

Máquina de Estado Finito para Soportar el Intercambio de Mensajes en el Protocolo de Señalización de la Capa ISUP, del Sistema SAT-ISUPSS7

Ana Morales¹, Antonio Silva Sprock², Ricardo Gutiérrez¹
 ana.morales@ciens.ucv.ve, antonio.silva@ciens.ucv.ve, ricardo.ucv@gmail.com

¹ Laboratorio ICARO, Escuela de Computación, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela

² Centro CISI, Escuela de Computación, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela

Resumen: Este trabajo presenta el desarrollo de una máquina de estado finito, que define y describe el conjunto de estados y transiciones que soportan el establecimiento, mantenimiento y finalización de llamadas telefónicas, en centrales telefónicas que implementan el protocolo de señalización SS7. Esta máquina de estado finito, permite soportar y validar el correcto funcionamiento del Sistema Analizador de tramas de la capa ISUP, SAT-ISUPSS7 desarrollado previamente por Morales, Silva y Gutiérrez. En este trabajo se describen, el conjunto de estados y todas las posibles transiciones, partiendo del intercambio de mensajes ISUP. La máquina de estado finito fue validada a través de un modelo desarrollado con la ayuda de las Redes de Petri Coloreadas y CPN Tools.

Palabras Clave: Máquina de Estado Finito; SS7; ISUP; SAT-ISUPSS7; Estados; Transiciones.

Abstract: This paper presents the development of a finite state machine, which defines and describes the set of states and transitions that support the establishment, maintenance and termination of telephone calls, telephone exchanges in implementing the SS7 signaling protocol. This finite state machine, can support and validate the correct operation of the Analyzer System frames ISUP, SAT-ISUPSS7 layer previously developed by Morales, Silva and Gutierrez. This paper describes the set of states and all possible transitions, starting from ISUP message exchange. The state machine was validated through a model developed with the help of Colored Petri Nets and CPN Tools.

Keywords: Finite State Machine; SS7; ISUP; SAT-ISUPSS7; States; Transitions.

1. INTRODUCCIÓN

Las empresas de telefonía, soportan comunicaciones a gran escala (tanto nacionales, como internacionales). En función de esto, las mismas deben asegurar el fiel cumplimiento de las normas establecidas en los acuerdos de servicio (*Service Level Agreement*, SLA) regulados por los entes gubernamentales de cada país. En consecuencia, se realizan mediciones del servicio, para garantizar su cumplimiento, así como para medir el consumo de cada abonado y realizar su posterior facturación. Para ello se definen umbrales que miden la calidad del servicio prestado con indicadores críticos de desempeño (*Key Performance Indicators*, KPI) que son monitoreados constantemente para asegurar el cumplimiento de la norma.

Un factor crítico dentro de la administración de los servicios de telefonía, es el proceso de facturación, ya que incide de forma directa en la percepción del servicio del cliente final. En este punto, la precisión de los sistemas de medición y registro de las llamadas telefónicas es crucial para la correcta elaboración de los registros de llamadas (*Call Detail Record*, CDR), pues éstos son el insumo que alimenta en el proceso de facturación.

Un inconveniente muy común en la operación de centrales telefónicas públicas, surge cuando existen diferencias importantes entre las trazas de control y los CDR. Esto ocurre en gran medida, por incongruencias en la medición y registro de las llamadas realizadas entre centrales de múltiples

fabricantes o proveedores que pueden llegar a pertenecer a diferentes operadoras de telecomunicaciones.

Así mismo, el proceso de medición se puede ver afectado por errores de implementación de los protocolos de señalización utilizados en las centrales telefónicas; por ejemplo, si un usuario finaliza una llamada y la señal de finalización no es interpretada correctamente por las centrales telefónicas involucradas, entonces es probable que el canal de comunicación quede abierto, generando una medición incorrecta y por ende una facturación errada al abonado final.

Un número importante de operadoras de servicios de telefonía implementan el Sistema de Señalización 7 (SS7) [1], [2], desarrollado y definido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T, por sus siglas en inglés) [3], como protocolo de control y señalización de las centrales telefónicas.

La función principal de SS7 es proporcionar control de llamadas, gestión remota de la red, y capacidades de mantenimiento para la red de telefonía entre diferentes centrales. SS7 realiza estas funciones mediante el intercambio de mensajes de control entre centrales telefónicas SS7 (puntos de señalización o SP), y los puntos de transferencia de señalización SS7 (STPS). El protocolo SS7 define la capa ISUP (parte de usuario de la red digital de servicios integrados, RDSI) como la parte usuario de la RDSI (PU-RDSI) [4], [5],

[6] que proporciona las funciones de señalización que soporta el servicio portador básico.

Documentos previos sobre el protocolo SS7 [3], [4], han permitido determinar que el mismo es un estándar sumamente complejo y denso, conformado por decenas de documentos, por lo cual resulta sumamente difícil llevar a cabo una implementación completa del mismo, sin que se incurra en errores involuntarios, o implementaciones incompletas de parte de los fabricantes de tecnologías de centrales telefónicas.

A lo largo de la investigación los autores no lograron encontrar bibliografía publicada sobre trabajos previos, que se hayan dedicado a estudiar el protocolo de la capa ISUP, más que la propia documentación publicada por la ITU-T sobre el protocolo [3], [4], [5], [6]. En función de esto, en Morales, Silva y Gutiérrez [7], se presenta el desarrollo de un sistema analizador de trazas de control del protocolo de señalización SS7 (SAT-ISUPSS7). Este sistema permite analizar tramas capturadas entre centrales telefónicas en diferentes puntos de la red, y entre diferentes operadores. Permite obtener reportes de comportamiento, y permite detectar llamadas válidas e inválidas, en archivos de hasta para 10.000 tramas, así como elaborar los reportes de comportamientos y de llamadas, para ser entregados al grupo encargado de los CDR y de la facturación. Este análisis permite solventar inconvenientes o diferencias que puedan surgir, en la operación de centrales telefónicas que manejen gran volumen de tráfico.

