aplicación tenía.

b. Pruebas de volumen

Para estas pruebas se plantearon varios escenarios:

- La utilización de un *software* denominado “bombardero”, que básicamente alimentaba de transacciones a cada uno de los servicios Tuxedo a través de la misma red; las transacciones eran leídas de un archivo, formateadas por el programa y transmitidas a puertos específicos (12 en total por nodo de *cluster*). La prueba que se realizó dividía en 12 archivos diferentes aproximadamente 113,000 transacciones, las cuales eran procesadas (en el mejor de los tiempos) en 30 minutos.
- Para el uso de terminales TC y TCR de bombardero o autómatas, se armó un CEDAT completo, el cual involucraba una TC y 16 TCR. Cada TCR tenía instalado un programa que generaba transacciones de forma automática, las cuales eran transmitidas sin la intervención de alguna persona hacia la aplicación PREP 2000 a través de la TC. Gracias al uso de este programa fue posible la detección de problemas en la programación de las propias TCR y TC.

c. Pruebas integrales

La integración de todos los componentes representó una de las mayores actividades dentro del proceso, ya que no sólo involucraba las configuraciones unitarias de cada uno de los elementos participantes, sino que era necesaria la operación entre ellos. Las pruebas de integración se realizaron con el siguiente orden:

- I. Integrar la TCR con TC, es decir, el armado del CEDAT, el correcto funcionamiento entre la terminal de captura y la controladora dentro de su misma red de datos.
- II. Integración TC y *Total Control*, esto es, que la transmisión de la transacción capturada sea llevada a cabo sin mayor problema. Esto involucraba el marcado del número telefónico especificado, negociación de la comunicación de los modems, habilitación de la comunicación y respuestas conforme a protocolo VISA.
- III. Integración *Total Control* y aplicación de recepción de datos. Básicamente significó la correcta programación del servicio para que esperara datos en un puerto conocido (de acuerdo a la configuración del *Total Control*) y una dirección IP válida. Las respuestas conforme a protocolo VISA que el *Total Control* debía enviar a la TC.

- IV. Integración TC, *Total Control* y aplicación de recepción de datos. Una vez que todas las partes podían “conversar” sin ningún problema, se pasó a integrar dichos elementos, cuya unión no fue sencilla debido a las diversas configuraciones participantes.
- V. Integración procesamiento-difusión. Con los datos almacenados en la base (ORACLE) se procedió a su difusión y frecuencia de actualización cada cinco minutos, hasta llegar al punto en que el proceso fuese fluido.
- VI. Integración difusión-proveedores de Internet autorizados. Armado ya el paquete de difusión se explicaba a cada proveedor el proceso de extracción, y en algunos casos se apoyó en las configuraciones de sus servidores *Web* respectivos para lograr una correcta difusión.

Pruebas nacionales

Se instrumentó un esquema de pruebas nacionales que consistió en la integración de todos los elementos tanto técnicos como de operación, logísticos y de coordinación, para simular la forma de operación que se tendría en la jornada electoral.

Para ejecutar estas pruebas se debía realizar un plan referente a todos los elementos que interactuaban en el programa, que contemplara tanto recursos tecnológicos como humanos. Esto permitiría establecer métricas de evaluación y comparación entre los resultados esperados y los obtenidos. Se contemplaban los requerimientos necesarios: la mecánica de ejecución de la prueba e identificación de los riesgos inherentes.

Se planteó la realización de cuatro pruebas nacionales, la primera el cuatro de junio y la última el 25 del mismo mes. Debido a que se trataba de un simulacro, las condiciones deberían ser casi idénticas a las que se tendrían durante la jornada, es por eso que las pruebas se realizarían cada domingo de junio, por lo que se planteó un esquema que incrementaba la funcionalidad en etapas, y en cada una de ellas se probaban elementos y/o componentes específicos de todo el proceso. Se realizaron ocho etapas, dos en cada prueba.

Descripción de las etapas del plan de pruebas

Etapa I: Prueba integral de aplicación PREP 2000.

Objetivos:

- Integrar todos los elementos de tecnología del proyecto.

Programa de Resultados Electorales Preliminares (PREP)

- Verificar la funcionalidad de las terminales de captura y sus elementos.
- Verificar la funcionalidad del aplicativo PREP 2000 en lo referente a:
 - a) Recepción de paquetes de datos.
 - b) Procesamiento de datos.
 - c) Difusión de la información.

Alcances:

- Ningún procedimiento de *fail over* estaba contemplado en esta prueba, esto es, se simularía un ambiente sin problemas y con todos los equipos funcionando normalmente. No se contempló ningún caso de contingencia.
- Realizar el proceso completo de captura de actas que involucraba el alta normal, baja, modificación de datos y esperar el procesamiento adecuado de acuerdo a lo planeado.
- Verificar todas y cada una de las etapas del proceso en CENARREP I y II: recepción de transacciones, registro en LOG, replicación, procesamiento, extracción, generación de archivos para difusión (medios, proveedores de Internet, carpa y partidos; un equipo de cómputo por cada uno), transferencia de datos y difusión (cada cinco minutos).
- Verificar todos los procesos normales de captura, transmisión, procesamiento y difusión, así como sus componentes involucrados.

