

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería en Electrónica**



**Establecimiento de la hora oficial de Costa Rica a partir de un patrón de tiempo generado localmente con trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades de Medida**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

**Manuel Andrés Zúñiga Rojas**

**Cartago, Diciembre de 2008**


**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**TRIBUNAL EVALUADOR**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

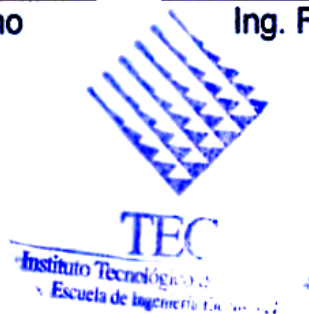
**Miembros del Tribunal**

  
Ing. William María Moreno

Profesor lector

  
Ing. Faustino Montes de Oca

Profesor lector





Ing. Miguel Hernández Rivera

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 26 de noviembre de 2008

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 14 de Noviembre del 2008



Manuel Andrés Zúñiga Rojas

Céd: 112230170

## RESUMEN

Algunos países utilizan un estándar de tiempo establecido a nivel nacional como fuente común de frecuencia para los relojes que indican el tiempo en cada una de sus regiones, las cuales se encuentran delimitadas de acuerdo con la zona horaria mundial en que se ubican. Estos relojes son empleados en la sincronización de actividades como la telefonía y las transacciones bancarias, que requieren de gran precisión en cuanto a sus tiempos de ejecución. Debido a la importancia de este tipo de actividades, se debe evaluar la confiabilidad de tales estándares por medio de su trazabilidad al Tiempo Universal Coordinado, que es la escala de tiempo encargada de establecer la hora exacta para las zonas horarias mundiales.

El patrón nacional de tiempo de Costa Rica es generado por el Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas del Instituto Costarricense de Electricidad y la referencia que se utiliza para determinar su nivel de confiabilidad corresponde al estándar nacional de tiempo de Estados Unidos, el cual mantiene una desviación inferior a 100ns con respecto al Tiempo Universal Coordinado. El desfase que se presenta entre los estándares de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos se incrementa a una tasa de variación que el día 25 de Junio del 2008 se registró igual a  $603,380\text{ns} \pm 0,872\%$  por cada 10 minutos, pero que aumenta entre 4,126ns y 15,577ns por cada 5 días. Por lo tanto, en Costa Rica no se había utilizado el estándar nacional de tiempo como fuente de frecuencia para un reloj que se encargue de indicar la hora oficial del país; pues, tal dispositivo se retrasaría, a la tasa de variación descrita anteriormente, con respecto a la hora exacta de la zona horaria mundial en que se encuentra localizado el territorio de Costa Rica. Por esta razón, el Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas propuso el desarrollo del presente proyecto, a partir del cual se implementó un sistema que es capaz de realizar correcciones con una resolución de 100ns al desfase mencionado anteriormente y que indica la hora de Costa Rica por medio de un reloj cuyo segundero corresponde al patrón local de tiempo.

Palabras claves: Patrón; Estándar; Reloj; Sincronización; Zona Horaria Mundial; Trazabilidad; Tiempo Universal Coordinado; Desviación; Desfase; Resolución.

## **ABSTRACT**

Some countries use a national standard of time as common frequency source of the clocks that indicate the time in all of their regions, which are delimited according to the world time zone where they are placed. These clocks are used to synchronize activities such as telephony and bank transfers, which need very precise execution times. Due to the importance of this kind of activities, it is necessary to evaluate the accuracy of these standards using as reference the Coordinated Universal Time, which is the time scale used to establish the exact time for the world time zones.

The Costarrican National Standard of Time is generated by the Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas of the Instituto Costarricense de Electricidad and the reference used to determine its accuracy is the American National Standard of Time, which keeps its deviation in relation to the Coordinated Universal Time less than 100ns. The phase shift between the national standards of time of Costa Rica and United States increases with a variation rate whose value was registered equal to  $603,380\text{ns} \pm 0,872\%$  per 10 minutes on June 25, 2008 yet it increases between 4,126ns y 15,577ns per 5 days, so in Costa Rica a national standard of time had not used as frequency source of a clock that indicate the official time of the country because this clock would had delayed itself with the aboved-described rate in relation to the exact time of the world time zone where is located the whole territory of Costa Rica. For this reason, the Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas propounded the development of this project, which consisted of the design and the implementation of a system that is able to make corrections in steps of 100ns to the above-mentioned phase shift and that indicates the time of Costa Rica using a clock whose frequency source is the Costa Rican National Standard of Time.

Keywords: Standard; Clock; Synchronize; World Time Zone; Coordinated Universal Time; Deviation; Phase Shift.

## ÍNDICE GENERAL

<b>Capítulo 1: Ámbito del proyecto .....</b>	<b>11</b>
1.1. El tiempo y su instrumento de medición .....	11
1.2. Historia de la medición del tiempo y la frecuencia .....	12
1.3. El segundo y el Tiempo Universal Coordinado.....	14
1.4. La medición del tiempo en el Sistema Interamericano de Metrología.....	15
1.5. La representación costarricense de metrología a nivel continental.....	16
<b>Capítulo 2: Marco Teórico.. .....</b>	<b>17</b>
2.1. La técnica “ <i>Multi-channel GPS common-view</i> ” .....	17
2.2. El equipo de medición “ <i>SIM common-view GPS</i> ” .....	18
2.3. Registro de las comparaciones de tiempo y frecuencia efectuadas por el Sistema Interamericano de Metrología.....	20
2.4. Requerimientos técnicos de los patrones nacionales de tiempo de los países participantes en el Sistema Interamericano de Metrología.....	22
2.5. El patrón nacional de tiempo de Costa Rica .....	22
<b>Capítulo 3: Definición del proyecto .....</b>	<b>23</b>
3.1. Justificación del proyecto.....	23
3.2. Meta del proyecto .....	23
3.3. Objetivos del proyecto .....	23
3.3.1. Objetivo general .....	23
3.3.2. Objetivos específicos.....	24
3.4. Solución propuesta .....	24
<b>Capítulo 4: Descripción del sistema implementado .....</b>	<b>27</b>
4.1. Estructura modular del sistema .....	27
4.2. Descripción funcional del sistema.....	28
4.3. Diseño e implementación de los módulos del sistema.....	34
4.3.1. Generador de la señal de referencia.....	34
4.3.2. Divisor de frecuencia .....	34
4.3.2.1. Estructura lógica del divisor de frecuencia .....	34
4.3.2.2. Implementación del divisor de frecuencia a partir de un dispositivo programable.....	37

4.3.2.3.	Implementación del divisor de frecuencia en “Verilog” .....	37
4.3.2.4.	Selección del dispositivo programable CPLD XC9572 para la implementación del divisor de frecuencia.....	40
4.3.3.	Reloj del sistema .....	42
4.3.3.1.	Hardware del reloj del sistema.....	42
4.3.3.2.	Software del reloj del sistema .....	43
4.3.4.	Módulo de corrección de desfase.....	47
4.3.4.1.	Algoritmo de la corrección de desfase .....	47
4.3.4.2.	Fragmentación del factor divisor de frecuencia.....	50
4.3.4.3.	Implementación del módulo de corrección de desfase a partir del microcontrolador PIC16F873A.....	51
4.3.4.4.	Software del módulo de corrección de desfase .....	52
4.3.5.	Etapa de visualización .....	55
4.3.5.1.	Hardware de la etapa de visualización .....	55
4.3.5.2.	Software de la etapa de visualización .....	57
4.3.6.	Fuente de alimentación.....	63
4.3.6.1.	Estructura básica de la fuente de alimentación .....	63
4.3.6.2.	Especificaciones técnicas del diseño de la fuente de alimentación .....	64
4.3.6.3.	Implementación de la fuente de alimentación .....	66
Capítulo 5:	Análisis de resultados.....	72
5.1.	El patrón local de tiempo .....	72
5.2.	Generación de la hora .....	76
5.3.	Interrupciones del servicio eléctrico local .....	76
5.4.	Correcciones manuales del desfase.....	77
5.5.	Operación del sistema en el modo automático de corrección .....	79
Capítulo 6:	Conclusiones y recomendaciones.....	86
6.1.	Conclusiones .....	86
6.2.	Recomendaciones .....	87
Bibliografía .....		89
Apéndices.....		93
A.1.	Manual de usuario.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b>	Diagrama de operación de la técnica “GPS common-view” .....	17
<b>Figura 2.2.</b>	Sistema de medición “SIM common-view GPS”.....	19
<b>Figura 2.3.</b>	Valores promedio, actualizados cada 10 minutos, de los desfases en nanosegundos que se presentan entre los patrones de tiempo de los países participantes en el Sistema Interamericano de Metrología .....	20
<b>Figura 2.4.</b>	Registro de los valores promedio del desfase en nanosegundos que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos.....	21
<b>Figura 3.1.</b>	Diagrama de temporización para la corrección del desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos.....	24
<b>Figura 4.1.</b>	Diagrama modular del sistema implementado .....	27
<b>Figura 4.2.</b>	Diagrama de conexiones intermodulares del sistema implementado .....	30
<b>Figura 4.3.</b>	Diagrama de procesos del sistema implementado.....	31
<b>Figura 4.4.</b>	Diagrama lógico del divisor de frecuencia.....	35
<b>Figura 4.5.</b>	Diagrama del diseño preliminar del divisor de frecuencia .....	38
<b>Figura 4.6.</b>	Diagrama de la implementación del divisor de frecuencia a partir del lenguaje de programación “Verilog” .....	40
<b>Figura 4.7.</b>	Diagrama eléctrico del reloj del sistema.....	43
<b>Figura 4.8.</b>	Diagrama de flujo del programa correspondiente al reloj del sistema.....	45
<b>Figura 4.9.</b>	Diagrama de temporización para la sincronización de dos señales.....	48
<b>Figura 4.10.</b>	Diagrama de temporización para la operación del módulo de corrección de desfase .....	50
<b>Figura 4.11.</b>	Diagrama eléctrico del módulo de corrección de desfase .....	52
<b>Figura 4.12.</b>	Diagrama de flujo del programa correspondiente al módulo de corrección de desfase .....	53
<b>Figura 4.13.</b>	Diagrama eléctrico de la etapa de visualización.....	56
<b>Figura 4.14.</b>	Diagrama de ejecución paralela del reloj del sistema y de la etapa de visualización.....	58
<b>Figura 4.15.</b>	Diagrama de procesos de la etapa de visualización .....	59
<b>Figura 4.16.</b>	Secuencia de procesos de la etapa de visualización para la transmisión del valor del desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos .....	62
<b>Figura 4.17.</b>	Estructura básica de la fuente de alimentación.....	63
<b>Figura 4.18.</b>	Implementación del módulo “Sensor1”.....	68
<b>Figura 4.19.</b>	Implementación del módulo “Sensor3”.....	69
<b>Figura 4.20.</b>	Diagrama eléctrico de la fuente de alimentación.....	70



<b>Figura 5.1.</b>	Registro del comportamiento del desfase promedio, por cada 10 minutos, que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos (utilizando el oscilador HP105B y el divisor de frecuencia desarrollado a partir del presente proyecto) .....	73
<b>Figura 5.2.</b>	Registro del comportamiento del desfase promedio, por cada 10 minutos, que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos (utilizando el oscilador HP105B y el dispositivo SDG CAMPBELL CA 38-2A correspondiente al sistema empleado antes del desarrollo del presente proyecto) ....	74
<b>Figura 5.3.</b>	Simulación del comportamiento del sistema en el modo de corrección automático .....	79
<b>Figura 5.4.</b>	Registro del comportamiento del desfase que se presenta entre los estándares de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos cuando el sistema se encuentra operando en el modo de corrección automático .....	80
<b>Figura 5.5.</b>	Comportamiento del desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos cuando el sistema se encuentra operando en el modo de corrección automático (Fecha de la medición: 30 de Julio, 2008) .....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 4.1.</b>	Interfaces del sistema implementado.....	29
<b>Tabla 4.2.</b>	Configuración de pines para el dispositivo XC9572 que se utilizó en la implementación del divisor de frecuencia .....	41
<b>Tabla 4.3.</b>	Comparación entre los microcontroladores PIC16F877A y PIC16F873A .....	51
<b>Tabla 4.4.</b>	Operación del multiplexor .....	55
<b>Tabla 4.5.</b>	Variables del programa correspondiente a la etapa de visualización .....	59
<b>Tabla 4.6.</b>	Consumo de corriente dependiendo de la actividad del sistema .....	65
<b>Tabla 5.1.</b>	Detección del patrón local de tiempo .....	72
<b>Tabla 5.2.</b>	Desfase del patrón local de tiempo con respecto a las señales de posicionamiento global (GPS) y al estándar nacional de tiempo de Estados Unidos (UTC-NIST) .....	75
<b>Tabla 5.3.</b>	Comparación de la estabilidad del divisor de frecuencia desarrollado en el presente proyecto con respecto a la del dispositivo SDG CAMPBELL CA 38-2A.....	75
<b>Tabla 5.4.</b>	Correcciones manuales .....	78
<b>Tabla 5.5.</b>	Comportamiento del desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos cuando el sistema se encuentra operando en el modo de corrección automático (Fecha de la medición: 30 de Julio, 2008) .....	81
<b>Tabla 5.6.</b>	Desfase del patrón local de tiempo con respecto a las señales de posicionamiento global (GPS) y al estándar nacional de tiempo de Estados Unidos (UTC-NIST) .....	83
<b>Tabla 5.7.</b>	Valores promedio por día de la estabilidad de la señal de 1Hz obtenida a partir de la división de la frecuencia del oscilador HP105B del Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas.....	84

## **CAPÍTULO 1**

### **ÁMBITO DEL PROYECTO**

En este capítulo se presenta el entorno dentro del cual se desarrolló el presente proyecto. Inicialmente, se brinda la definición del objeto en estudio, que corresponde al tiempo, y se describe la estructura básica de su instrumento de medición. Posteriormente, se introduce una reseña histórica sobre la medición del tiempo a nivel mundial, que incluye la evolución en cuanto a su precisión [1] y el establecimiento de diferentes estándares [2] hasta definir su actual unidad básica. Finalmente, se describe la participación de Costa Rica en actividades metrológicas internacionales como la comparación de estándares de tiempo.

#### **1.1. El tiempo y su instrumento de medición**

El tiempo corresponde a una cantidad no espacial definida por una sucesión de eventos aparentemente irreversible [1]. Esta cantidad se constituye en una parte fundamental de la vida cotidiana del ser humano, por lo que éste siempre se ha visto en la necesidad de medir el tiempo a lo largo de la historia.

El instrumento utilizado para la medición del tiempo se denomina reloj. La estructura básica de este artefacto se encuentra constituida por una fuente de frecuencia (oscilador), un contador (divisor de frecuencia) y un dispositivo de despliegue visual. La precisión de un reloj es fundamentalmente dependiente de su respectivo oscilador, el cual se encarga de producir eventos periódicamente a una frecuencia aproximadamente constante [3].

La precisión en cuanto a la medición del tiempo se ha ido incrementando conforme las necesidades del hombre se tornan más exigentes. A las antiguas civilizaciones les bastaba con poseer una noción del tiempo correspondiente a la cuenta de cada puesta de Sol, para determinar los periodos de cosecha de sus cultivos; mientras que, los modernos sistemas de comunicaciones y transportes efectúan operaciones con tiempos de ejecución cuyas unidades de medida corresponden a los milisegundos o a los nanosegundos.