El trabajo presentado en [7] permitió definir los diagramas de secuencia de caracteres (*Message Sequence Chart, MSC*), correspondientes a las secuencias de ocurrencias válidas e inválidas de intercambio de mensajes ISUP, estos diagramas permitieron a los autores determinar el estado de tales mensajes, y las correctas transiciones entre estado y estado. Partiendo de tales MSC (Ver Figura 1), posteriormente se utilizaron para construir el algoritmo de análisis de tramas, y su implementación en el Sistema.

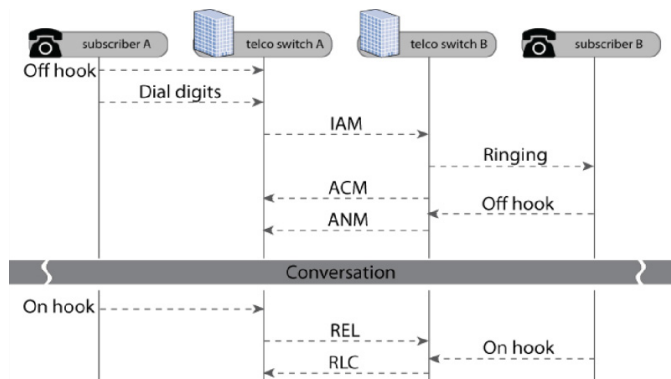


Figura 1: MSC de Intercambio de Mensajes ISUP [7]

Las máquinas de estado finito, juegan un factor fundamental en la implementación de los servicios debido a que basado en un estándar específico, se definen las transiciones posibles y cambios de estados en las llamadas que son reconocidas por las centrales telefónicas. En gran medida, estos estados representan las banderas lógicas a seguir en los procesos de facturación de llamadas.

En función de la experiencia desarrollada en [7], este trabajo presenta la propuesta de una máquina de estado finito (*Finite State Automaton, FSA*), que represente el intercambio de los mensajes de control y señalización de la capa ISUP de SS7, entre diversas centrales telefónicas que se comunican, con el objeto de validar los estados definidos en el algoritmo utilizado para el análisis de tramas ISUP desarrollado en [7], utilizando como insumo base los diagramas MSC, y los resultados satisfactorios de análisis presentados en [7].

Este trabajo ha sido organizado de la siguiente forma. En la Sección II se presenta una breve descripción del Sistema de Señalización SS7 y de la capa ISUP. En la sección III se describe la construcción de la máquina de estados finito propuesta, finalmente en la sección IV se presentan las conclusiones.

2. SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN 7 (SS7)

El Sistema de Señalización 7 (SS7) es un estándar global de las telecomunicaciones que permite el control, la administración y la gestión de redes de telecomunicaciones, para lograr la interconexión entre troncales, portadoras y carriers [2]. Es un sistema de señalización robusto que otorga el control interno, y la inteligencia esencial en una Red Digital de Servicios Integrados (*Integrated Services Digital Network, ISDN* [8]). SS7 define una Arquitectura de protocolos estructurada en cuatro niveles de señalización, donde las unidades de control son los mensajes transportados sobre paquetes.

La señalización es una herramienta para establecer canales de control, y permite gestionar la red para la realización de llamadas, mediante la transferencia de información en las diferentes redes de comunicaciones que se encuentran enlazadas. Está constituida por un conjunto de estándares que permiten la operatividad de las redes entre diferentes entidades. Estas brindan transporte e intercambio de información entre el abonado y los conmutadores, entre los conmutadores entre sí, y entre los conmutadores y el centro de gestión de red, permitiendo de esta forma una optimización hacia y desde el abonado final.

Algunos ejemplos de aplicaciones soportadas por SS7 son [2]: Red de Telefonía Pública Conmutada (*Public Switched Telephone Network, PSTN*), ISDN para voz y datos, redes de bases de datos, servicios móviles, administración de operaciones y mantenimiento de redes. En la implementación de redes con SS7 podemos mencionar las siguientes funcionalidades:

- Iniciación básica de una llamada, administración, tarifación y terminación.
- Servicios de valor agregado para la telefonía.
- Administración de red.
- Manejo de la congestión y prioridades para calidad de servicio.
- Servicios inalámbricos de telefonía celular.
- Portabilidad del número local (*Local Number Portability, LNP*).

- Gestión a nivel de base de datos entre elementos de red (Network Elements, NE).
- Mecanismos de seguridad y administración de la red de telecomunicaciones

2.1 Estructura de SS7

La estructura de SS7 se basa en el Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (*Open System Interconnection, OSI*), y presenta cuatro capas para optimizar el tiempo de procesamiento [9]. El objetivo principal de esta implementación es garantizar, y resguardar en gran medida la información de señalización, para que no se pierda el mensaje que se procesa en los centros de conmutación, aun cuando existan problemas en la red de transporte. La Figura 2 muestra los niveles de la pila de protocolos utilizados en SS7.

Las capas que conforman esta pila de protocolos son: capa física (*Message Transfer Part Level 1, MTP-1*); capa enlace de señalización (*Message Transfer Part Level 2, MTP-2*); capa de red de señalización (*Message Transfer Part Level 3, MTP3*); capa de control de la conexión de señalización (*Signaling Connection Control Part, SCCP*); capa de la parte de usuario ISDN (*ISUP*); capa parte de usuario de teléfono (*Telephone User Part, TUP*); capa de capacidades de transacción para la aplicación (*Transaction Capabilities Application Part, TCAP*); capa de operaciones, mantenimiento y administración (*Operations, Maintenance, and Administration Part, OMAP*).