Etapa II: Procedimiento de *fail over* de *software* base y aplicativo.

Objetivos:

- Verificar los procedimientos de *fail over* de:
 - a) Aplicativo PREP 2000
 - b) RDBMS Oracle
 - c) HA Tuxedo

Alcances:

- Verificar el procedimiento de *fail over* para el RDBMS Oracle simulando fallas de acceso a disco.
- Verificar el procedimiento de *fail over* de HA Tuxedo simulando fallas de nodos, interrupción de servicios bajo la capa de Tuxedo, errores de replicación.

Etapa III: Procedimiento de *fail over* en equipos de cómputo para procesamiento y comunicaciones.

Objetivos:

- Verificar los procedimientos de *fail over* de:
- RAS 3COM *Total Control*.
- Equipos PDB de cada CENARREP.
- Equipos HA de cada CENARREP.
- Consolas de operación y alarmas.

Alcances:

- Verificar los procedimientos desarrollados ante caso de contingencia. Para tal efecto se propuso iniciar con un funcionamiento normal de todos los equipos e ir simulando las fallas para la verificación de cada punto de *fail over*, solamente en lo que respecta al equipo en su *hardware*, por ejemplo:
 - a. Simulación de falla de una de las interfaces del equipo RAS y verificar la funcionalidad de la unidad alterna.
 - b. Simulación de falla de un equipo RAS y verificar las reconexiones necesarias a los equipos alternos.
 - c. Simulación de falla de dos equipos RAS y verificar las reconexiones necesarias a los equipos alternos.

Etapa IV: Procedimiento de *fail over* para equipos y procesos de difusión y carpas.

Objetivos:

- Verificar el procedimiento de *fail over* que involucra el flujo de datos para difusión, desde su generación en equipos PDB y HA.
- Verificar los procedimientos de *fail over* que involucran los equipos relacionados con la difusión de resultados, incluyendo medios, partidos políticos, carpas, servidores *Web*, servidor de correo electrónico, entre otros.

Alcances:

- Simular fallas en equipos PDB, HA y de difusión para probar procedimiento de *fail over* en flujo de datos, así como la verificación de los tiempos de recuperación de servicios de difusión Tuxedo, y tiempo total de difusión (desde generación hasta difusión) ante eventualidades.

Etapa V: Procedimiento de *fail over* ante fallas en comunicaciones.

Etapa VI: Esquema de soporte y procedimiento de reporte de fallas en carpas.

Objetivos:

- Verificar los procedimientos de *fail over* ante casos de ausencia parcial y total de enlaces y/o equipos de comunicaciones.

Alcances:

- Simular fallas entre los enlaces y equipos de comunicaciones:
 - a) Enlaces EI entre CEDAT y CENARREP
 - b) Nodos (PDB y HA)
 - c) CENARREP
 - d) Centros de procesamiento y difusión

Etapas VII y VIII: Pruebas finales.

Alcances:

- Revisión de los procedimientos de operación del centro de cómputo principal y alterno:
 - UPS. Simulación de una falla de energía eléctrica y observar la respuesta de los UPS ante tal eventualidad.
 - Las pruebas de *fail over* de terminales controladoras y de captura, consideradas dentro del esquema de pruebas unitarias o nacionales.
 - Rutas alternas de comunicación.
 - Alarmas en consolas de operación. Pruebas de todo tipo de alarmas y umbrales (programadas para cada componente) para su funcionamiento correcto ante las eventualidades propuestas o programadas.
- Procedimientos manuales u operación no automatizada que no incluye equipos o sistemas de cómputo pero que impactan directamente en ellos, como por ejemplo:
 - Sustitución manual de equipos ante falla irreparable.
 - Sustitución de fuentes, cables, conexiones, entre otros, que pudieran resultar dañados ante casos de contingencia.
 - Reinicialización de *software* en aplicación Java Station, *Web server*, entre otros.

Cada prueba tenía como objetivo analizar diferentes situaciones posibles durante el proceso:

- Operación normal: la prueba no contemplaba ningún escenario de falla o error.
- *Fail over* de equipos de cómputo: Se simulaba la falla de los siguientes componentes en el sitio Tlalpan: falla en nodo *cluster*_{HA}, en el nodo *PDB*, y en arreglos de disco llegando hasta apagar uno de los *UPS* que abastecía de energía a los equipos que fueron apagados.
- *Fail over* proceso de difusión: se simularon fallas en los nodos de los *cluster*_{HA} para verificar los procesos alternos de difusión, incluyendo a los *ISP*.
- Esquemas de replicación de información: En algunas pruebas se pusieron en marcha los esquemas de replicación de información entre centros, con el objeto de validar dicha funcionalidad.