## 1.2. Historia de la medición del tiempo y la frecuencia

Con el fin de mejorar la precisión en cuanto a la medición del tiempo y la frecuencia, los instrumentos empleados en este tipo de procedimientos se han encontrado envueltos en una constante evolución.

Las antiguas civilizaciones europeas utilizaron grandes estructuras de piedra, por ejemplo el Stonehenge en Inglaterra y el pasaje de Newgrange en Irlanda, como observatorios para medir el tiempo basándose en el movimiento de los cuerpos celestes.

En América, las culturas precolombinas desarrollaron calendarios por medio de edificaciones, de las cuales el caso más sobresaliente fue el templo “*Coricancha*” ubicado en la ciudad de Cuzco (capital del Imperio Inca), que guiaban haces de luz provenientes del Sol para señalar puntos específicos que indicaban eventos importantes. Otro aporte destacable fue la utilización del día como unidad básica de tiempo por parte de los mayas, para lo cual éstos definieron el inicio de cada ciclo diario como la aparición del Sol en las mañanas.

Alrededor del año 3500 antes de Cristo, los egipcios construyeron obeliscos para observar el transcurso del día a partir de la sombra que se movía en torno a tales monumentos. Posteriormente, el diseño fue refinado, incluyendo marcadores de piedra alrededor del obelisco, para indicar determinados momentos del día. Así, la cultura egipcia fue la primera que logró dividir el día en unidades de tiempo más pequeñas.

Los egipcios también implementaron el primer reloj de agua. Este instrumento consistía en una taza marcada con graduaciones que, por medio de un pequeño agujero ubicado en su parte inferior, vertía su contenido (agua) hacia otro recipiente. De esta manera, el nivel del agua señalaba el tiempo que había transcurrido desde el inicio de la operación del instrumento.

En el periodo comprendido entre los siglos VIII y XI después de Cristo, los chinos diseñaron un reloj de agua cuya estructura se basaba en una rueda con copas equidistantes, las cuales se turnaban para ser cargadas con agua por

medio de un ducto. La operación de este artefacto se llevaba a cabo de tal manera que, cuando una copa se llenaba con agua, la rueda se movía para que la siguiente copa iniciara de nuevo el proceso. Los relojes de agua chinos alcanzaron tanta popularidad durante el siglo XIII, que se exportaron a países europeos como Alemania; no obstante, estos instrumentos tenían la desventaja de congelarse durante el invierno, por lo que en el siglo XIV fueron introducidos los relojes de arena.

En el siglo XIV, también se construyó el primer reloj mecánico, conocido como *"foliot"*, cuyo diseño se fundamentaba en una rueda con engranes acoplada a una especie de balanza. La precisión de tal invención era afectada por la fricción propia de la rueda, provocando grandes diferencias entre las mediciones realizadas con dos de estos instrumentos.

En 1656, el científico alemán Christian Huygens implementó un nuevo reloj mecánico, basándose en el principio de oscilación del péndulo simple (aportado por Galileo Galilei), cuya precisión era de aproximadamente 10 segundos por día. Luego, el mismo Huygens acopló el muelle a su diseño en 1675, utilizándola como mecanismo para regular la frecuencia del instrumento. Finalmente, el artefacto fue perfeccionado por William Shortt, quien construyó un reloj empleando dos péndulos: uno para mantener la frecuencia del dispositivo y otro para controlar la aplicación de energía y contar las oscilaciones del primer péndulo. La precisión de este último aparato era de unos pocos segundos por cada 5 años.

El primer reloj electrónico fue desarrollado por Warren A. Morrison en 1929. La operación de este dispositivo se basaba en el efecto piezoeléctrico de un cristal de cuarzo, el cual genera una tensión aleatoria cuando vibra al ser sometido a un voltaje alterno. La precisión de este instrumento era menor a 1 milisegundo por mes; sin embargo, a partir de pruebas experimentales, se determinó que los osciladores de cuarzo sufren de corrimientos de fase debidos a factores como la alteración de su frecuencia con la temperatura y los cambios en el cristal provocados por la contaminación con impurezas, la vibración y el envejecimiento.

En 1879, tomando en cuenta la uniformidad entre átomos de un mismo elemento, Lord Kelvin propuso la implementación de osciladores basados en transiciones atómicas, específicamente utilizando los elementos sodio e hidrógeno; no obstante, la mayoría de conceptos y experimentos referentes a los osciladores atómicos fueron desarrollados en la década de 1930 por Isidor Rabi. Estos resultados fueron retomados en 1949 por Harold Lyons, para introducir el primer estándar atómico de frecuencia, el cual se basaba en la molécula del amoníaco. Aunque el estándar de Lyons fue aprobado por el Departamento Nacional de Estándares de Estados Unidos (actualmente, Instituto Nacional de Estándares y Tecnología), éste no superaba la precisión de los mejores osciladores de cuarzo de esa época.

En 1950, el Departamento Nacional de Estándares de Estados Unidos construyó el primer estándar de frecuencia basado en un átomo de cesio, el cual poseía una frecuencia hiperfina relativamente alta (9,2GHz) en comparación con la de otros osciladores atómicos desarrollados hasta ese momento (6,8GHz para el rubidio y 1,4GHz para el hidrógeno). Posteriormente, fueron realizados varios experimentos por Lyons en 1952, en los cuales se incluía tanto la técnica de resonancia magnética de Rabi como el método de los campos oscilantes separados de Ramsey. Finalmente, aprovechando los resultados obtenidos por Lyons, Louis Essen y sus colaboradores del Laboratorio Nacional de Física de Inglaterra desarrollaron un dispositivo a base de rayos de cesio que se estableció como el primer estándar de frecuencia de cesio a nivel mundial en 1955 y que más adelante, se utilizó para definir la actual unidad básica de tiempo del Sistema Internacional de Unidades de Medida.

### **1.3. El segundo y el Tiempo Universal Coordinado**

La Oficina Internacional de Pesos y Medidas, ubicada en Francia, se constituye como el coordinador mundial de la metrología, siendo su cometido *“asegurar en todo el Mundo la uniformidad de las mediciones y su trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades”* [34]. Así, por medio de la Resolución 1 de la 13<sup>era</sup> Conferencia General de Pesos y Medidas (Octubre, 1967), esta entidad

estableció la siguiente definición del segundo como unidad básica de tiempo del Sistema Internacional de Unidades de Medida:

*“Un segundo es la duración de 9.192.631.770 períodos de la radiación asociada a la transición hiperfina del estado base del átomo Cesio-133.”* [35]

A partir de esta definición, se estableció la escala de tiempo atómica denominada Tiempo Universal Coordinado, que es utilizada para determinar la hora exacta para las zonas horarias mundiales. Esta escala es calculada en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas por medio de la recopilación de datos desde más de 250 osciladores atómicos distribuidos en aproximadamente 60 institutos nacionales de metrología [3].

#### **1.4. La medición del tiempo en el Sistema Interamericano de Metrología**

El Sistema Interamericano de Metrología es una de las 5 principales organizaciones regionales de metrología reconocidas por la Oficina Internacional de Pesos y Medidas. Esta entidad se encuentra conformada por los institutos nacionales de metrología de los 34 países que son miembros de la Organización de Estados Americanos y su objetivo primordial es crear un sistema de medición unificado, para la región correspondiente al continente americano, con trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades [4].

Algunos de los institutos que participan en el Sistema Interamericano de Metrología están encargados de mantener los estándares nacionales de tiempo y frecuencia de sus respectivos países e incluso, en los casos específicos de Argentina, Brasil, Canadá, Chile, México y Estados Unidos, sus laboratorios nacionales contribuyen con la generación del Tiempo Universal Coordinado. Por lo tanto, guiándose por su objetivo primordial, el Sistema Interamericano de Metrología creó un sistema de medición, denominado *“SIM time scale comparisons via GPS common-view”*, para comparar continuamente tales estándares utilizando señales de posicionamiento global [5].

### **1.5. La representación costarricense de metrología a nivel continental**

De acuerdo con la Ley No. 8279 para el establecimiento del Sistema Nacional de la Calidad en Costa Rica, el Laboratorio Costarricense de Metrología es el encargado de custodiar los patrones metrológicos nacionales y de promover la trazabilidad de éstos al Sistema Internacional de Unidades de Medida [6].

Entre las principales funciones del Laboratorio Costarricense de Metrología figuran su participación en instancias internacionales de metrología, como por ejemplo en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (lo cual realiza a través del Sistema Interamericano de Metrología); y el reconocimiento, mediante convenios, de otras instituciones como laboratorios nacionales en las magnitudes que considere pertinentes [6]. Así pues, por medio del *“Convenio Interinstitucional entre el Instituto Costarricense de Electricidad y el Laboratorio Costarricense de Metrología”* [7], se reconoció al Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas del Instituto Costarricense de Electricidad como laboratorio metrológico encargado de representar al país ante instancias u organizaciones internacionales, entre las cuales se incluye el Sistema Interamericano de Metrología; y de mantener bajo su custodia los patrones nacionales de las magnitudes físicas fundamentales vinculadas con electricidad e infocomunicaciones. De esta manera, el Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas se constituye en la entidad designada para generar el patrón nacional de tiempo de Costa Rica, por medio del cual debe participar en las comparaciones de tiempo y frecuencia efectuadas por el Sistema Interamericano de Metrología.



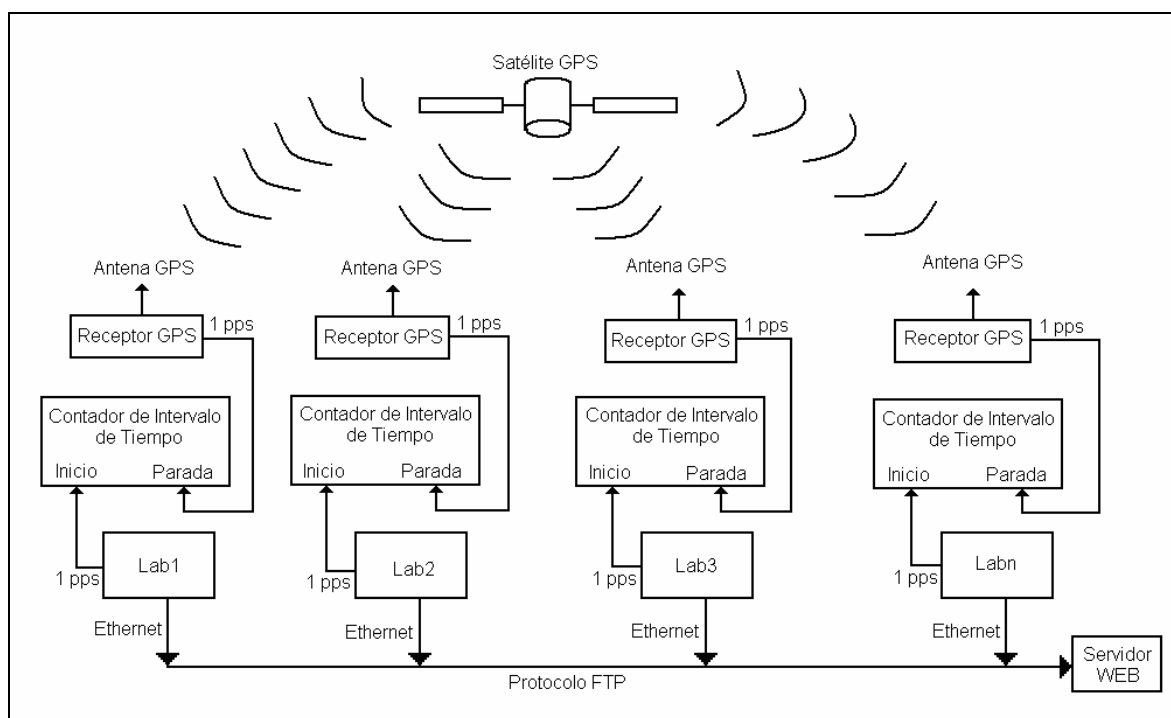
## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta la técnica sobre la cual se fundamenta el sistema de comparaciones de estándares de tiempo y frecuencia creado por el Sistema Interamericano de Metrología, así como los requerimientos técnicos con los cuales deben cumplir los laboratorios que participen en dicho sistema; además, se describe el equipo utilizado en Costa Rica para generar el patrón nacional de tiempo previamente a la realización del presente proyecto.

#### 2.1. La técnica “Multi-channel GPS common-view”

La técnica utilizada para realizar comparaciones entre los estándares nacionales de tiempo de los países que son miembros del Sistema Interamericano de Metrología se denomina “Multi-channel GPS common-view” y su diagrama de operación, para un sólo canal, se ilustra en la figura 2.1 [5].



PAINT

Figura 2.1. Diagrama de operación de la técnica “GPS common-view”

La técnica consiste en medir el intervalo de tiempo existente entre el patrón local de tiempo de un determinado laboratorio y una señal de posicionamiento global. Las mediciones se realizan cada segundo y se efectúan para cada una de las señales de posicionamiento global que se recepcionen en el laboratorio. Los resultados obtenidos a partir de tales mediciones son promediados cada 10 minutos y luego, se envían a un servidor WEB, utilizando el Protocolo de Transferencia de Archivos (FTP, por sus siglas en inglés), donde son comparados con los resultados de los otros laboratorios [5]. Así, el desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de dos determinados laboratorios se obtiene por medio de la ecuación 2.1 [8].

$$\boxed{[T_{Lab1} - T_{GPS}] - [T_{Lab2} - T_{GPS}] = [T_{Lab1} - T_{Lab2}]} \quad (2.1)$$

Donde:

- $T_{Lab1}$ : patrón local de tiempo en el laboratorio 1.
- $T_{Lab2}$ : patrón local de tiempo en el laboratorio 2.
- $T_{GPS}$ : señal de posicionamiento global.
- $[T_{Lab1} - T_{GPS}]$ : promedio de las mediciones obtenidas en el laboratorio 1.
- $[T_{Lab2} - T_{GPS}]$ : promedio de las mediciones obtenidas en el laboratorio 2.
- $[T_{Lab1} - T_{Lab2}]$ : promedio del desfase entre los patrones de tiempo de los 2 laboratorios.