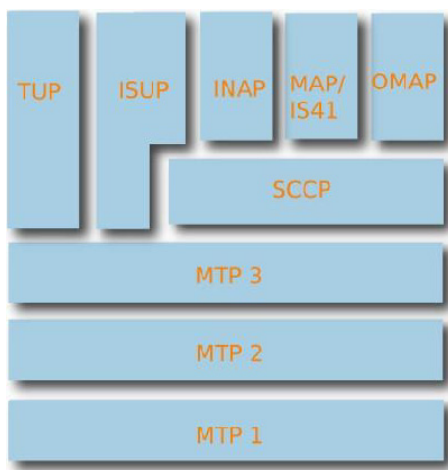


Figura 2: Pila de Protocolos SS7 [7]

En este trabajo la capa objeto de estudio es la capa ISUP, la cuál será desarrollada en la siguiente sección.

2.2 Parte de Usuario de la Red Digital de Servicios Integrados (ISUP)

La parte usuario de la RDSI (PU-RDSI) en SS7, proporciona las funciones de señalización, para soportar el servicio portador básico, así como para servicios suplementarios para aplicaciones de voz y datos en una red digital de servicios integrados [6]. Esta capa utiliza los servicios proporcionados por la MTP, y en algunos casos por la SCCP para la transferencia de información entre partes usuario de la RDSI.

La Recomendación Q.764 [5] describe específicamente los protocolos y procedimientos asociados al establecimiento y liberación de conexiones nacionales, e internacionales RDSI.

Los procedimientos de gestión de las conexiones utilizan un intercambio de mensajes ISUP para controlar el flujo de las llamadas, cada procedimiento tiene definido un diagrama de secuencia de caracteres (MSC) que indica la secuencia de los estados de una llamada, y los mensajes que puede procesar en dicho estado. Bajo estas definiciones se establece el protocolo que permite realizar conexiones entre centrales telefónicas con señales de control mediante mensajes ISUP.

2.3 Implementación de SS7

La implementación de SS7 se compone de dos partes fundamentales para realizar las tareas de señalización.

a) *Parte de Transferencia de Mensajes (MTP)*: constituye un medio de transporte de mensajes independiente de las partes de usuario. La interfaz de servicio con las partes de usuario se describen por medio de primitivas y parámetros; los usuarios de la MTP son la SCCP, parte de usuario de teléfono (Telephone User Part, TUP), parte de usuario de datos (Data User Part, DUP) e ISUP.

b) *Partes de Usuario con Tareas Específicas (UP)*: constituyen el nivel 4 del sistema SS7, y controla el establecimiento y la disolución de comunicaciones por canales, la gestión de servicios de valor agregado y las funciones de gestión y mantenimiento de canales. Comprenden en cada caso las funciones, protocolos y codificaciones necesarias para la señalización con el sistema SS7.

En entornos de producción con gran volumen de llamadas, los mensajes ISUP pueden generarse de manera irregular, teniendo como consecuencia serios problemas a nivel de circuitos en las centrales telefónicas, de igual forma en los procesos de tasación de la llamada ya que su comportamiento es completamente irregular.

Un comportamiento irregular en éste contexto, has sido definido como aquella secuencia de ocurrencia de mensajes de control ISUP que no conllevan al establecimiento, mantenimiento y terminación de una llamada telefónica que permitan generar la correcta facturación de la llamada.

Proponer una máquina de estado finita que valide las correctas secuencias de ocurrencia del intercambio de los mensajes ISUP, partiendo de los diagramas MSC y el análisis de estos mensajes, es la motivación principal de este trabajo de investigación

2.4 Mensajes de Señalización ISUP

La capa ISUP de SS7 define la función y el formato de los mensajes generados en la parte de usuario. En la recomendación Q.764 [5] se definen tales tipos de mensaje. A continuación, se describen un subconjunto tales mensajes de señalización, involucrados en la gestión de las llamadas.

- Mensaje de Dirección Inicial (*Initial Address Message, IAM*). Contiene la información para el inicio de una llamada. Es el primer mensaje que se envía a la central destino durante el establecimiento de la comunicación.

- Mensaje de Dirección Subsecuente (*Subsequent Address Message*, SAM). Transporta las cifras marcadas aún no contenidas en el IAM
- Mensaje Completo de Dirección (*Address Complete Message*, ACM). Indica a la central emisora que se alcanzó la central de destino.
- Mensaje de Respuesta (*Answer Message*, ANM). Cuando el receptor contesta, el conmutador (Switch) destino concluye la emisión de tonos de timbrado, y envía un ANM al conmutador (Switch) origen. El Switch origen inicia la facturación.
- Mensaje de Progreso de Llamada (*Call Progress Message*, CPG). Es enviado en cualquier dirección durante la fase de puesta en marcha de la llamada, lo que indica que un evento ha ocurrido y debe ser transmitido al Switch de acceso de origen o de destino.
- Mensaje de Confusión (*Confusion Message*, CFN). Es enviado en respuesta a cualquier mensaje (distinto de un mensaje de confusión), si el nodo no reconoce el mensaje o detecta una parte del mensaje como siendo no reconocido.
- Mensaje de Conexión (*Connect Message*, CON). Es enviado en dirección final, indicando que todas las señales de dirección necesarias para el encaminamiento de la llamada a el abonado llamado ha sido recibida, y que la llamada ha sido contestada.
- Mensaje de Continuidad (*Continuity Message*, COT). Es enviado en la dirección inicial que indica si hay o no continuidad en el circuito anterior o anteriores, así como del circuito seleccionado para el siguiente intercambio.
- Mensaje de Rechazo de servicio (*Facility Reject Message*, FRJ). Es enviado en respuesta a un mensaje de solicitud de servicio para indicar que la solicitud de establecimiento ha sido rechazada.
- Mensaje de Información (*Information Message*, INF). Es enviado para transmitir información en asociación con una llamada, que puede haber sido solicitado en un mensaje de solicitud de información.
- Mensaje de Solicitud Información (*Information Request Message*, INR). Es enviado por un nodo para solicitar información en asociación con una llamada.
- Mensaje Información de Usuario a Usuario (*User to User Information Message*, USR). Se utiliza para el transporte de señalización de usuario a usuario independiente de los mensajes de control de llamada.
- Mensajes de Resumen (*Resume*, RES) o Suspensión (*Suspend*, SUS). Un RES o un SUS es enviado en uno u otro sentido indicando que la llamada o el abonado llamado, después de haber sido suspendido, se vuelve a conectar.
- Mensaje de Liberación del Canal (*Release Message*, REL). Inicia la disolución de la comunicación por el canal útil e indica la causa de la disolución.