La calendarización de las pruebas se estableció de la siguiente forma:

| Prueba | Fecha | Actividades Generales |
|-------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1ª nacional | 4 - Junio - 2000 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Prueba de captura de actas, sin contemplar esquemas de <i>fail over</i>. |
| 2ª nacional | 11 - Junio - 2000 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Prueba de captura de actas contemplando esquemas de <i>fail over</i> de equipos de cómputo. ▪ Prueba sin replicación utilizando un solo centro de cómputo (Tlalpan). ▪ Prueba de sistema de difusión Intranet y carpas. |
| 3ª nacional | 18 - Junio - 2000 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Prueba de captura de actas, sin contemplar esquemas de <i>fail over</i>. ▪ Prueba de sistema de difusión Intranet y carpas (nuevas versiones). |
| 4ª nacional | 25 - Junio - 2000 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Prueba de captura de actas, sin contemplar esquemas de <i>fail over</i>. ▪ Prueba de sistema de difusión Intranet y carpas (nuevas versiones). ▪ Pruebas de <i>fail over</i> de difusión. |

Mecánica de las pruebas nacionales

Las pruebas se llevaron a cabo en un ambiente similar al de la jornada electoral, por lo cual la captura de actas se hizo desde los CEDAT, con el fin de reforzar el entrenamiento y evaluar la captura realizada. Se propuso la realización de dos ciclos en cada prueba, con duración aproximada de seis horas cada una. Para esto se requirió de la logística y del personal necesario para sincronizar correctamente cada evento.

Se desarrolló un *set* de pruebas que debía ser igual a las actas a capturar el día de la jornada electoral. Los *sets* de actas de pruebas que se generaron fueron de 1,000 a 1,600 por cada CEDAT; se enviaron impresos a los diferentes distritos para su captura simulando el volumen de actas esperado.

Se generó también un juego de tarjetas magnéticas de prueba para cada CEDAT, ya que era necesario deslizar tarjetas con banda magnética para identificar a los supervisores, coordinadores y capturistas que operarían las terminales. Estas tarjetas de pruebas nacionales fueron garantía para que el personal supiera hacer uso de las mismas el día de la elección.

Los CEDAT se daban de alta y así comenzaba la captura de actas para las pruebas nacionales. Se verificaron todos los aspectos planteados para cada una de las etapas.

Pruebas adicionales

Además de las cuatro pruebas nacionales ya mencionadas, fue necesario la implementación de más pruebas con el objetivo de verificar la conexión entre los CEDAT y el CENARREP así como la transmisión de datos.

En total se realizaron 18 pruebas, algunas fueron parciales debido a que aún no se contaba con el equipo en todos los CEDAT. Fue el domingo 11 de junio cuando se efectuó la primera prueba con todo el quipo, se instaló un programa “monitor” para dar seguimiento a los equipos conectados, y se trabajó en coordinación con la Comisión Federal de Electricidad y la Compañía de Luz y Fuerza del Centro para resolver cualquier contingencia de energía eléctrica que pudiera presentarse el dos de julio.

Posteriormente, se programó una prueba de volumen para verificar el buen funcionamiento de los equipos de comunicación y administración de la información *Total Control*, se conectaron las controladoras y terminales de captura remota al CENARREP y lo “bombardearon” de información. Se realizaron otras pruebas: de conexión

y captura de actas, del sistema de difusión Intranet y carpas, de procedimiento, en donde cada figura del CEDAT representó su función dentro de la operación. Se identificaron los problemas operativos y algunos técnicos (TC, TCR e impresoras) que se presentaban con mayor frecuencia y la forma de solucionarlos.

Las dificultades reportadas y que se solucionaron en las pruebas se clasificaron en problemas en la operación del equipo, en la infraestructura y en el procedimiento:

a) Problemas en la operación del equipo:

- La c de “*conexión*” de la Terminal Controladora aparecía y desaparecía. Esto indicaba que la comunicación entre el CEDAT y el CENARREP se interrumpía con frecuencia;
- “Conectando al *host*”, la TC no podía establecer comunicación con el CENARREP;
- Las TCR no se podían inicializar;
- En la pantalla de las TCR aparecía el mensaje “*ram defect*” o *pérdida de la memoria*;
- La impresora no imprimía correctamente;
- Se perdía la cola de impresión;
- No se imprimió algún recibo, y
- El UPS generaba un falso contacto en el puerto para la línea telefónica.

b) Problemas de infraestructura:

Las líneas telefónicas tenían demasiado ruido y la instalación eléctrica en los CEDAT presentaba polaridad invertida, variaciones de voltaje o falta de tierra física.

c) Problemas de procedimiento:

- Inicialización del equipo en modo capacitación;
- Bloqueo de las TCR en modo capacitación;
- Falta de exactitud en la captura, ya que el capturista no se fijaba en la cantidad escrita con letra y únicamente capturaba el dato numérico, y
- El verificador no detectaba los errores de captura.