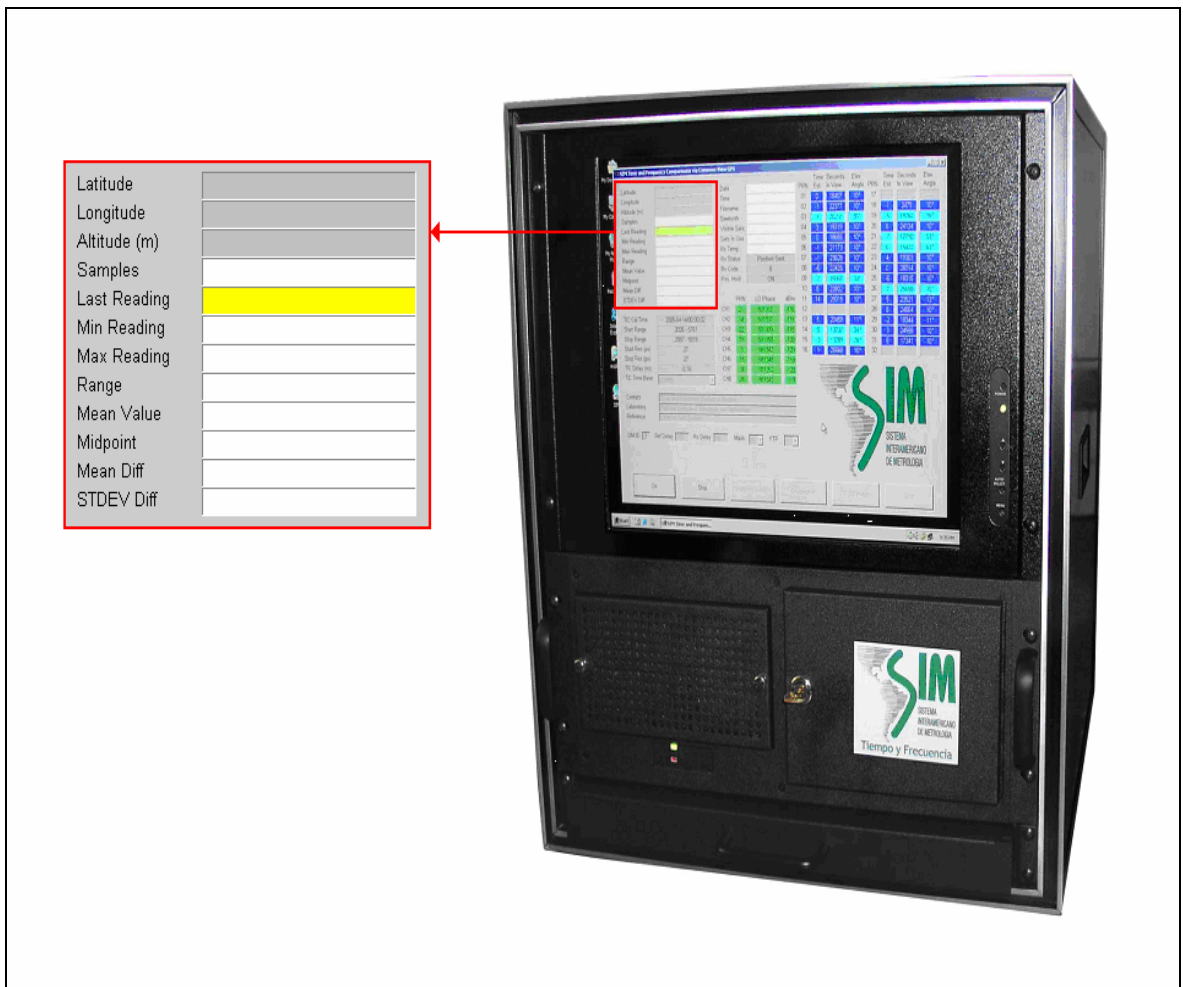
## 2.2. El equipo de medición “SIM common-view GPS”

Los laboratorios que participan en el sistema de comparaciones de tiempo y frecuencia del Sistema Interamericano de Metrología deben adquirir el equipo de medición “SIM common-view GPS”, el cual es calibrado en los laboratorios del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos y es suministrado por el mismo Sistema Interamericano de Metrología, e instalarlo en sus inmediaciones [5].

El equipo de medición se encuentra constituido por una computadora industrial, una antena receptora de señales de posicionamiento global y un cable para conectar la computadora a la antena. La computadora industrial, la cual se muestra en la figura 2.2, posee un receptor para 8 canales de señales de posicionamiento global; un contador de intervalos de tiempo; dos conectores tipo

BNC, para recepcionar las señales eléctricas correspondientes al patrón local de tiempo y a su referencia; una interfaz Ethernet con conexión permanente a Internet, para transmitir los resultados de las mediciones hacia la red del Sistema Interamericano de Metrología; y un conector tipo TNC, para conectar el equipo a la antena receptora de señales de posicionamiento global [5].

Cada segundo, el sistema obtiene los datos correspondientes a los desfases del estándar local de tiempo con respecto a cada una de las señales de posicionamiento global receptionadas por sus múltiples canales y a partir de esos datos, calcula un valor promedio que despliega en el espacio “*Last Reading*” de la interfaz gráfica.

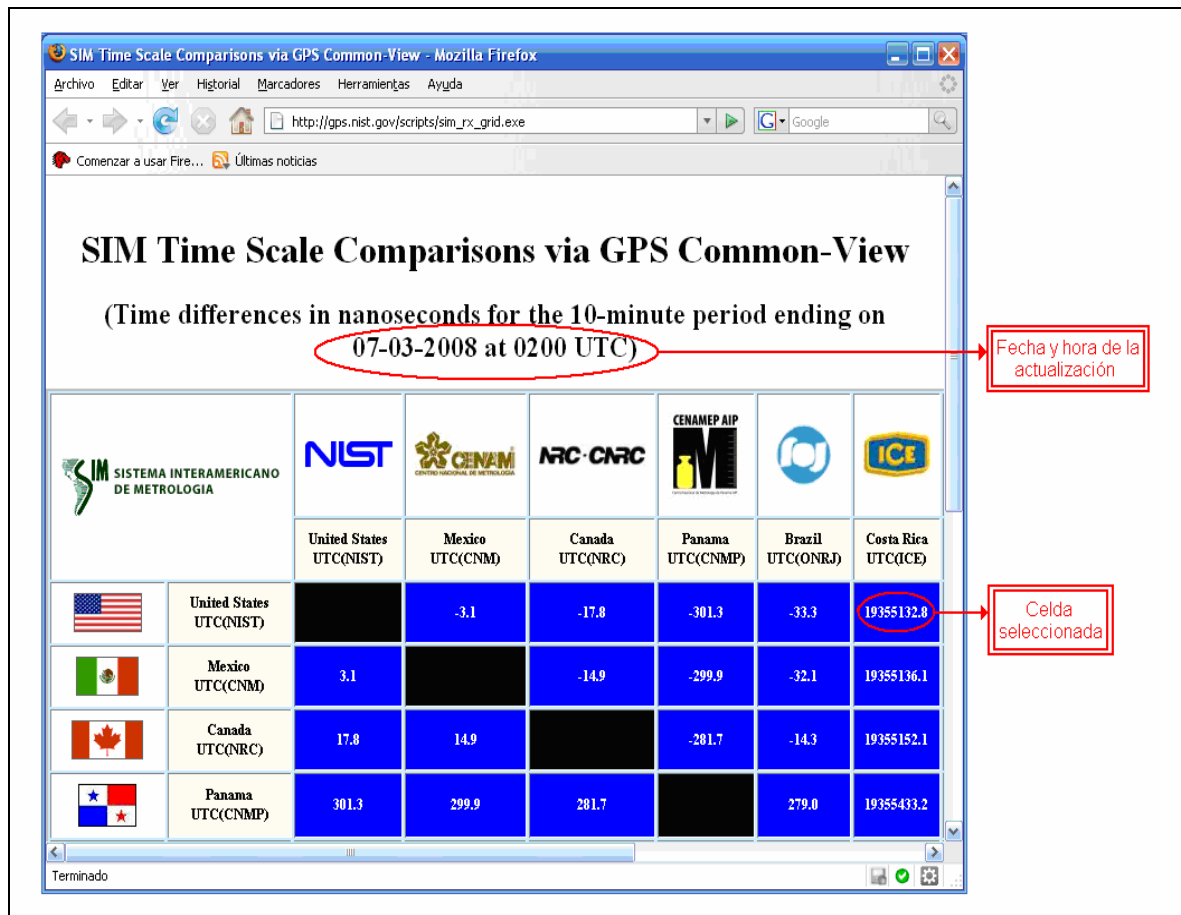


PAINT

**Figura 2.2.** Sistema de medición “SIM common-view GPS”  
(Fuente: <http://www.cenam.mx/dme/pdf/PID130597.pdf>)

### 2.3. Registro de las comparaciones de tiempo y frecuencia efectuadas por el Sistema Interamericano de Metrología

Los resultados obtenidos a partir de la operación del sistema de comparaciones de tiempo y frecuencia del Sistema Interamericano de Metrología son presentados en el sitio WEB del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos. Cada vez que se realiza el cálculo de los desfases que se producen entre los patrones nacionales de tiempo de los países que participan en el Sistema Interamericano de Metrología, utilizando la técnica “*Multi-channel GPS common-view*”, éstos son actualizados en la tabla que se presenta en la figura 2.3.



MOZILLA FIREFOX

**Figura 2.3.** Valores promedio, actualizados cada 10 minutos, de los desfases en nanosegundos que se presentan entre los patrones de tiempo de los países participantes en el Sistema Interamericano de Metrología  
(Fuente: [http://gps.nist.gov/scripts/sim\\_rx\\_grid.exe](http://gps.nist.gov/scripts/sim_rx_grid.exe))

Las actualizaciones de los valores que son desplegados durante el día en la tabla de la figura 2.3 también son registradas en el sitio WEB del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos. Así, para observar los datos que han sido presentados en una determinada celda a lo largo del día, se debe seleccionar dicha celda. En el ejemplo que se ilustra en la figura 2.4 se procedió seleccionando la celda definida por la columna 6 y la fila 1 de la tabla de la figura 2.3; por lo tanto, se puede apreciar que la fecha, la hora y el valor del desfase registrados en la última entrada de la tabla de figura 2.4 coinciden con la actualización de la celda que fue seleccionada en la figura 2.3.

Ten Minute Averages (LAB 1 - LAB 2)					
Point	Date	Time (UTC)	Time Tag	Value (ns)	CV Satellites
1	2008-07-03	00:10	54650.0069	19348353.74	4
2	2008-07-03	00:20	54650.0139	19348964.76	5
3	2008-07-03	00:30	54650.0208	19349582.03	5
4	2008-07-03	00:40	54650.0278	19350202.76	3
5	2008-07-03	00:50	54650.0347	19350818.98	5
6	2008-07-03	01:00	54650.0417	19351435.16	5
7	2008-07-03	01:10	54650.0486	19352053.09	5
8	2008-07-03	01:20	54650.0556	19352671.70	6
9	2008-07-03	01:30	54650.0625	19353291.96	6
10	2008-07-03	01:40	54650.0694	19353904.79	6
11	2008-07-03	01:50	54650.0764	19354517.05	5
12	2008-07-03	02:00	54650.0833	19355132.81	5

MOZILLA FIREFOX

**Figura 2.4.** Registro de los valores promedio del desfase en nanosegundos que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos  
(Fuente: <http://132.163.4.82/scripts/commonview-hourtable.exe?20080703006011001T>)

#### **2.4. Requerimientos técnicos de los patrones nacionales de tiempo de los países participantes en el Sistema Interamericano de Metrología**

Los laboratorios que participen en el sistema de comparaciones de estándares de tiempo y frecuencia creado por el Sistema Interamericano de Metrología deben generar, dividiendo la frecuencia de una señal local de referencia proveniente de un oscilador atómico de 5MHz o de 10MHz, su propia escala de tiempo, correspondiente a una señal de un pulso por segundo cuyo nivel de tensión sea TTL [5].

#### **2.5. El patrón nacional de tiempo de Costa Rica**

El Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas participa en las comparaciones de estándares de tiempo y frecuencia efectuadas por el Sistema Interamericano de Metrología, utilizando una escala de tiempo basada en el oscilador de cuarzo HP105B [9]. Previamente al desarrollo del presente proyecto, la frecuencia de 5MHz de la señal de referencia proveniente de este oscilador era dividida empleando el dispositivo SDG CAMPBELL CA 38-2A para obtener la señal de 1Hz correspondiente al patrón nacional de tiempo de Costa Rica. Este dispositivo es capaz de generar señales con niveles de tensión TTL a frecuencias de 1Hz, 100Hz, 10KHz y 100KHz, a partir de una señal de referencia cuya frecuencia debe ser indicada por medio de un “*dip-switch*” ubicado en el interior del dispositivo.

## **CAPÍTULO 3**

### **DEFINICIÓN DEL PROYECTO**

En este capítulo se exponen las principales características que definen al presente proyecto, las cuales corresponden a la justificación, la meta, los objetivos y la solución que se plantearon para su desarrollo.

#### **3.1. Justificación del proyecto**

El patrón nacional de tiempo de Costa Rica posee un desfase, que se va incrementando paulatinamente, con respecto a su similar de Estados Unidos, el cual mantiene una desviación inferior a 100ns en relación con el Tiempo Universal Coordinado [10]. De esta manera, un reloj que utilice el estándar nacional de tiempo de Costa Rica como segundero se retrasaría con respecto a otro reloj cuya señal de referencia corresponda al Tiempo Universal Coordinado, aunque inicialmente se hayan configurado ambos dispositivos a la misma hora; por lo tanto, en Costa Rica la hora oficial resultaría incorrecta si se establece a partir del estándar nacional de tiempo, ya que ésta se retrasaría con respecto a la hora exacta de la zona horaria mundial en que se ubica Costa Rica.

#### **3.2. Meta del proyecto**

Establecer el patrón nacional de tiempo, con referencia al Sistema Internacional de Unidades de Medida, para generar la hora oficial de Costa Rica.

#### **3.3. Objetivos del proyecto**

##### **3.3.1. Objetivo general**

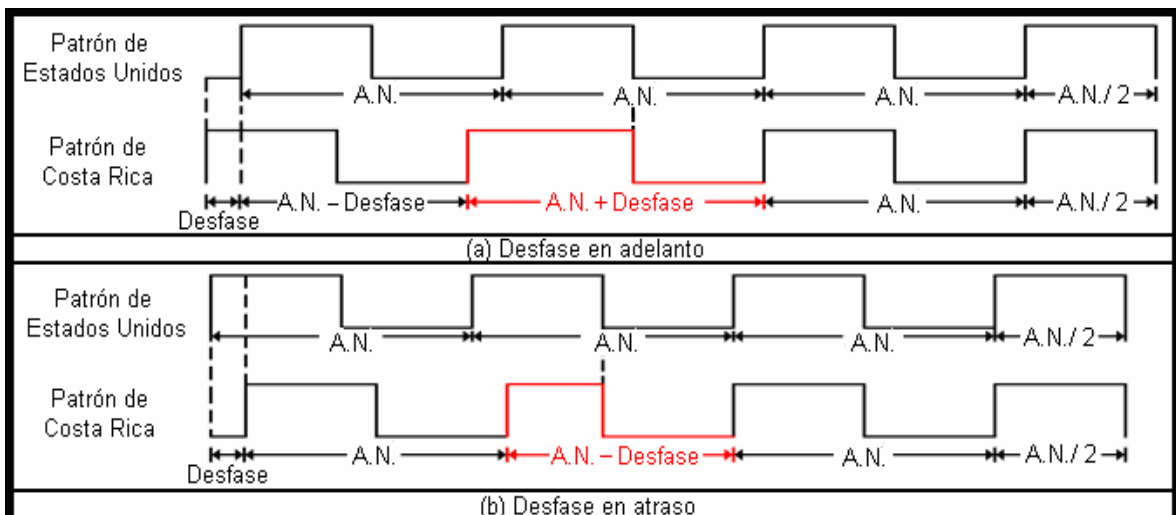
Establecer un patrón de tiempo con trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades, para generar la hora de Costa Rica.

### 3.3.2. Objetivos específicos

- a. Generar un patrón de tiempo, por medio de una señal eléctrica.
- b. Establecer la hora de Costa Rica, a partir de un patrón de tiempo.
- c. Corregir el desfase que se presenta entre los patrones de tiempo generados por el Instituto Costarricense de Electricidad y el Tiempo Universal Coordinado.
- d. Evitar interrupciones en el patrón de tiempo, provocadas por posibles fallos que se presenten en el fluido eléctrico de las instalaciones donde se encuentra el sistema instalado.