- Mensaje de Liberación Completa (*Release Complete Message*, RLC). Con el RLC se indica el fin de la interconexión de un canal útil, y se confirma la recepción del REL. Se indica el fin de la llamada y de la tarificación.

2.5 Control de Procedimiento de Señalización

Existen una serie de procedimientos y primitivas definidas en la implementación de SS7 para el control del flujo de una llamada con mensajes ISUP, todos definidos por la ITU-T en las recomendaciones Q.764 del protocolo [10]. Los mensajes

ISUP, funcionan como eventos que disparan transiciones entre estados definidos en el protocolo para establecer comunicaciones. Las Figura 3 y Figura 4, muestran los diagrama de transición de estados para una llamada entrante y saliente respectivamente.

En las Figuras 3 y 4, es posible observar desde el estado inicial "0", etiquetado en la esquina superior izquierda de las elipses, cómo va fluyendo el envío de mensajes durante el establecimiento de una llamada. Para el caso de la Figura 2, el proceso inicia con el envío de un mensaje del tipo "IAM" y culmina con la recepción de un mensaje del tipo "RLC".

Partiendo de ésta de descripción obtenida desde los documentos de la especificación, y de los diagramas MSC desarrollados en [7], en los cuales se ilustra la señalización generada cuando el suscriptor "A" levanta el teléfono para comunicarse con el suscriptor "B", se pudo proponer una máquina de estado finito que represente todos los posibles estados por los cuáles pasan los mensajes ISUP durante el establecimiento de una llamada telefónica.

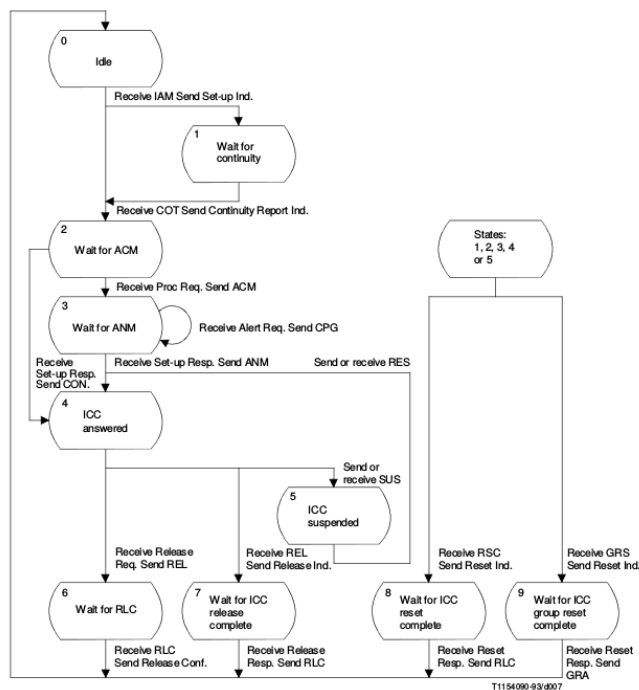


Figura 3: Diagrama de Transición de Estado para una Llamada Entrante [10]

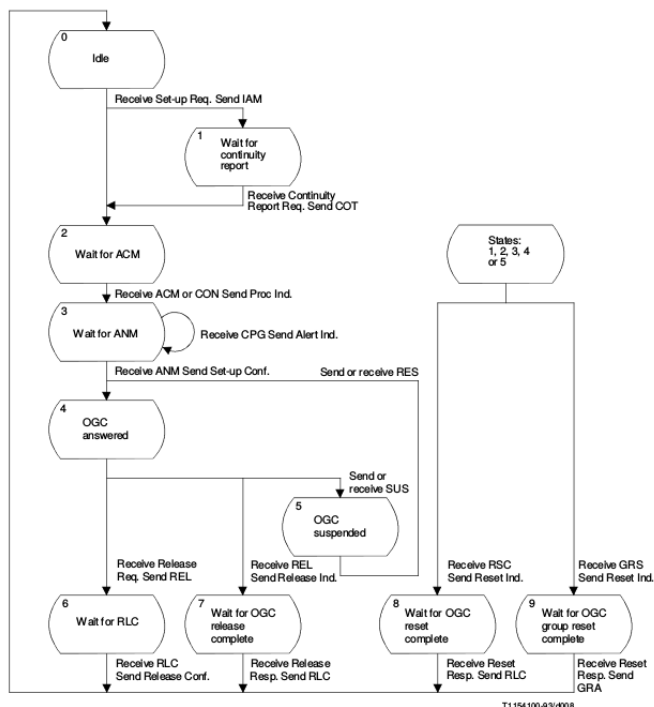


Figura 4: Diagrama de Transición de Estado para una Llamada Saliente [10]

3. MÁQUINAS DE ESTADO FINITO

3.1 Autómatas

Los autómatas son sistemas combinatoriales que atraviesan ciertos estados de acuerdo a un conjunto de símbolos de entrada y una función de transición. En función de estos cambios de estado, se produce un conjunto de símbolos de salida [11].

Un autómata (o máquina de estado finito), es un modelo conformado por un alfabeto, un conjunto de estados finito, una función de transición, un estado inicial y un conjunto de estados terminales (también conocidos como estados de parada) [11].

De manera formal se puede definir a una Máquina de Estado Finito como una 5-tupla de la forma $M = (\Sigma, Q, q_0, F, \Delta)$ donde:

- Σ es un alfabeto
- Q es un conjunto finito y no vacío de estados
- q_0 es un estado inicial $q_0 \in Q$
- F es un sub conjunto de estados finito terminales
- Δ es una función de transición.

Dado un estado de entrada y un símbolo, la función arroja un estado de salida $\Delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$

Un alfabeto es un conjunto finito no vacío cuyos elementos se llaman símbolos. Se denota generalmente por Σ . Ejemplos de alfabeto para el caso de estudio del intercambio de mensajes ISUP pueden ser los siguientes conjuntos:

$$\Sigma = \{IAM, ACM, ANM\}; \Sigma = \{IAM, COT, ACM\}; \Sigma = \{IAM, ACM, ANM, ICC, RLC\}$$

Una máquina de estado finito puede ser representada a través de un grafo dirigido, cuyos nodos representan los estados del autómata, y los arcos contengan símbolos del alfabeto, según la función de transición que se defina. Los estados terminales son dibujados mediante un doble borde y el estado inicial (que también puede ser terminal) con un borde sombreado negro ver Figura 5.

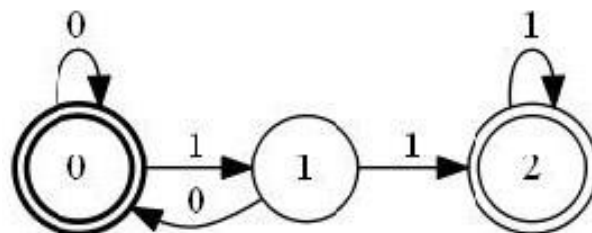


Figura 5: Representación de un Autómata Mediante un Grafo

El funcionamiento general de una máquina de estado finito es el siguiente: dada una cadena de entrada “u”, la máquina de estado comenzará a procesar los símbolos de “u” a partir del estado inicial. A medida que se procesa cada símbolo de la cadena, la máquina va cambiando su estado de acuerdo a lo que indique la función de transición. El procesamiento finalizará cuando se haya procesado el último símbolo de “u”. Si el estado final en el que se detuvo el procesamiento es un estado de aceptación, entonces la cadena pertenece al lenguaje que reconoce el autómata; en caso contrario, la cadena no pertenece a dicho lenguaje.

4. MÁQUINA DE ESTADO FINITO PROPUESTA PARA REPRESENTA EL INTERCAMBIO DE MENSAJES ISUP

La máquina de estado finito propuesta en éste trabajo, es producto de los resultados obtenidos del analizador de tramas ISUP desarrollado en [7]. Acá, fueron definidos el conjunto de mensajes de señalización ISUP que intervienen en el establecimiento, mantenimiento y finalización de una llamada telefónica, y en función de los diagramas presentados en las Figuras 3 y 4, se fueron construyendo las posibles transiciones de estado luego del envío o recepción de cada mensaje.

Los archivos en texto plano que contienen las trazas ISUP capturadas son agrupados en dos segmentos, el de llamadas completadas y el de llamadas incompletas; en ambos casos se agrupan las trazas por llamadas realizadas en cada canal del enlace. El analizador de tramas permite estructurar las entradas obtenidas de los archivos en texto plano por canal, llamada y archivo de entrada.

Realizando una revisión exhaustiva sobre el intercambio de mensajes ISUP presentes en los archivos de texto planos extraídos de la Central Telefónica, se construyeron diagramas MSC que permitieron definir los eventos que representan las transiciones de estados con cada mensaje intercambiado, que corresponda a la descripción definida en [10].

En la base de datos implementada en el Sistema analizador de tramas SAT-ISUPSS7 [7] se definen dos tablas claves para en el análisis de las tramas y la construcción de la máquina de estado finito propuesta, denominadas “Transitions” “States”.

Transitions, contiene la lógica de la aplicación al albergar las posibles transiciones de cambio de estados que se pueden realizar entre mensajes ISUP. A continuación se describen sus campos:

- **state_id**: contiene la clave foránea del estado inicial.
- **target**: contiene la clave foránea del estado final.
- **acronym**: contiene el acrónimo del mensaje ISUP muy utilizado en el análisis de las trazas.
- **created_at, updated_at**: contiene etiquetas de tiempo para guardar la fecha de creación y última actualización de los datos de la tabla.

States, contiene los mensajes ISUP de SS7 descritos en la recomendación de la ITU-T para SS7, a continuación se describen sus campos:

- **name**: contiene el nombre del mensaje ISUP.
- **acronym**: contiene el acrónimo del mensaje ISUP muy utilizado en el análisis de las trazas.
- **description**: contiene la descripción del mensaje ISUP.
- **protocol_id**: contiene la clave foránea del protocolo de las trazas. Esta variable fue incluida en el modelo para hacerlo escalar pensando en la posibilidad de analizar tramas de otros protocolos de comunicaciones.
- **created_at, updated_at**: contiene etiquetas de tiempo para guardar la fecha de creación y última actualización de los datos de la tabla.

Para realizar el análisis de las trazas, se definió una máquina de estado finito (ver Figura 6), la cual contiene el conjunto de transiciones que deben darse para cada mensaje ISUP (partiendo de la descripción dada [5] [6] y los diagramas mostrados en las Figuras 3 y 4), con cada traza viene un mensaje asociado, y en función de éste se realizan cambios de estado, que dependiendo de las transiciones se puede determinar si una llamada es válida o no.

4.1 Implementación del Analizador de Tramas y Construcción de la Máquina de Estado

Para la implementación del analizador de tramas presentado en [7] se ha desarrollado una máquina de estado finito que contiene las transiciones definidas para cada mensaje ISUP, de este modo el sistema va determinando con cada traza analizada el estado de una llamada hasta que son analizadas todas las trazas correspondientes.