### 3.4. Solución propuesta

La corrección del desfase que se produce entre los estándares nacionales de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos se efectúa adhiriendo o suprimiendo pulsos de la señal de referencia en el patrón de tiempo que se genera localmente, de tal manera que uno de los periodos de este último se incremente o se disminuya como se observa en la figura 3.1.



PAINT

**Figura 3.1.** Diagrama de temporización para la corrección del desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos (A.N.: ancho normal del pulso)



La resolución de las correcciones que se apliquen al desfase descrito anteriormente es igual al periodo de la señal de referencia que se utilice para generar el patrón local de tiempo. Así pues, se eligió la mayor frecuencia posible para la señal de referencia, tomando en cuenta que las opciones eran 10MHz y 5MHz, con lo cual se obtuvo una resolución igual a 100ns.

El equipo que se estaba empleando, previamente a la realización del presente proyecto, para generar el patrón de tiempo de Costa Rica se podría continuar utilizando, pues, aunque la frecuencia de la señal de referencia se aumentó de 5MHz a 10MHz, el dispositivo SDG CAMPBELL CA-2A permite variaciones en su configuración para admitir diferentes frecuencias de entrada; sin embargo, procediendo de esa manera no es posible modificar el ancho de los pulsos de la señal correspondiente al patrón de tiempo que se debe generar. Por lo tanto, fue requerida la implementación de un módulo que es capaz de recibir externamente el factor por el cual divide la frecuencia de su señal de entrada. La operación de dicho módulo es tal que, en condiciones normales de operación, el factor divisor de frecuencia se mantiene constante en el valor necesario para que el periodo de la señal que se genera a su salida sea igual a 1s; mientras que, al efectuarse una corrección al desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos, la cantidad de pulsos de la señal de referencia que deben adjuntarse o eliminarse a uno de los ciclos del patrón local de tiempo se suman o se restan, respectivamente, al factor de división y, una vez finalizada la ejecución de la corrección, se restaura el factor de división a su valor original para que la frecuencia del patrón generado continúe siendo igual a 1Hz.

La generación del patrón local de tiempo no debe ser interrumpida aunque se produzcan fallas en el servicio eléctrico local, por lo tanto se incluyó una fuente auxiliar de energía constituida por una batería recargable.

El despliegue de la hora y la introducción de correcciones al desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos se realizan por medio de una computadora; sin embargo, el sistema debe prescindir de la operación de esta última en caso de que ocurran interrupciones en el fluido eléctrico local, para incrementar el periodo de tiempo durante el cual la batería

puede proporcionar energía al sistema. Así pues, la hora no puede ser generada por la computadora, ya que ésta se perdería cada vez que la computadora se apague; por lo tanto, se implementó un módulo específicamente diseñado para establecer la hora de Costa Rica a partir del patrón local de tiempo.

Las operaciones correspondientes a la generación de la hora y a la aplicación de correcciones al desfase que se presenta entre los estándares nacionales de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos fueron implementadas por aparte, ya que sus ejecuciones no deben interrumpirse entre sí. Tomando en cuenta que cada una de estas operaciones necesita establecer un enlace de comunicación serie con la computadora, se tuvo que multiplexar el único puerto serie RS232 que ésta posee libre.

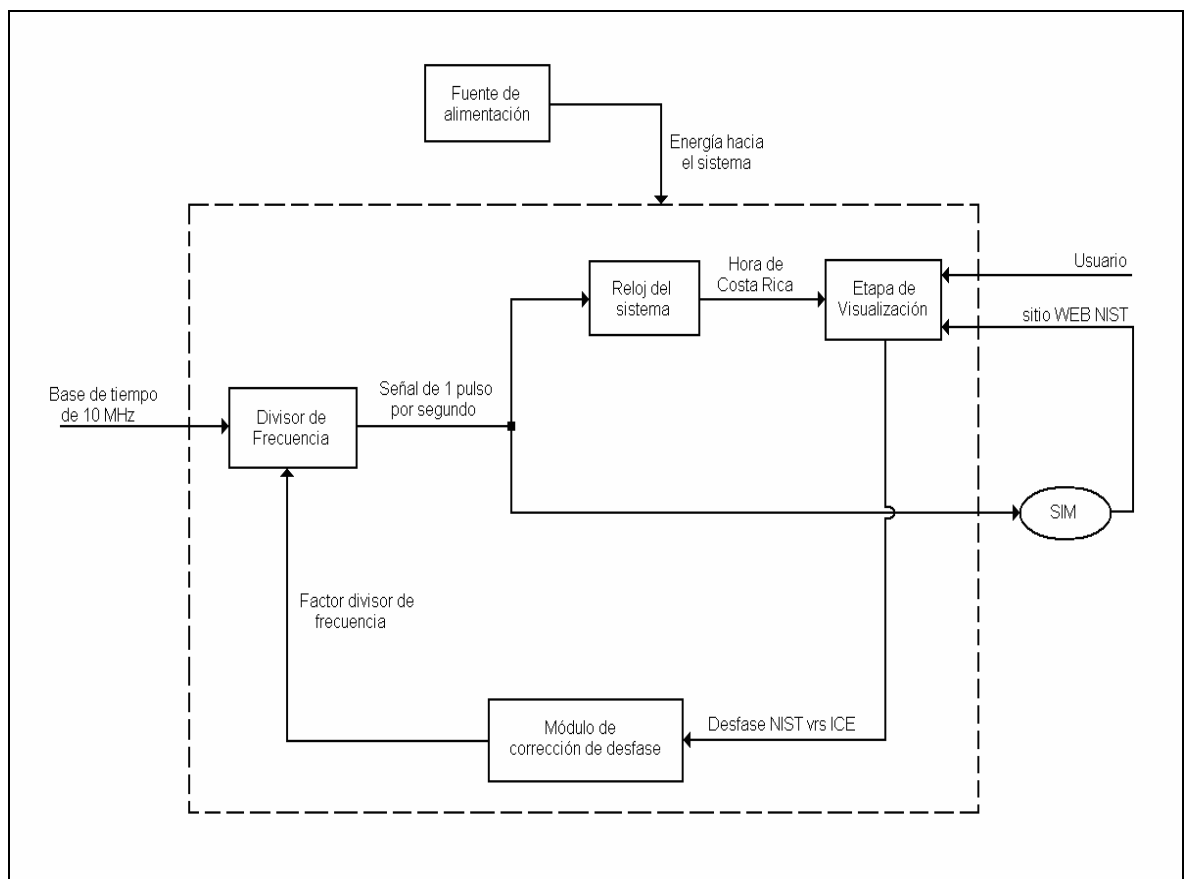
## CAPÍTULO 4

### DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

A continuación se describen detalladamente los módulos que conforman el sistema correspondiente a la solución que se propuso en el capítulo anterior, incluyendo aspectos como la interacción entre ellos y su implementación.

#### 4.1. Estructura modular del sistema

En la figura 4.1 se presenta el diagrama modular del sistema que se desarrolló como respuesta para el problema planteado por el Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas, correspondiente al establecimiento de la hora de Costa Rica a partir de un patrón de tiempo generado localmente.



PAINT

Figura 4.1. Diagrama modular del sistema implementado

A partir de una base de tiempo de 10MHz, el divisor de frecuencia genera una señal de un pulso por segundo, correspondiente al patrón local de tiempo. Esta señal es empleada como segundero del reloj del sistema, que indica la hora de Costa Rica, y también, es emitida hacia a la red del Sistema Interamericano de Metrología (SIM), por medio del equipo de medición “SIM common-view GPS”, para compararla con los patrones de tiempo de otros países, entre los cuales se incluye el del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos (NIST, por sus siglas en inglés).

La etapa de visualización despliega la hora generada por el reloj del sistema en un “display” tipo LCD o en una computadora, dependiendo si se producen o no, respectivamente, interrupciones en el fluido eléctrico local. La computadora también se encarga de recepcionar el dato correspondiente al desfase que se presenta entre los estándares de tiempo de Costa Rica (ICE) y Estados Unidos (NIST), el cual es introducido manualmente por un usuario o capturado automáticamente desde el sitio WEB del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos, para transmitirlo hacia el módulo de corrección de desfase.

A partir del dato que el módulo de corrección de desfase reciba desde la etapa de visualización, se calcula el valor del factor divisor de frecuencia que sea capaz de corregir el desfase capturado por la etapa de visualización, para enviarlo hacia el divisor de frecuencia.

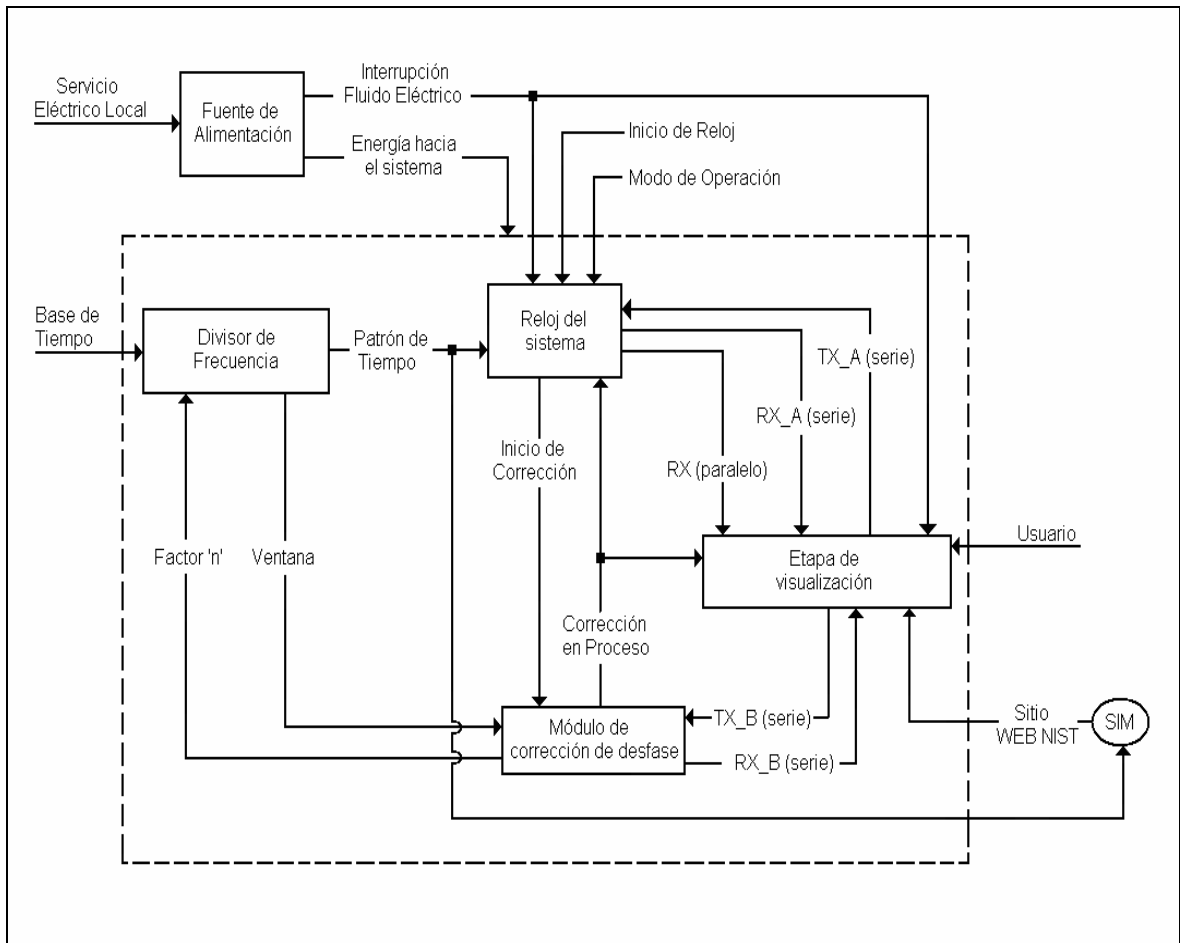
La fuente de alimentación se encarga de suministrar energía al sistema completo, incluso cuando se producen averías en el servicio eléctrico local.

#### **4.2. Descripción funcional del sistema**

Las interfaces de conexión, correspondientes a señales y líneas de datos, que permiten la comunicación entre los módulos que se presentaron en la sección anterior se describen en la tabla 4.1 y se ilustran en el diagrama de la figura 4.2. Cabe destacar que solamente un enlace de comunicación serie (“RX\_A [serie]”, “TX\_A [serie]” o “RX\_B [serie]”, “TX\_B [serie]”) puede establecerse a la vez.

**Tabla 4.1.** Interfaces del sistema implementado

<b>Tipo de Interfaz</b>	<b>Nombre de la interfaz</b>	<b>Fuente generadora</b>	<b>Función</b>
Señal de entrada	Base de Tiempo	Oscilador de 10MHz	Referencia del patrón local de tiempo
	Servicio Eléctrico Local	Toma corrientes del laboratorio	Suministrar energía a la Fuente de alimentación
	Inicio de Reloj	Usuario	Indica que debe iniciarse el despliegue de la hora
	Modo de Operación		Indica el modo en que se introducirán las correcciones al desfase (0 para manual y 1 para automático)
	Usuario		Configuración de la hora o introducción manual de correcciones al desfase
	Sitio WEB NIST	SIM	Envía hacia la etapa de visualización el dato correspondiente al desfase que se produce entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos
Señal intermodular	Ventana	Divisor de frecuencia	Pulso que se genera justamente en el flanco negativo de la señal Patrón de Tiempo para indicar en que instante puede ser modificado el factor 'n'
	Patrón de Tiempo		Patrón de tiempo generado localmente
	Interrupción Fluído Eléctrico	Fuente de alimentación	Indica que el Servicio Eléctrico Local fue interrumpido y habilita o deshabilita el "display" tipo LCD
	Alimentación del Sistema		Suministra energía al sistema
	Inicio de Corrección	Reloj del sistema	Indica que una corrección al desfase se encuentra en espera de ser ejecutada
	Corrección en Proceso	Módulo de corrección de desfase	Indica que una corrección al desfase se está ejecutando y selecciona el enlace serie de la computadora que se debe establecer (0 para A y 1 para B)
Interfaz paralela datos	Factor 'n'	Divisor de frecuencia	Factor divisor de frecuencia
	RX (paralelo) RX_A (serie)	Reloj del sistema	Envía el dato correspondiente a la hora actual hacia la etapa de visualización
Interfaz serie de datos	TX_A (serie)	Etapa de visualización	Envía, hacia el reloj del sistema, una configuración de la hora o un indicador de que una corrección al desfase se encuentra en espera de ser ejecutada
	TX_B (serie)		Envía, hacia el módulo de corrección de desfase, el dato correspondiente al desfase capturado por la etapa de visualización
	RX_B (serie)	Módulo de corrección de desfase	Envía un indicador hacia la etapa de visualización cuando el módulo de corrección de desfase se encuentra preparado para recibir el valor del desfase

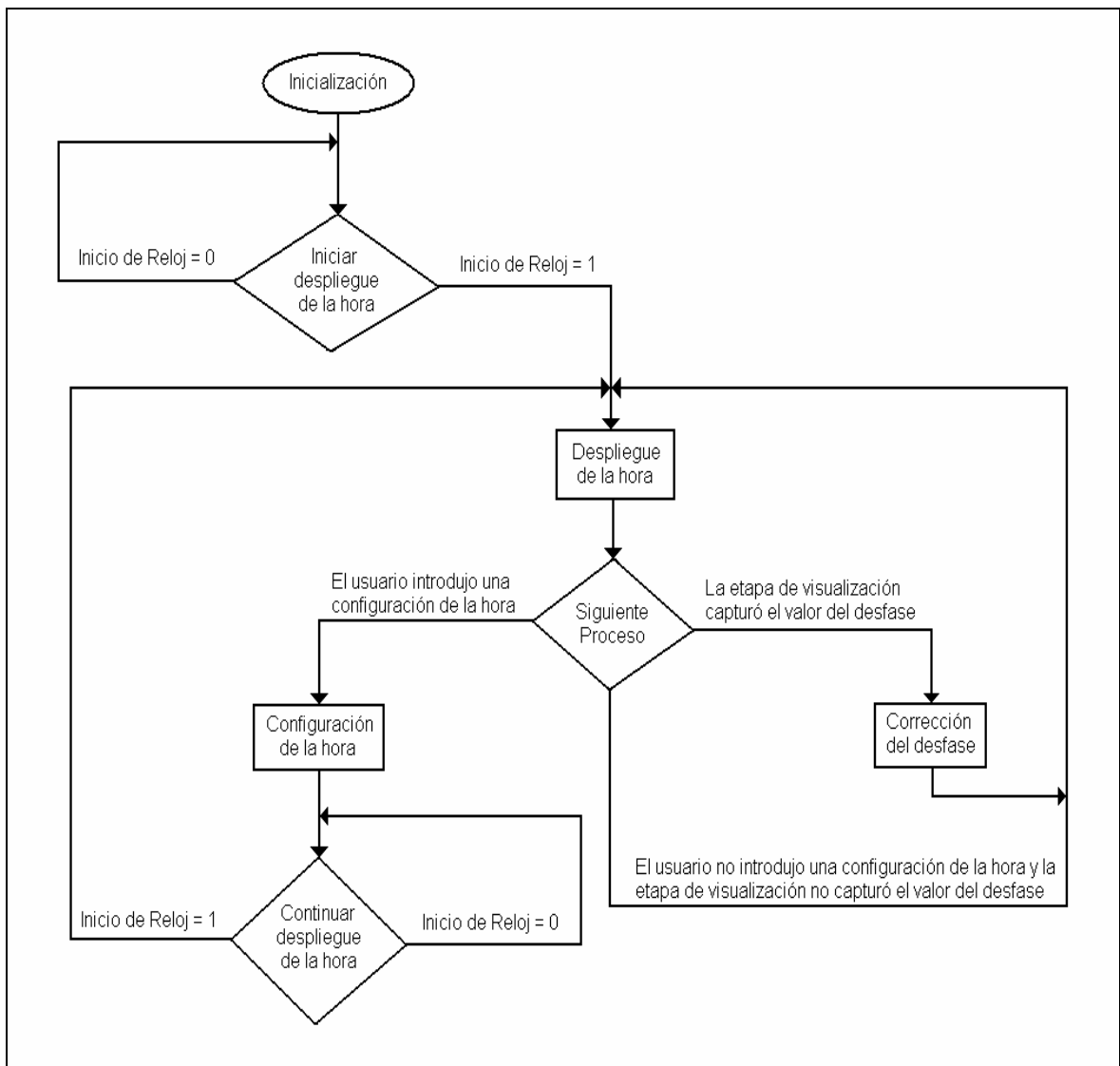


PAINT

**Figura 4.2.** Diagrama de conexiones intermodulares del sistema implementado

En la figura 4.3 se presenta el diagrama básico de ejecución del sistema implementado, el cual muestra tres operaciones principales: el despliegue de la hora, la configuración de la hora y la corrección del desfase que se produce entre los patrones nacionales de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos. Cuando finaliza la ejecución correspondiente a la inicialización del sistema, éste procede a esperar por la activación de la señal “*Inicio de Reloj*”, para empezar a generar y desplegar la hora. El despliegue de la hora puede ser interrumpido por la introducción de una configuración de la hora o de una corrección al desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos, ya que las tres operaciones principales del sistema deben compartir el único puerto de comunicación serie que posee la computadora de la etapa de visualización. En

caso de que se ejecute una configuración de la hora, el sistema debe esperar una vez más por la activación de la señal “Inicio de Corrección”, para controlar el momento en que la nueva hora que se configuró empiece a funcionar. Cuando se está realizando una corrección al desfase, el reloj del sistema continúa generando la hora pero sin desplegarla, para que ésta no se retrase; y una vez que la corrección ha finalizado, el sistema continúa desplegando la hora sin esperar por ninguna indicación.



PAINT

**Figura 4.3.** Diagrama de procesos del sistema implementado

A continuación se describe detalladamente la ejecución, por medio de la actividad de las interfaces descritas en la tabla 4.1, de cada uno de los procesos presentados en la figura 4.3:

- a. *“Inicialización”*: El factor ‘n’ se establece en el valor necesario para que la frecuencia de la señal *“Patrón de Tiempo”* sea igual a 1Hz; se desactiva la señal *“Inicio de Corrección”*; se fuerzan a 0 lógico los estados de las señales *“Modo de Operación”*, para que la introducción de las correcciones sea manual por defecto, e *“Inicio de Reloj”*, para que ésta se encuentre inactiva cuando se inicie el proceso *“Iniciar despliegue de la hora”*; se asigna el valor 0 a la señal *“Corrección en Proceso”*, para establecer el enlace de comunicación serie entre el reloj del sistema y la etapa de visualización (líneas *“TX\_A [serie]”* y *“RX\_A [serie]”*); y se configura la hora actual del reloj del sistema con el valor *“12:00:00”*.
- b. *“Iniciar despliegue de la hora”*: El factor ‘n’ se mantiene en el valor necesario para que la señal *“Patrón de Tiempo”* se esté generando con una frecuencia igual a 1Hz y el sistema se encuentra a la espera de la activación de la señal *“Inicio de Reloj”*, para llevar a cabo el proceso *“Despliegue de la hora”*.
- c. *“Despliegue de la hora”*: Cada vez que se produce un flanco positivo en la señal *“Patrón de Tiempo”*, el reloj del sistema envía el dato correspondiente a la hora actual hacia la etapa de visualización sólo en caso de que el valor de la señal *“Corrección en Proceso”* sea igual a 0. La hora actual es enviada por la interfaz *“RX (paralelo)”* hacia el *“display”* tipo LCD o por la interfaz *“RX\_A (serie)”* hacia la computadora, dependiendo si se encuentra activa o no, respectivamente, la señal *“Interrupción Fluido Eléctrico”*. En caso de que la transmisión de la hora se realice hacia la computadora, también se emite hacia ésta el valor de la señal *“Modo de Operación”*. Sin importar si la hora fue transmitida o no hacia la etapa de visualización, el reloj del sistema siempre realiza el cálculo de la hora actual para la siguiente iteración de este proceso.



d. *“Configuración de la hora”*: Luego de que una configuración a la hora es introducida por medio de la interfaz *“Usuario”*, la etapa de visualización envía el dato correspondiente a la nueva hora hacia el reloj del sistema, utilizando la interfaz *“TX\_A (serie)”*, y después, tal dato se establece como la hora actual para la siguiente iteración del proceso *“Despliegue de la hora”*.

e. *“Continuar despliegue de la hora”*: El sistema fuerza a 0 el estado lógico de la señal *“Inicio de Reloj”* y luego, procede a esperar por una nueva activación de esta señal para continuar con la ejecución del proceso *“Despliegue de la hora”*.

f. *“Corrección del desfase”*: Dependiendo del último reporte del estado de la señal *“Modo de Operación”* que efectuó el reloj del sistema a la etapa de visualización, esta última puede obtener el valor del desfase que se presenta entre los patrones de Costa Rica y Estados Unidos manualmente, a partir de la interfaz *“Usuario”*, o automáticamente, por medio de la interfaz *“sitio WEB NIST”*. Cuando la etapa de visualización captura el valor del desfase, se envía un indicador hacia el reloj del sistema, utilizando la interfaz *“TX\_A (serie)”*. Luego, el reloj del sistema procede con la activación de la señal *“Inicio de Corrección”* para que el módulo de corrección de desfase se percate de la situación y active la señal *“Corrección en Proceso”*; provocando así, la deshabilitación del despliegue de la hora, aunque el cálculo de ésta si se continúa ejecutando, y el establecimiento del enlace de comunicación serie entre la etapa de visualización y el módulo de corrección de desfase (líneas *“TX\_B [serie]”* y *“RX\_B [serie]”*). Después, el módulo de corrección de desfase le indica, utilizando la interfaz *“RX\_B (serie)”*, a la etapa de visualización que el enlace de comunicación serie entre ellos se ha establecido adecuadamente y entonces, se procede con la transmisión del valor del desfase, por medio de la interfaz *“TX\_B (serie)”*, desde la etapa de visualización hacia el módulo de corrección de desfase. Al terminar dicha transmisión, la señal *“Corrección en Proceso”* se desactiva para que se reestablezca el enlace de comunicación serie entre el reloj del sistema y la etapa de visualización (líneas *“TX\_A [serie]”* y *“RX\_A [serie]”*), con lo cual se habilita de nuevo el despliegue de la hora. El

módulo de corrección de desfase calcula, a partir del dato que recibió por la interfaz “*TX\_B (serie)*”, el valor del factor ‘*n*’ que sea capaz de corregir el desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos. Posteriormente, el módulo de corrección de desfase debe esperar por la activación de la señal “*Ventana*” para enviar el factor ‘*n*’ que calculó hacia el divisor de frecuencia. Finalmente, al producirse el siguiente flanco positivo de la señal “*Ventana*”, se restaura el factor ‘*n*’ a su valor original para que la frecuencia de la señal “*Patrón de Tiempo*” siga siendo igual a 1Hz.

### **4.3. Diseño e implementación de los módulos del sistema**

#### **4.3.1. Generador de la señal de referencia**

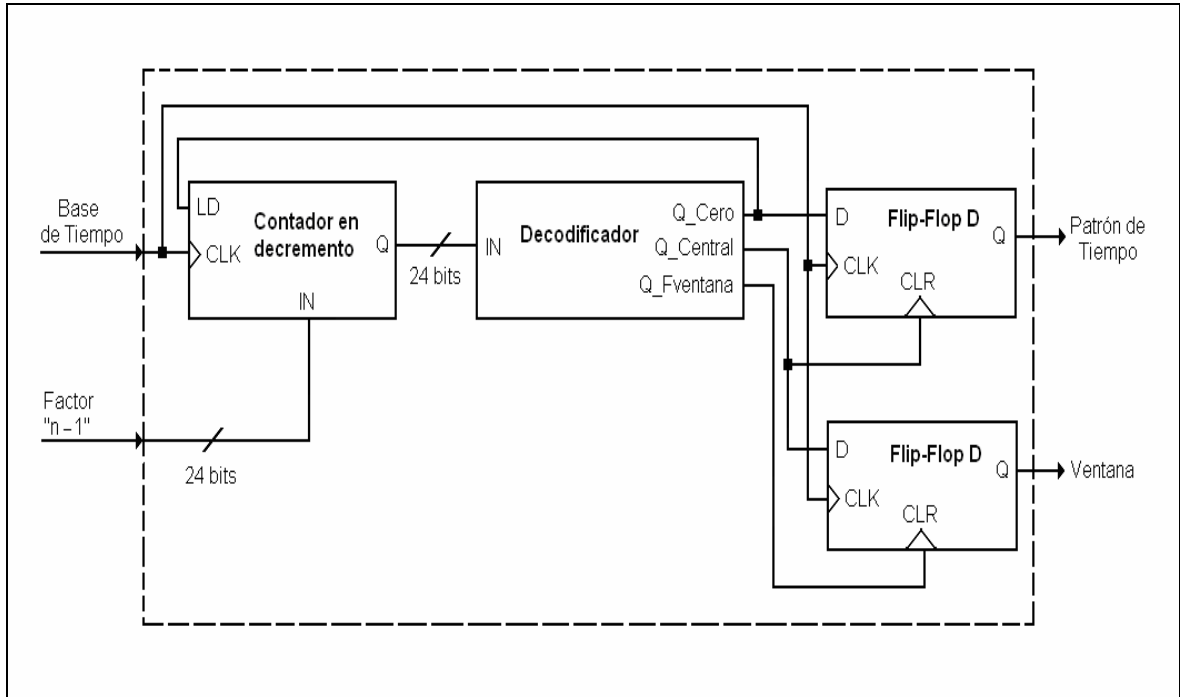
La señal “*Base de Tiempo*”, cuya frecuencia de 10MHz es procesada por el módulo divisor de frecuencia, se obtuvo a partir del oscilador de cuarzo HP105B que se utilizaba previamente a la realización del presente proyecto; sin embargo, la frecuencia de tal dispositivo es de 5MHz, por lo que fue necesaria la inclusión de un generador sintetizado de señales RF Fluke 6061A [11] en el sistema. La señal de 5MHz del oscilador se utilizó como entrada de referencia para el generador y la frecuencia de salida de este último se configuró a 10MHz.

El nivel de tensión de la señal de 10MHz se atenuaba al conectarse directamente del generador al divisor de frecuencia; por lo tanto, se ubicó un conector FEED THRU TERMINAL 11048C a la salida del generador, para asegurar que la impedancia de salida de este último fuera igual a 50Ω.

#### **4.3.2. Divisor de frecuencia**

##### **4.3.2.1. Estructura lógica del divisor de frecuencia**

Como se puede apreciar en la figura 4.4, el divisor de frecuencia se encuentra constituido básicamente por un contador de 24 bits con carga, un decodificador que también es de 24 bits y dos “*flip-flop’s*” tipo D con disparo y borrado por flanco positivo.



PAINT

**Figura 4.4.** Diagrama lógico del divisor de frecuencia

La función del decodificador consiste en detectar los estados del contador que se utilizan para controlar la generación de las señales de salida y la carga del contador. A continuación se describen tales estados:

- a.  $Q\_Cero$ : es el estado 0 del contador y se utiliza para que, con el siguiente flanco positivo de la señal "*Base de Tiempo*", se cargue el valor del factor ' $n-1$ ' como siguiente estado del contador y se dispare el "*flip-flop*" correspondiente a la señal "*Patrón de Tiempo*".
- b.  $Q\_Central$ : es el estado del contador cuyo valor es igual a la mitad del factor ' $n-1$ ' que se requiere para que la frecuencia de la señal "*Patrón de tiempo*" sea igual a 1Hz. Esta detección se utiliza para que, con el siguiente flanco positivo de la señal "*Base de Tiempo*", se borre el "*flip-flop*" correspondiente a la señal "*Patrón de Tiempo*" y se dispare el "*flip-flop*" correspondiente a la señal "*Ventana*".

c. Q\_Fventana: es un estado del contador cuyo valor debe encontrarse entre los estados Q\_Cero y Q\_Central. Esta detección se utiliza para que, con el siguiente flanco positivo de la señal “*Base de Tiempo*”, se borre el “*flip-flop*” correspondiente a la señal “*Ventana*”.

De acuerdo con la anterior definición de estados, cada cuenta a realizar por el divisor de frecuencia se efectúa desde el estado “*n-1*” hasta el estado 0. Cabe destacar que, como los contadores incluyen el estado 0, se modificó la designación del factor divisor de frecuencia por “*n-1*”; pues, para dividir una frecuencia por ‘*n*’, a partir de este método, se debe contar desde “*n-1*” hasta 0. El número de estados que debe poseer un contador para ser capaz de dividir una frecuencia de 10MHz a 1Hz corresponde a 10 millones; por lo tanto, el valor del factor “*n-1*” en condiciones normales de operación, cuando no se está aplicando una corrección al desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos, debe ser 9.999.999.