En la máquina de estado finito desarrollado, se define un estado inicial “Nueva” (llamada), once estados intermedios y dos estados terminales (“Completa” e “Incompleta”) que determinan la validez de una llamada. Los catorce estados son descritos a continuación:

- **Nueva**: es el estado de inicialización de una llamada al momento de ser analizada por el sistema.
- **Abierta**: indica el inicio de una llamada con un mensaje ISUP del tipo IAM.

- **Conectando**: indica el progreso de la conexión del Suscriptor A con el Suscriptor B en el establecimiento de las comunicaciones.
- **Repicando**: el teléfono del Suscriptor B empieza a sonar indicando la llamada entrante.
- **Establecida**: indica que la llamada ha sido establecida entre ambos suscriptores.
- **En Progreso**: indica que la llamada ha sido establecida y está en progreso.
- **Suspendida**: indica que la llamada ha sido suspendida y o puesta en espera.
- **Restablecida**: indica que la llamada ha sido restablecida luego de ser puesta en espera.
- **Desconectando**: indica que la llamada ha iniciado el proceso de desconexión el cual puede ser de forma regular o irregular.
- **Completa**: indica que la llamada ha sido desconectada exitosamente de forma regular.
- **Incompleta**: indica que la llamada ha sido desconectada exitosamente de forma irregular.
- **Reset**: indica que la llamada ha tenido problemas de conexión y ha iniciado el proceso de re-inicialización del canal para proceder con la desconexión de forma irregular.
- **Irregular**: indica que la llamada ha tenido problemas de señalización en el cual se capturan trazas hasta completar la desconexión, este estado es fundamental para la revisión de las llamadas irregulares.
- **Probando OOS**: indica que la llamada ha tenido problemas de conexión y ha iniciado el proceso de pruebas para determinar si el canal está fuera de servicio.

Las transiciones están asociadas a los mensajes ISUP 2.13 de SS7 para cada uno de los estados definidos anteriormente, las transiciones son descritas a partir del estado inicial (ver Figura 6), y son descritas a continuación:

- **Nueva**: hay una transición hacia el estado Abierta y es activada por un mensaje **IAM** que indica el inicio de una llamada.
- **Abierta**: con el mensaje **COT** la llamada pasa al estado *Conectando*; con el mensaje **ACM** la llamada alcanzó al destino y está repicando, pasa al estado *Conectando*; con el mensaje **REL** se solicita la liberación del canal y se espera por confirmación para el cierre en el estado *Desconectando*; con el mensaje **RSC** se solicita la inicialización del canal en caso de problemas en el enlace y la llamada pasa al estado *Reset*; con el mensaje **IAM** la llamada pasa a ser inválida porque ya fue inicializada, y finalmente el mensaje **SLTM** indica que se realiza una prueba de **OSS** en el estado *ProbandoOOS*.
- **Conectando**: con el mensaje **REL** se solicita la liberación del canal, y se espera por confirmación para el cierre en el estado *Desconectando*; con el mensaje **RSC** se solicita la inicialización del canal en caso de problemas en el enlace,

y la llamada pasa al estado *Reset*; con el mensaje **ACM** la llamada alcanzó al destino y está repicando, pasa al estado *Conectando*; el resto de los mensajes que puedan llegar generan una transición a Irregular, exceptuando el mensaje **SLTM** indica que se realiza una prueba de **OSS** en el estado *ProbandOOS*.

- **Repicando:** con el mensaje **REL** se solicita la liberación del canal, y se espera por confirmación para el cierre en el estado *Desconectando*; con el mensaje **ANM** la llamada pasa a *Establecida*; con el mensaje **RSC** se solicita la inicialización del canal, en caso de problemas en el enlace y la llamada pasa al estado *Reset*; con el mensaje **CPG** se pasa la llamada al estado *En Progreso*, y con el resto de los mensajes la llamada se hace *Irregular*, exceptuando el mensaje **SLTM** indica que se realiza una prueba de **OSS** en el estado *ProbandOOS*.
- **Establecida:** con el mensaje **REL** se solicita la liberación del canal, y se espera por confirmación para el cierre en el estado *Desconectando*; con el mensaje **SUS** se solicita poner en espera la llamada para mantener el canal mientras se atiende otra llamada para pasar al estado de *Suspendida*; con el mensaje **RSC** se solicita la inicialización del canal, en caso de problemas en el enlace y la llamada pasa al estado *Reset*; con el mensaje **CPG** se pasa la llamada al estado *En Progreso*, y con el resto de los mensajes la llamada se hace *Irregular*, exceptuando el mensaje **SLTM** indica que se realiza una prueba de **OSS** en el estado *ProbandOOS*.
- **En Progreso:** con el mensaje **CPG** se mantiene la llamada actual en el mismo estado *reiniciando* los temporizadores de control; con el mensaje **RSC** se solicita la inicialización del canal en caso de problemas en el enlace, y la llamada pasa al estado *Reset*; con el mensaje **REL** se solicita la liberación del canal y se espera por confirmación para el cierre en el estado *Desconectando*, y con el resto de los mensajes la llamada se hace *Irregular*, exceptuando el mensaje **SLTM** indica que se realiza una prueba de **OSS** en el estado *ProbandOOS*.
- **Suspendida:** con el mensaje **REL** se solicita la liberación del canal y se espera por confirmación para el cierre en el estado *Desconectando*; con el mensaje **RSC** se solicita la inicialización del canal en caso de problemas en el enlace, y la llamada pasa al estado *Reset*; con el mensaje **RES** se solicita la restauración de la llamada en espera para pasar al estado de *Restablecida*, y con el resto de los mensajes la llamada se hace *Irregular*, exceptuando el mensaje **SLTM** indica que se realiza una prueba de **OSS** en el estado *ProbandOOS*.
- **Restablecida:** con el mensaje **ANM** la llamada pasa a *Establecida*, y con el resto de los mensajes la llamada se hace *Irregular*, exceptuando el mensaje **SLTM** indica que se realiza una prueba de **OSS** en el estado *ProbandOOS*.
- **Desconectando:** con el mensaje **REL** se vuelve a solicitar la liberación del canal y se espera por confirmación para el cierre manteniendo en el mismo estado; con el mensaje **RLC** se confirma la liberación del canal, y el fin de la

llamada para pasar a los estados finales *Completa* o *Incompleta*, si la llamada viene con tramas irregulares y con el resto de los mensajes la llamada se hace *Irregular*, exceptuando el mensaje **SLTM** indica que se realiza una prueba de **OSS** en el estado *ProbandOOS*.