El ciclo de trabajo de la señal “*Patrón de Tiempo*” será igual a 50% cuando su frecuencia sea 1Hz; pues, su flanco positivo se produce al inicio de cada cuenta, justo después de que el contador atraviesa por el estado Q\_Cero, y su flanco negativo ocurre a la mitad de cada cuenta, cuando el contador sobrepasa el estado Q\_Central.

La importancia de generar la señal “*Ventana*” radica en evitar que el factor “*n-1*” se modifique justo en el momento en que el contador carga el valor de entrada como siguiente estado de su cuenta, ya que se podría cargar un dato incorrecto como producto de la transición que se realiza al cambiar este valor. Así pues, los pulsos de esta señal se generan en el centro de cada cuenta, iniciando en el estado Q\_Central y finalizando en el estado Q\_Fventana, para que el factor ‘*n-1*’ sea modificado lo más distante posible del momento en que se carga el contador.

#### **4.3.2.2. Implementación del divisor de frecuencia a partir de un dispositivo programable**

A continuación se presentan las principales razones por las que se decidió implementar el divisor de frecuencia utilizando un dispositivo programable:

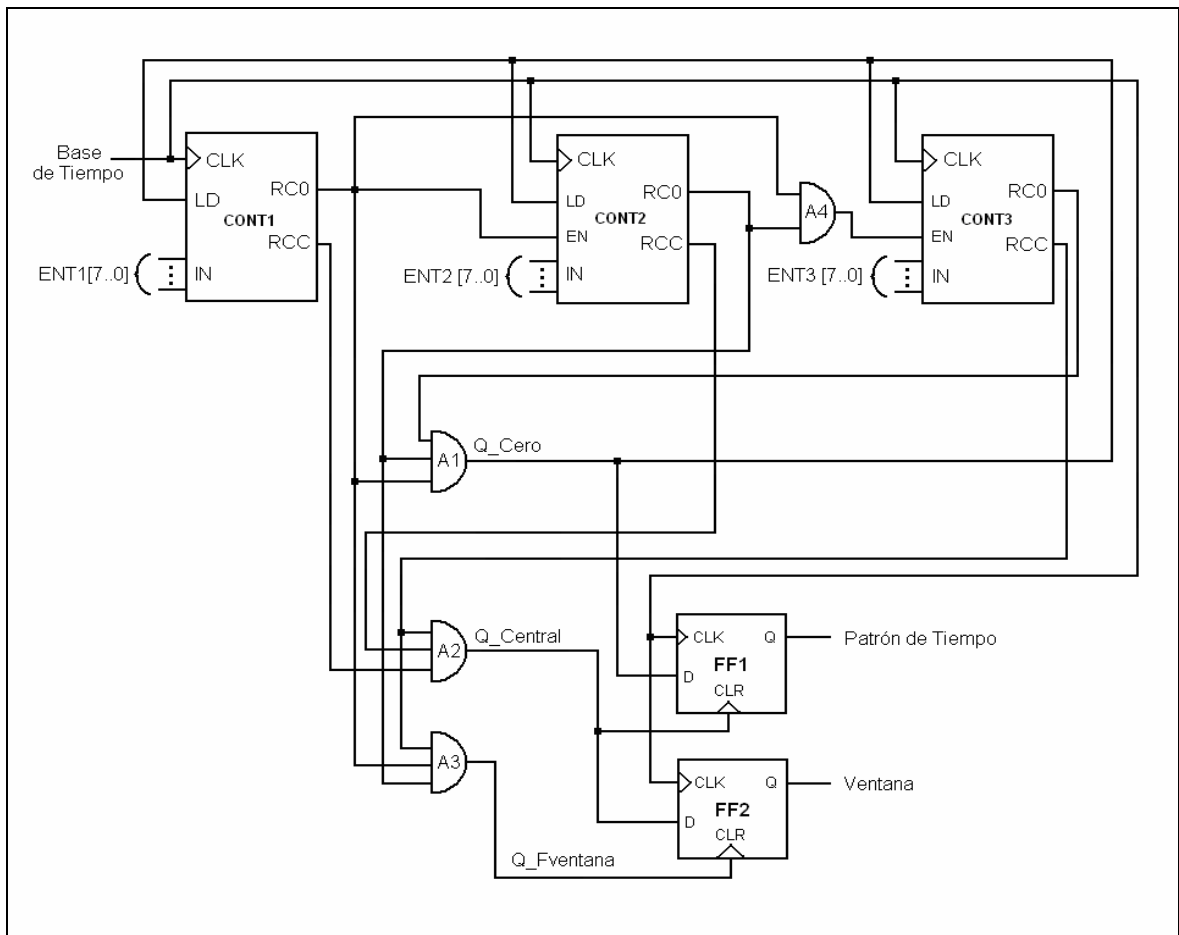
- a. Disminución del efecto del ruido sobre el sistema: Las conexiones externas entre componentes integrados se encuentran expuestas a la recepción de ruido proveniente de otros equipos eléctricos presentes en el laboratorio, por esta razón tales conexiones se efectuaron en el interior de un solo dispositivo físico programable.
- b. Reducción del tamaño físico del sistema: En caso de no haber realizado la implementación del divisor de frecuencia a partir de un dispositivo programable, se hubieran requerido los componentes físicos correspondientes a 3 memorias ROM de 8 bits (programadas como decodificadores), 3 contadores de 8 bits con carga (configurados en cascada) y 2 “flip-flop’s” tipo D.

#### **4.3.2.3. Implementación del divisor de frecuencia en “Verilog”**

El lenguaje de programación “Verilog” fue elegido para realizar la implementación del divisor de frecuencia porque se encuentra orientado al diseño modular, lo cual hace posible la implementación programada de cada uno de los componentes presentados en la figura 4.4 y de su posterior interconexión.

Otra ventaja de “Verilog” es que permite desarrollar máquinas de estados, a partir de las cuales se pueden implementar contadores que generen señales cuando atraviesen por determinados estados. Así pues, se pudieron haber realizado las implementaciones del contador y del decodificador por medio de un solo módulo constituido por una máquina de estados; sin embargo, el diseño fue segmentado en 3 sub-módulos de 8 bits que se dispusieron en cascada, porque se tomó en cuenta que para la detección de estados se efectúan comparaciones que podrían saturar la ejecución de un solo módulo si se realizan entre datos de 24 bits.

En la figura 4.5 se presenta el diagrama que ilustra el diseño preliminar del divisor de frecuencia, en el cual se puede observar que cada sub-módulo contador (CONT1, CONT2 y CONT3) posee dos salidas denominadas RC0 y RCC. Las salidas RC0's indican el estado 0 de cada sub-módulo contador de manera que, al combinarlas por medio de una compuerta lógica AND, detectan el estado Q\_Cero del contador total de 24 bits; mientras que, las salidas RCC's son tales que, al aplicarles también una compuerta AND, indican cuando el contador total de 24 bits se encuentra en el estado Q\_Central. Para la detección del estado Q\_Fventana se efectuó una combinación entre salidas RCC's y RC0's, específicamente se aplicó una compuerta AND a las salidas RCC de CONT3, RC0 de CONT2 y RC0 de CONT1; esto con el fin de aprovechar las operaciones de comparación que ya se encontraban incluidas en el diseño.

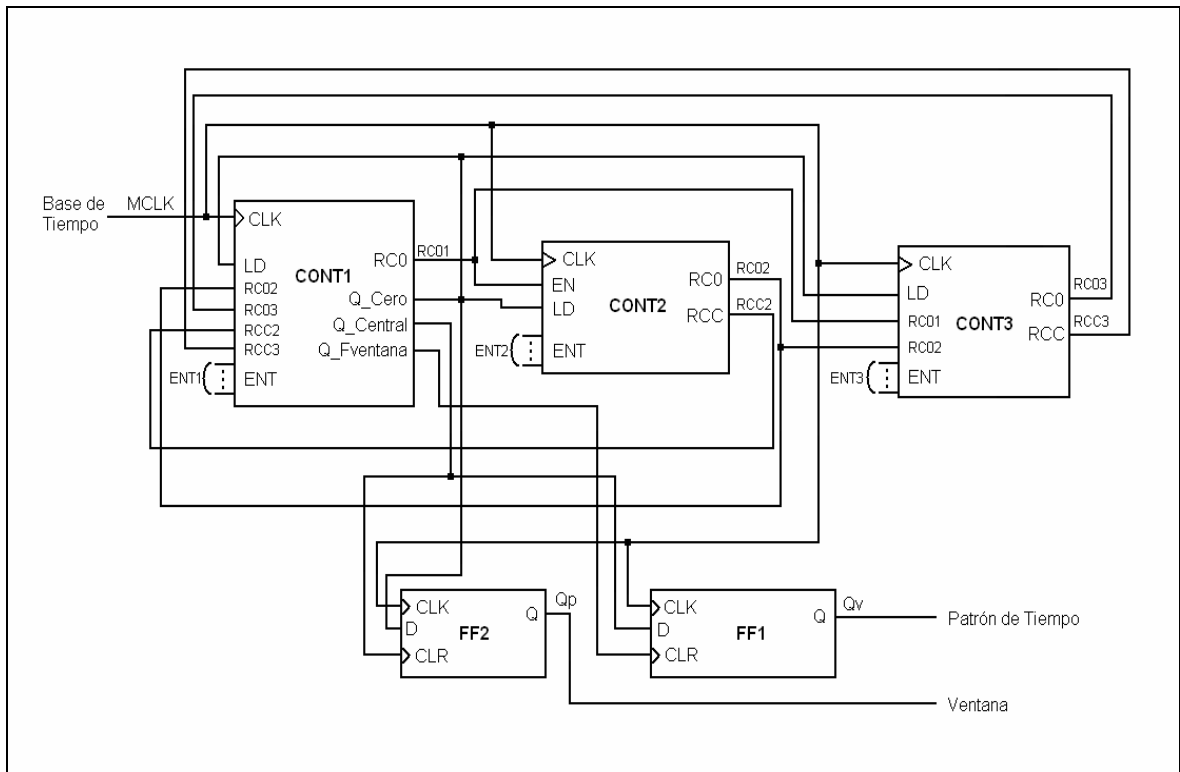


PAINT

**Figura 4.5.** Diagrama del diseño preliminar del divisor de frecuencia

En el diagrama de la figura 4.5 también se pueden apreciar las conexiones necesarias para lograr la configuración en cascada de los 3 sub-módulos contadores. La entrada CLK, correspondiente a la señal “*Base de Tiempo*”, es la misma para todos los sub-módulos contadores; sin embargo, la conmutación de cada contador a su respectivo siguiente estado, al producirse el próximo flanco positivo de la señal “*Base de Tiempo*”, depende de su propia entrada de habilitación EN: El contador de bits menos significativos CONT1 siempre se encuentra habilitado para contar porque no posee entrada de habilitación y en el caso de los demás contadores, las salidas RC0's de los contadores que les sean menos significativos deben encontrarse activas para que éstos se habiliten; es decir que CONT2 se habilita cuando CONT1 se encuentra en el estado 0 y CONT3 se habilita cuando CONT1 y CONT2 se desbordan simultáneamente (se aplicó una compuerta AND a las salidas RC0's de estos dos contadores). La recepción del factor “*n-1*” se encuentra constituida por la concatenación de las entradas ENT1, ENT2 y ENT3 que simultáneamente son cargadas por CONT1, CONT2 y CONT3, respectivamente, cuando se produce el siguiente flanco positivo de la señal “*Base de Tiempo*” después de que el contador total de 24 bits alcanzó el estado Q\_Cero.

En la figura 4.6 se muestra el diagrama de la implementación, por medio del lenguaje de programación “*Verilog*”, del diseño preliminar que se presentó en la figura 4.5, el cual requirió algunas modificaciones porque el compilador utilizado (software “*Project Navigator*”) generaba mensajes de error cuando se trataban de incluir las compuertas lógicas AND como módulos independientes. Así pues, las compuertas A1, A2 y A3 de la figura 4.5 fueron incluidas en el sub-módulo CONT1, por lo que las salidas RC0's y RCC's de CONT2 y de CONT3 (señales RC02, RCC2, RC03 y RCC3) tuvieron que conectarse directamente a CONT1; y la compuerta A4, también presente en la figura 4.5, se introdujo en el sub-módulo CONT3, siendo necesaria la recepción de las salidas RC0's de CONT1 y CONT2 (señales RC01 y RC02) por parte de CONT3.



PAINT

**Figura 4.6.** Diagrama de la implementación del divisor de frecuencia a partir del lenguaje de programación “Verilog”

#### 4.3.2.4. Selección del dispositivo programable CPLD XC9572 para la implementación del divisor de frecuencia

El dispositivo utilizado para almacenar y ejecutar el programa del divisor de frecuencia, desarrollado a partir del lenguaje de programación “Verilog”, fue el CPLD XC9572. Las principales características que influyeron en su elección se describen a continuación [12]:

- a. La memoria del dispositivo debe ser no volátil: Al interrumpirse el suministro de energía, el programa del divisor de frecuencia debe permanecer en la memoria del dispositivo.
- b. Capacidad del dispositivo (macrocelas): Se podría optar por el dispositivo XC9536 que posee 36 macrocelas, pues, el programa requiere sólo 34 macrocelas; sin embargo, en caso de que se necesite realizar alguna



modificación al programa, esta capacidad podría resultar insuficiente. Por lo tanto, se eligió el dispositivo XC9572 que posee 72 macroceldas.

c. Frecuencia de operación: La frecuencia de 10MHz de la señal que debe ser procesada por el divisor de frecuencia es superada por la frecuencia máxima de operación de los contadores internos ( $f_{CNT}$ ) del XC9572, que es de 125MHz.

d. Número de pines: Se utilizó el encapsulado PLCC-44 que posee 44 pines (36 disponibles), con lo cual se supera la cantidad de pines requerida por el divisor de frecuencia (27 pines).

En la tabla 4.2 se describe la configuración de pines del dispositivo XC9572, obtenida a partir de la implementación del diseño del divisor de frecuencia utilizando el software “Project Navigator”.

**Tabla 4.2.** Configuración de pines para el dispositivo XC9572 que se utilizó en la implementación del divisor de frecuencia

<b>Factor divisor de frecuencia “n-1”</b>			
<b>Número de bit de la respectiva entrada ENT</b>	<b>Pines del XC9572</b>		
	<b>ENT1</b>	<b>ENT2</b>	<b>ENT3</b>
0	38	19	12
1	11	3	25
2	43	27	33
3	28	9	2
4	4	22	1
5	36	37	14
6	20	29	18
7	8	44	34
<b>Salidas del divisor de frecuencia</b>			
<b>Salida</b>	<b>Pines del XC9572</b>		
Qp (Patrón de Tiempo)	24		
Qv (Ventana)	35		
<b>Alimentación del divisor de frecuencia</b>			
<b>Alimentación</b>	<b>Pines del XC9572</b>		
Vcc	21		
	32		
	41		
Gnd	10		
	23		
	31		
MCLK (Base de Tiempo)	5		

### 4.3.3. Reloj del sistema

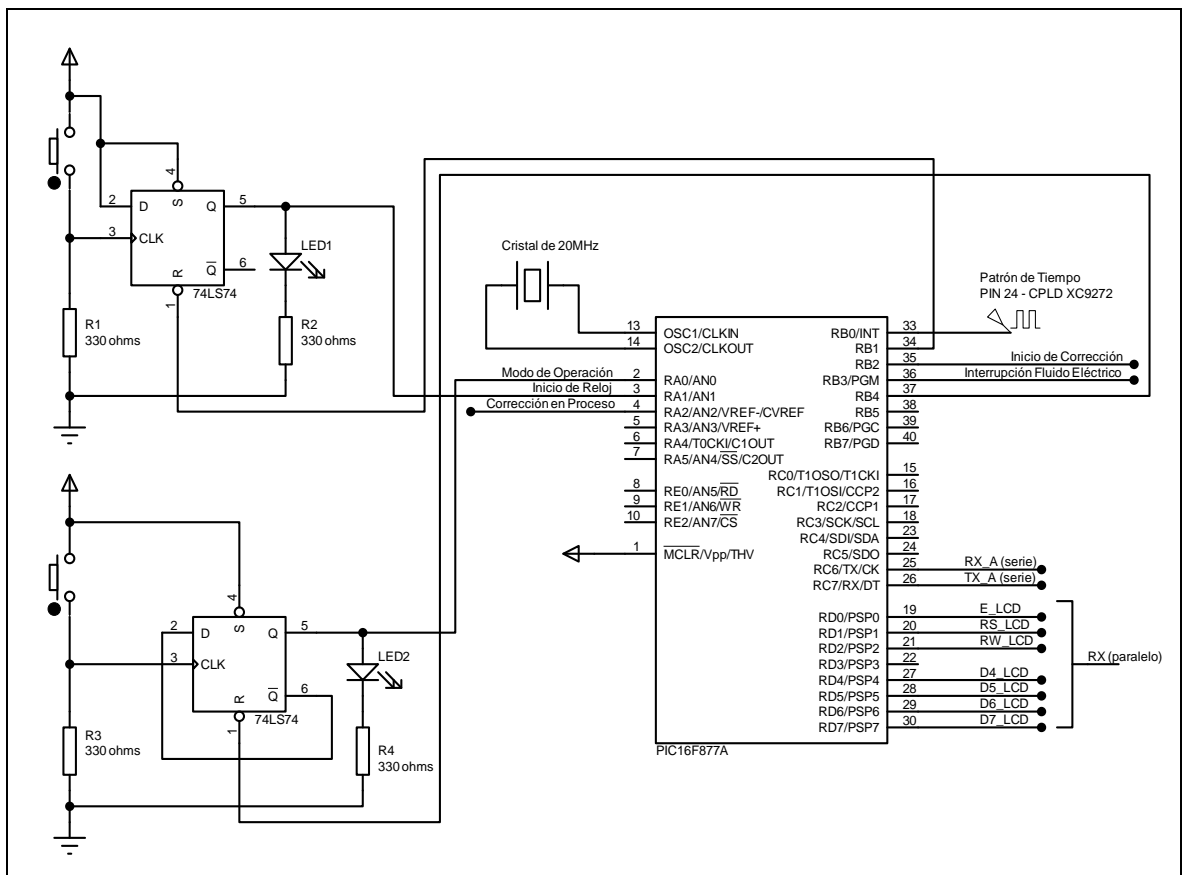
#### 4.3.3.1. Hardware del reloj del sistema

La implementación física del reloj del sistema se fundamentó en el microcontrolador PIC16F877A, debido a las siguientes características que posee tal dispositivo [13]:

- a. Un receptor de interrupciones externas, constituido por el pin INT\_Ext (B0), para detectar los flancos positivos de la señal *“Patrón de Tiempo”*.
- b. Un puerto extra PORTD para controlar el envío de datos hacia el *“display”* tipo LCD de la etapa de visualización; pues, en el puerto PORTB, que se utiliza comúnmente en los microcontroladores tipo PIC para tal fin, se encuentra el pin Int\_Ext (B0).
- c. Un módulo USART a partir del cual se puede establecer un enlace de comunicación serie con la computadora de la etapa de visualización, a una velocidad máxima de 19200 bits por segundo.
- d. La máxima frecuencia de operación (20MHz) disponible en el mercado local: Conforme mayor sea esta frecuencia, menor será el retardo de tiempo que se presente entre la detección de un flanco positivo de la señal *“Patrón de Tiempo”* y el despliegue de la hora actual.

En la figura 4.7 se presenta el diagrama eléctrico del reloj del sistema, el cual muestra que la introducción manual de las señales *“Inicio de Reloj”* y *“Modo de Operación”* se implementó a partir de botones de pulsación conectados en las entradas de disparo CLK de los *“flip-flop’s”* tipo D de un circuito integrado 74LS74 (este componente en realidad posee 2 *“flip-flop’s”*, aunque en la figura 4.7 se muestran por separado [14]). Para forzar a 0 lógico los estados de estas 2 señales simplemente se deben reiniciar los *“flip-flop’s”* aplicando 0V en sus entradas R. A la salida Q de cada *“flip-flop”* se incluyó un indicador lumínico tipo LED para que el usuario pueda visualizar el estado actual de las señales *“Inicio de Reloj”* y *“Modo de Operación”*. El *“flip-flop”* correspondiente a la señal *“Modo de*

Operación” se encuentra en configuración tipo T (la salida Q’ se encuentra conectada a la entrada D), de modo que el estado lógico de su salida Q conmuta cada vez que el usuario presiona el botón que se encuentra conectado a su entrada CLK; mientras que, la entrada D del otro “flip-flop” se conectó a la alimentación para que, cuando se presione el botón ubicado en su entrada de disparo CLK, se establezca el nivel de la señal “Inicio de Reloj” en 1 lógico independientemente de su estado anterior.



PROTEUS 7 PROFESSIONAL

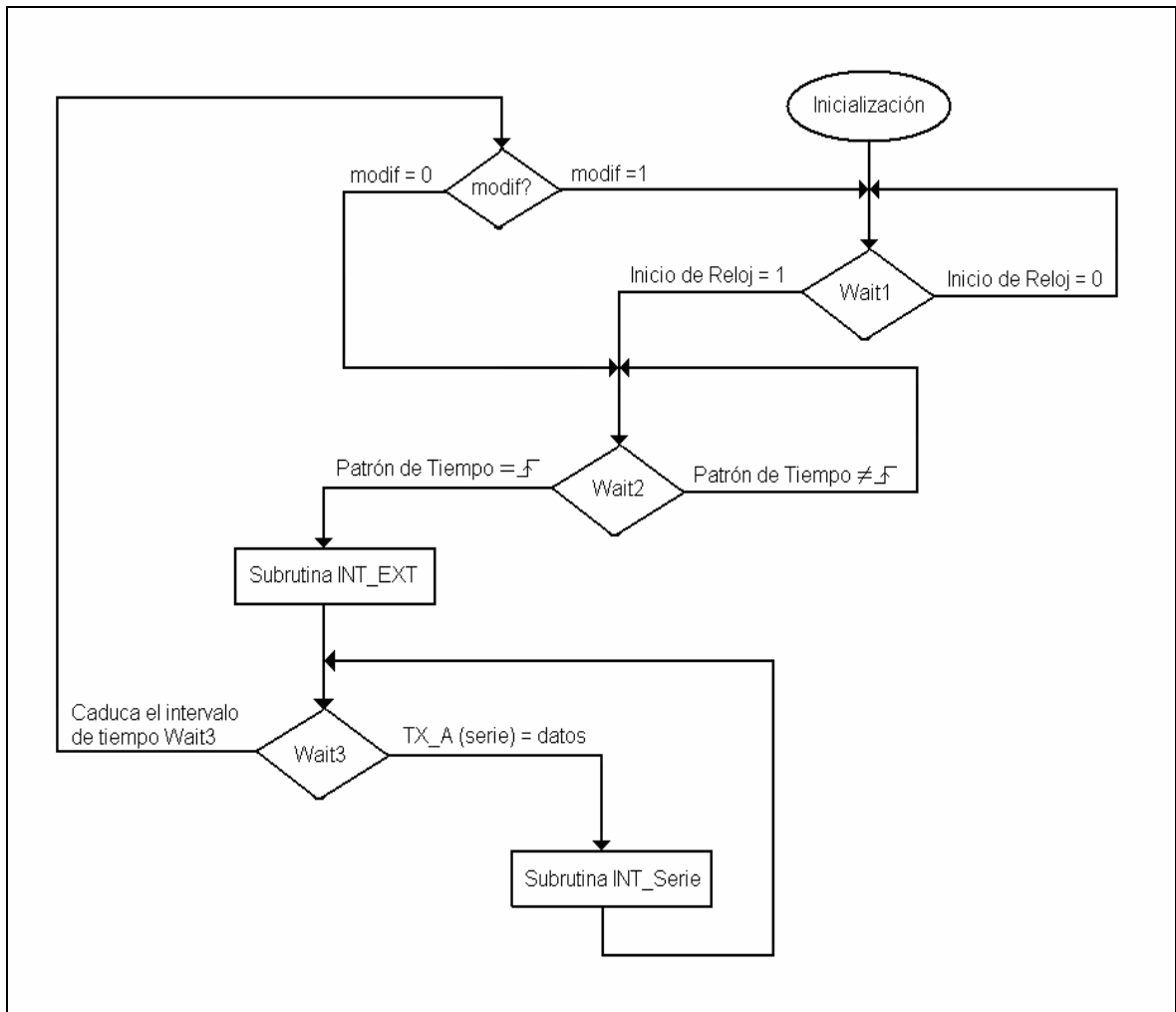
Figura 4.7. Diagrama eléctrico del reloj del sistema

#### 4.3.3.2. Software del reloj del sistema

A continuación se presentan los principales recursos del lenguaje de programación “PIC-C” que fueron aprovechados para implementar el reloj del sistema:

- a. Control de interrupción externa: Para ejecutar una subrutina cuando se detectan los flancos positivos de la señal *“Patrón de Tiempo”*.
- b. Recepción serie de datos: El lenguaje posee una interrupción que detecta cuando la computadora de la etapa de visualización le transmite datos al reloj del sistema, para que éste proceda a recepcionarlos por medio de la ejecución de una subrutina.
- c. Control de Interrupciones: Se utiliza para evitar que las interrupciones serie y externa no se encuentren habilitadas al mismo tiempo, con el fin de que las subrutinas que atienden a los servicios de estas interrupciones no se interfieran entre sí.
- d. Control de *“display’s”* tipo LCD (librería *“lcd.c”*): Para inicializar el *“display”* y desplegar la hora en éste.
- e. Emisión serie y paralela de cadenas de caracteres (función *“printf”*): Para emitir la hora hacia la computadora o hacia el *“display”* tipo LCD.
- f. Inclusión de retardos (funciones *“delay\_us”* y *“delay\_ms”*): Para la implementación de intervalos de tiempo.

En la figura 4.8 se ilustra el diagrama de flujo del programa que se implementó a partir del lenguaje de programación PIC-C para generar la hora de Costa Rica. La operación principal del reloj del sistema consiste en esperar por un flanco positivo de la señal *“Patrón de Tiempo”*, durante el proceso *“Wait2”*, para proceder con la emisión y el cálculo de la hora a partir de la ejecución de la subrutina *“INT\_Ext”*. Finalmente, se produce el intervalo de tiempo *“Wait3”* durante el cual se pueden recepcionar datos provenientes de la etapa de visualización, correspondientes a una configuración de la hora que haya introducido el usuario o al indicador de que una corrección al desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos se encuentra en espera de ser procesada.



PAINT

**Figura 4.8.** Diagrama de flujo del programa correspondiente al reloj del sistema

A continuación se describen las operaciones que se realizan en cada uno de los procesos presentados en la figura 4.8:

- a. *“Inicialización”*: Se reinician los *“flip-flop’s”* correspondientes a las señales *“Modo de Operación”* e *“Inicio de Reloj”*, se establece en 0 el nivel lógico de la señal *“Inicio de Corrección”*, se asigna el valor *“12:00:00”* a la hora actual del sistema y se establece en 0 el valor inicial de una variable denominada *“modif”* que se utiliza como bandera para indicar al mismo programa si se efectuó una configuración de la hora.

b. *“Wait1”*: El programa ejecuta un ciclo infinito sin instrucciones hasta que se active la señal *“Inicio de Reloj”*, que indica al reloj del sistema cuando debe empezar a operar.

c. *“Wait2”*: Se habilita únicamente la interrupción externa (INT\_Ext) y se procede a la ejecución de un ciclo infinito sin instrucciones, el cual se encuentra a la espera de ser interrumpido por la señal *“Patrón de Tiempo”*.

d. Subrutina *“INT\_Ext”*: El reloj del sistema, al detectar un flanco positivo de señal *“Patrón de Tiempo”* durante la ejecución del proceso *“Wait2”*, procede con la ejecución de las siguientes acciones:

d.1. Revisa el estado de la señal *“Interrupción Fluido Eléctrico”*:

- Si la señal *“Interrupción Fluido Eléctrico”* se encuentra activa: El *“display”* es inicializado (sólo si esta acción no ha sido ejecutada aún) y se envía la hora actual hacia él; además, se mantiene reiniciado el *“flip-flop”* correspondiente a la señal *“Modo de Operación”*, para forzar a 0 lógico el estado de dicha señal.

- Si la señal *“Interrupción Fluido Eléctrico”* se encuentra inactiva: Se libera el reinicio del *“flip-flop”* correspondiente a la señal *“Modo de Operación”*, para habilitar la introducción de cambios a su estado. El despliegue de la hora actual en la computadora se deshabilita o habilita dependiendo si la señal *“Corrección en Proceso”* se encuentra activa o no, respectivamente. En caso de que el despliegue en la computadora se haya habilitado, se emiten hacia ésta los datos correspondientes a la hora y al estado de la señal *“Modo de operación”*.

d.2. Calcula la hora actual para el siguiente despliegue.

d.3. Realiza el proceso *“Wait3”*.