- **Completa:** es un estado terminal sin transiciones y permite validar una llamada como regular.
- **Incompleta:** es un estado terminal sin transiciones y permite validar una llamada como irregular.
- **Reset:** con el mensaje **REL** se solicita la liberación del canal y se espera por confirmación para el cierre en el estado *Desconectando*, y con el resto de los mensajes la llamada se hace Irregular.
- **Irregular:** en este estado se capturan todas las trazas con mensajes irregulares manteniendo el mismo estado, exceptuando el mensaje **SLTM** que indica que se realiza una prueba de **OSS** en el estado *ProbandOOS*.
- **ProbandOOS:** el mensaje **SLTM** indica que se realiza una prueba de **OSS** para mantener el mismo estado, las pruebas finalizan con un mensaje **SLTA** para finalizar las pruebas y pasar la llamada al estado *Completa*.

La máquina de estado finito presentada en la Figura 6, muestra como los mensajes de señalización activan las transiciones entre los estados descritos anteriormente, permitiendo determinar si una llamada ha sido finalizada regularmente (quedando en el estado de *Completa*) o irregularmente (quedando en el estado de *Incompleta*).

Es importante resaltar que una vez que se encuentra en el estado de *Desconectado* una llamada, al cual se puede llegar desde distintos estados intermedios con la ocurrencia de un mensaje del tipo **REL**, se podrá trascender a uno de los dos posibles estados terminales: *Completa* o *Incompleta*. Ello dependerá de la causa de la disolución de la llamada que se indique dentro de los parámetros del mensaje **REL**. Así mismo, es posible estando en éste estado iterar múltiples veces en el mismo, mientras siga ocurriendo un mensaje del tipo **REL**. Otra transición que es posible que ocurra desde éste estado es hacia los estados *Irregular* (con la ocurrencia de un mensaje del tipo **SLTM**) y/o *ProbandOOS* (con la ocurrencia de un mensaje del tipo **IAM** o **SUS**)

En SAT-ISUPSS7 [7] el análisis de las llamadas es inicializado desde la máquina de estado finito partiendo en el estado “*Nueva*”, y luego de procesar los mensajes ISUP siguiendo el algoritmo definido en [7], se marcan banderas lógicas que indican el estado de la llamada luego de ser analizada, desde el estado de “*Nueva*”, sólo es posible pasar al estado de “*Abierta*”, debido a la ocurrencia de un mensaje del tipo **IAM**. Esta información es resumida por la aplicación web que soporta el Sistema analizador de tramas, el cual muestra el resultado del análisis, agrupando las trazas por llamadas regulares e irregulares, junto con un gráfico de barras con la distribución de los mensajes ISUP procesados.

La máquina de estado finito propuesta en la Figura 6, ha sido modelada, simulada y analizada con Redes de Petri Coloreadas, utilizando para ello CPN Tools 4.0.1. [11],

obteniendo resultados satisfactorios en su validación funcional, a través del uso de la herramienta de simulación interactiva que provee CPN Tools [11], pudiendo observar en múltiples simulaciones un comportamiento funcional acorde a lo esperado según la máquina de estado finito propuesta. Debido al tamaño de la máquina de estado propuesta y la complejidad del modelo CPN desarrollado dividido en varios módulos

construido de forma jerárquica manejando un módulo por cada estado, las generaciones del espacio de estado (*State Space*) y el reporte arrojado del mismo permitió observar que el modelo desarrollado se encuentra libre de abrazos mortales, así como verificar que se alcanzan de forma correcta los estados terminales “*Incompleta*” y “*Completa*”.

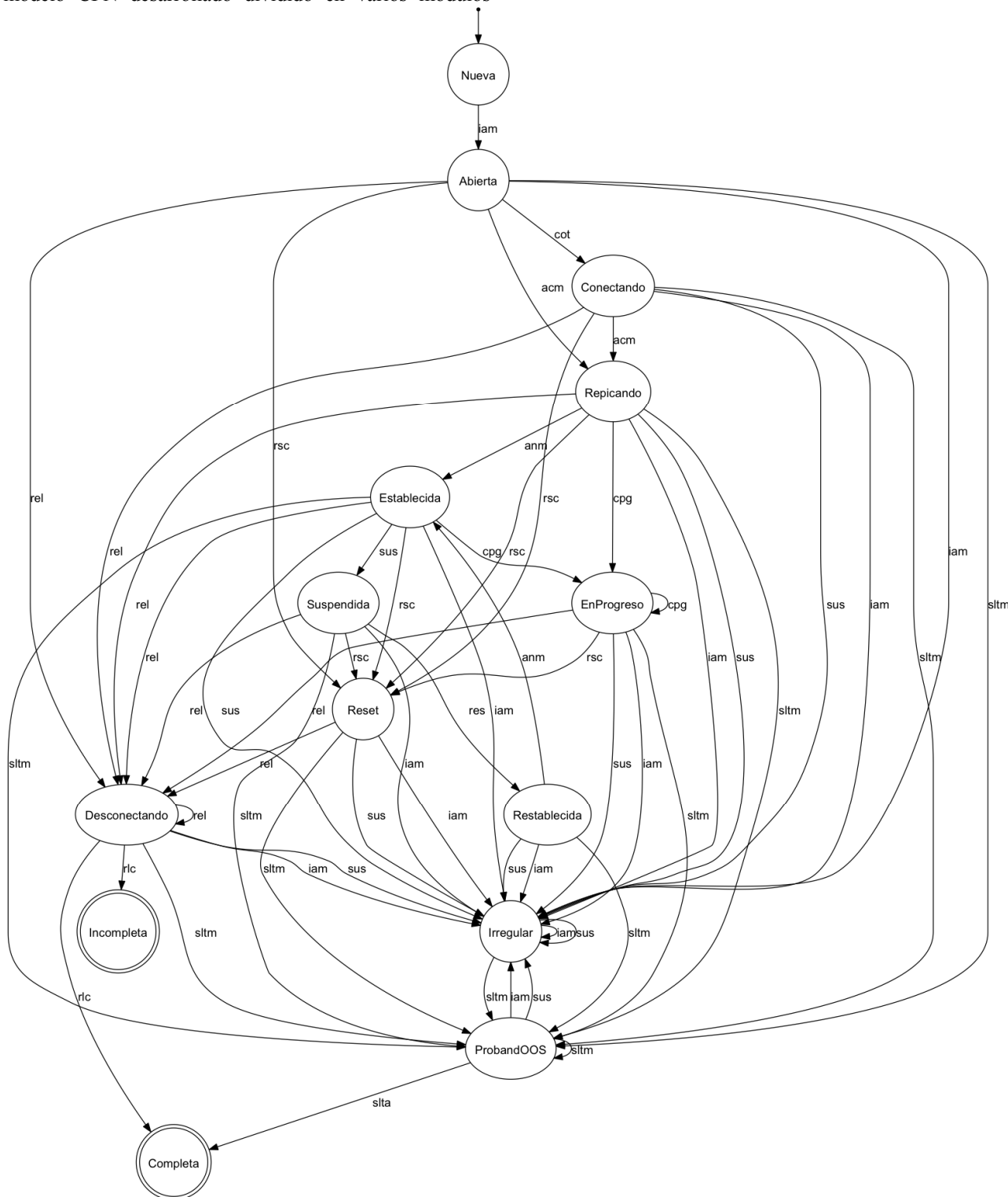


Figura 6: Máquina de Estado Finito Propuesta para Representar las Transiciones de Estados de los Mensajes ISUP

5. CONCLUSIONES

El trabajo presentado permitió profundizar el estudio, análisis y comprensión del protocolo de señalización SS7, y el funcionamiento del intercambio de mensajes en la capa ISUP.

En función del estudio realizado acerca del intercambio de mensajes de control y señalización presentados en la recomendación T-REC-Q.764, fue posible construir una Máquina de Estado Finito, que permita modelar el intercambio de mensajes que define el protocolo para el establecimiento, mantenimiento y señalización de una llamada telefónica.

Esta Máquina de Estado Finito, permite apoyar el funcionamiento del Sistema Analizador de Tramas SAT-ISUPSS7, con el objeto de analizar las trazas capturadas en las centrales telefónicas, y con ello determinar el comportamiento de las llamadas (regulares e irregulares), con el objeto de apoyar de forma certera los procesos de tasación y facturación.

En este trabajo se utilizaron las Redes de Petri Coloreadas con el objeto de validar el funcionamiento de la máquina de estado propuesta, observando resultados satisfactorios luego de la simulación y análisis del modelo, y la generación y análisis del espacio de estado (*State Space*).

REFERENCIAS

- [1] Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T), *Sistema de Señalización 7. Anexo h: Diagramas de Transición de Estado, Serie q: Conmutación y Señalización Q.764*, 1995.
- [2] Telecomspace.com. *Signalling System 7 (SS7)*, <http://www.telecomspace.com/ss7.html>.
- [3] Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T), <https://www.itu.int>.
- [4] ITU-T Telecommunication Standardization Sector of ITU, *Recommendation Q.761, Signalling System No. 7: Functional Description of the ISDN User Part*, Geneva, <http://www.itu.int/rec/T-REC-Q.761>, 1993.
- [5] ITU-T Telecommunication Standardization Sector of ITU, *Recommendation Q.764, Signalling System No. 7: ISDN User Part Signalling Procedures*, Geneva, <http://www.itu.int/rec/T-REC-Q.764>, 1993.
- [6] ITU-T Telecommunication Standardization Sector of ITU, *Recommendation Q.767, Signalling System No. 7: Application of the ISDN User Part of CCITT Signalling System No. 7 for International ISDN Interconnections*, Geneva, <http://www.itu.int/rec/T-REC-Q.767>, 1993.
- [7] A. Morales, A. Silva y R. Gutiérrez, *Analizador de Tramas de la Capa ISUP del Sistema de Señalización n.º7 (SS7): SAT-ISUPSS7*, Revista Tecnológica ESPOL – RTE, vol. 28, no. 5, pp. 73-89, Diciembre 2015.
- [8] ITU-T Telecommunication Standardization Sector of ITU, *Recomendación UIT-T Q.766: Objetivos de Funcionamiento en la Aplicación de la Red Digital de Servicios Integrados*. Geneva, <https://www.itu.int/rec/T-REC-Q.766-199303-I>, 1993.
- [9] ITU-T Telecommunication Standardization Sector of ITU, *International Telephone Connections and Circuits: General Recommendations on the Transmission Quality for an Entire International Telephone Connection*, Tech. report, <https://www.itu.int>, 2003.
- [10] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Sistema de Señalización 7 Anexo h: Diagramas de Transición de Estado, Serie q: Conmutación y Señalización no. Q.764*, 1995.
- [11] CPN Tools, <http://cpntools.org/start>.