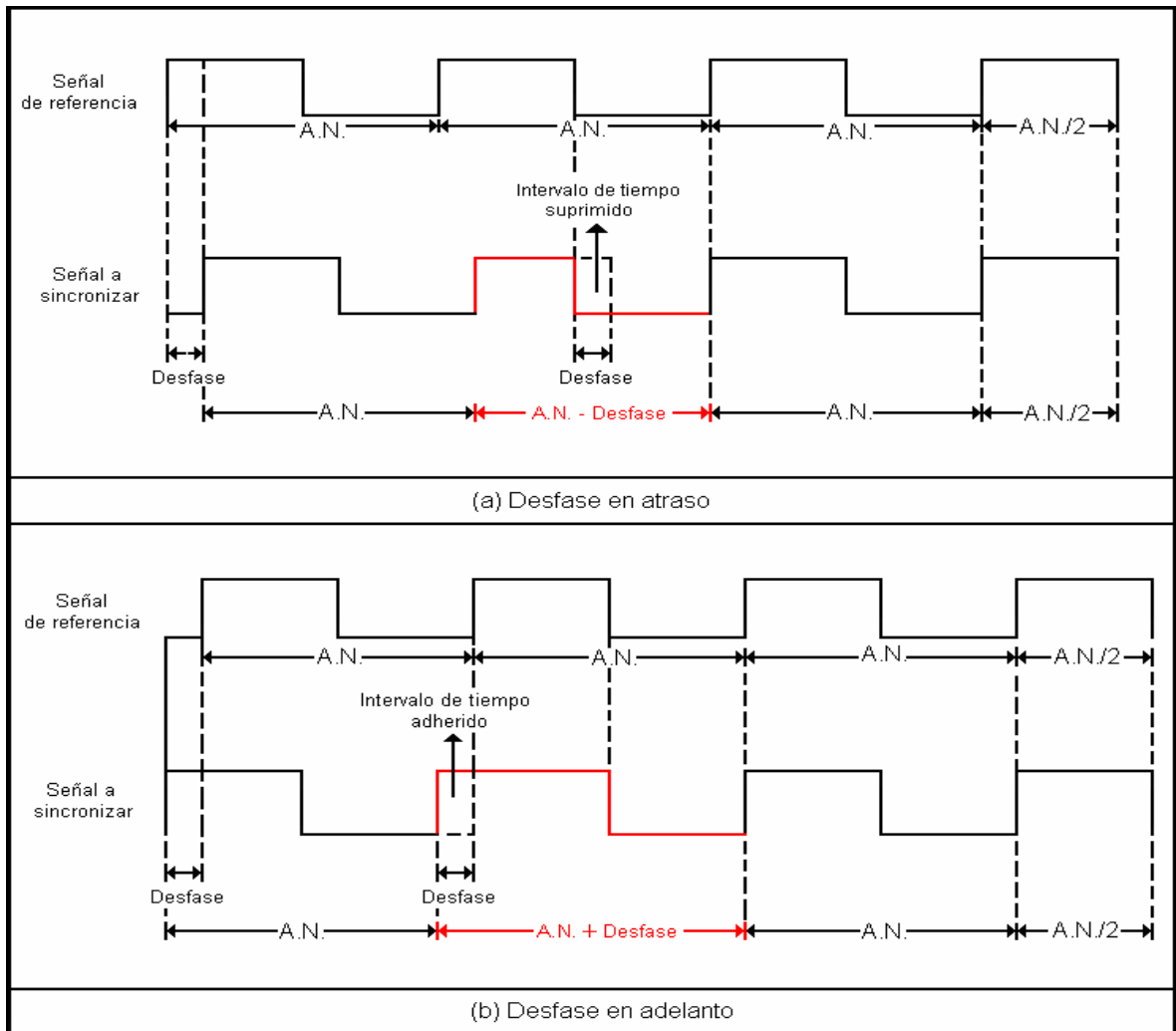
d.4. Verifica el estado de la variable *“modif”*.

- Si la variable *“modif”* se encuentra activa: Desactiva la variable *“modif”*, reinicia el *“flip-flop”* correspondiente a la señal *“Inicio de Reloj”* y repite el proceso *“Wait1”*.
  - Si la variable *“modif”* se encuentra inactiva: Habilita sólo la interrupción externa y finaliza la subrutina, para que el reloj del sistema regrese al ciclo infinito del proceso *“Wait2”*.
- e. *“Wait3”*: Este proceso consiste en un intervalo de tiempo de 300ms durante el cual sólo la interrupción serie se encuentra habilitada, lo cual permite la recepción de datos desde la computadora de la etapa de visualización.
- f. Subrutina *“Int\_Serie”*: El programa del reloj del sistema ingresa a esta subrutina cuando detecta que la computadora se encuentra emitiendo datos por la interfaz *“TX\_A (serie)”* durante el proceso *“Wait3”*.
- f.1. Si el dato recibido es un carácter *“\*”*, el cual indica el inicio de una corrección: Se deshabilita el despliegue de la hora actual en la computadora y se activa la señal *“Inicio de Corrección”* durante 1ms (lo necesario para que sea detectada por el módulo de corrección de desfase).
  - f.2. Si el dato recibido corresponde a una configuración de la hora: se asigna el valor del dato recibido a la hora actual del reloj del sistema y se activa la variable *“modif”*.

#### **4.3.4. Módulo de corrección de desfase**

##### **4.3.4.1. Algoritmo de la corrección de desfase**

La operación correspondiente a la sincronización de una señal con respecto a otra de referencia consiste en adherir o sustraer, a la señal que se debe sincronizar, un intervalo de tiempo igual al desfase que se presenta entre ambas señales, tal y como se muestra en el diagrama de la figura 4.9.



PAINT

**Figura 4.9.** Diagrama de temporización para la sincronización de dos señales

Al aplicar esta técnica de sincronización al caso específico de este proyecto, debe tomarse en cuenta que en la señal *“Patrón de Tiempo”* sólo pueden insertarse o suprimirse pulsos de la señal *“Base de Tiempo”*. Por lo tanto, cuando se realiza una corrección al desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos, el módulo de corrección de desfase debe realizar la operación correspondiente a la ecuación 4.1 con el fin de calcular la máxima cantidad de pulsos de 100ns (periodo de la señal *“Base de Tiempo”*) que pueden cubrir un intervalo de tiempo que no sobrepase el valor del desfase que haya sido capturado por la etapa de visualización; obteniendo así, la representación del desfase en pulsos de la señal de referencia.



$$\boxed{Desf_P = Desf / T_{ref}} \quad (4.1)$$

Donde:

- Desf<sub>P</sub>: representación del desfase en pulsos de la señal de referencia.
- Desf: valor del desfase capturado por la etapa de visualización.
- T<sub>ref</sub>: periodo de la señal de referencia = 100ns.
- Nota: la división debe ser entera, ya que se busca obtener un número entero de pulsos.

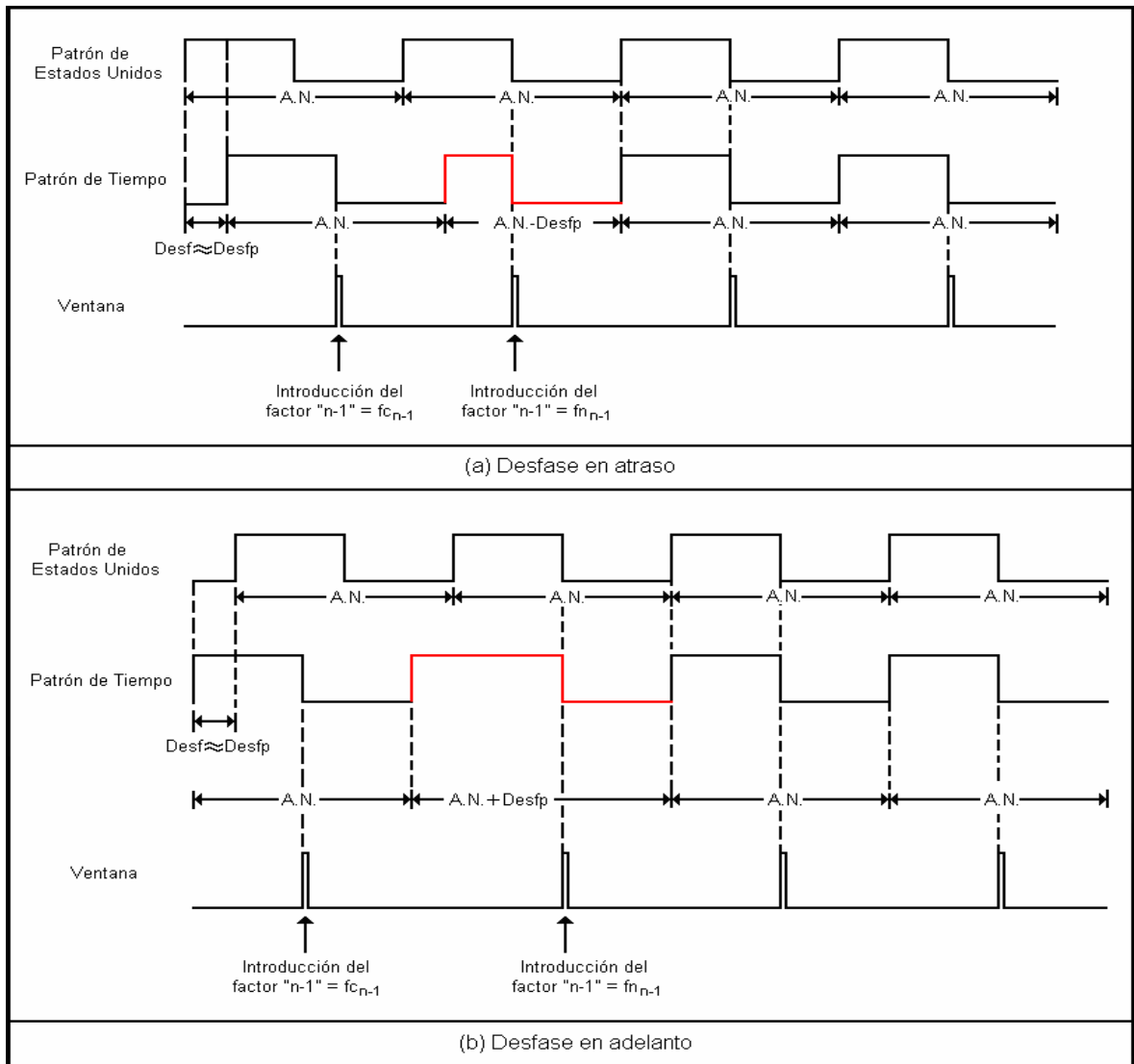
El procedimiento para incluir o excluir una cantidad 'x' de pulsos de la señal "Base de Tiempo" en la señal "Patrón de Tiempo" consiste en adherir o sustraer, respectivamente, 'x' estados a una iteración de la cuenta que realiza el divisor de frecuencia. A partir de la ecuación 4.2 se calcula el valor del factor "n-1" que se requiere para efectuar la corrección al desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos.

$$\boxed{Fc_{n-1} = Fn_{n-1} + Desf_P} \quad (4.2)$$

Donde:

- Fc<sub>n-1</sub>: valor del factor "n-1" que se requiere para corregir el desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos.
- Fn<sub>n-1</sub>: valor del factor "n-1" que se requiere para que el periodo de la señal "Patrón de Tiempo" sea igual 1s, es decir, 9.999.999.
- Desf<sub>P</sub>: representación del desfase en pulsos de la señal de referencia.
- Nota: se debe conservar el signo original del desfase que capturó la etapa de visualización para poder aplicar directamente la ecuación 4.2.

Para que el valor Fc<sub>n-1</sub> calculado por medio de la ecuación 4.2 sea cargado solamente una vez por el contador del divisor de frecuencia, el factor "n-1" debe ser modificado en dos pulsos positivos de la señal "Ventana" que se produzcan consecutivamente, primero para asignar el valor Fc<sub>n-1</sub> a dicho factor y luego para restaurar el factor a su valor original Fn<sub>n-1</sub>. En la figura 4.10 se presenta el diagrama de temporización que muestra la introducción de modificaciones al valor del factor "n-1" para corregir el desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica (señal "Patrón de Tiempo") y Estados Unidos, tomando en cuenta que el valor de tal factor sólo puede ser alterado cuando la señal "Ventana" se encuentra activa.



PAINT

**Figura 4.10.** Diagrama de temporización para la operación del módulo de corrección de desfase

#### 4.3.4.2. Fragmentación del factor divisor de frecuencia

El módulo de corrección de desfase fue implementado a partir de un microcontrolador tipo PIC; por lo tanto, se debe considerar que los puertos de esta clase de dispositivos son de 8 bits, mientras que el factor divisor de frecuencia corresponde a un número de 24 bits. Así pues, el dato correspondiente al factor "n-1" tuvo que fragmentarse en 3 números de 8 bits para poder ser transmitido hacia el divisor de frecuencia. Estos fragmentos son tales que, al concatenar sus representaciones en binario, se recupera el valor del factor "n-1".

#### 4.3.4.3. Implementación del módulo de corrección de desfase a partir del microcontrolador PIC16F873A

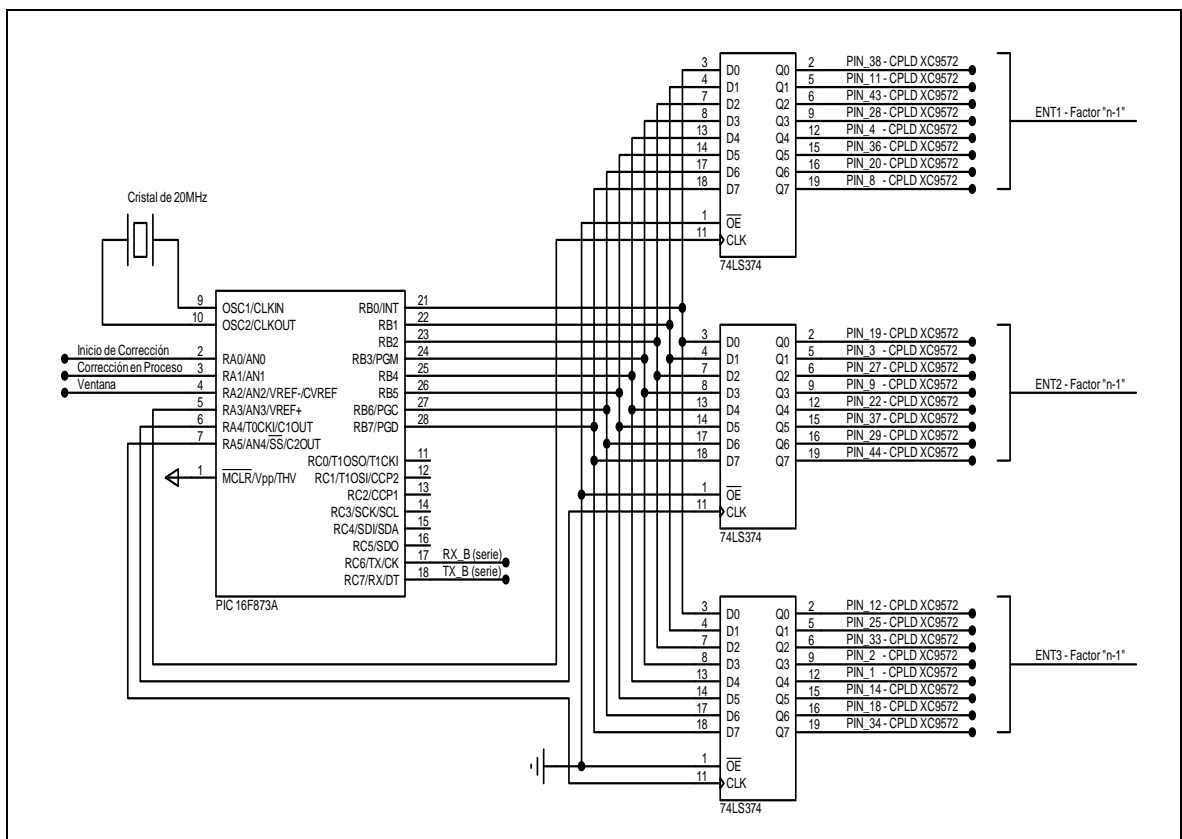
La elección del dispositivo utilizado para implementar el módulo de corrección de desfase se fundamentó en la búsqueda de un microcontrolador que tuviera la máxima frecuencia de operación disponible en el mercado local (20MHz), para disminuir el retardo de tiempo que se presenta entre la captura del desfase por parte de la etapa de visualización y la aplicación de la respectiva corrección; pero que al mismo tiempo se constituyera en una opción de menor complejidad y, por ende, de menor costo económico en comparación con el microcontrolador PIC16F877A que se utilizó para implementar el reloj del sistema, debido a la simplicidad del algoritmo expuesto anteriormente y a la cantidad de señales que el módulo de corrección de desfase genera y recibe. El dispositivo que se eligiera también debía contar con el módulo USART, que incluye el microcontrolador PIC16F877A, para poder comunicarse con la computadora de la etapa de visualización. En la tabla 4.3 se presenta una comparación entre los dispositivos que se utilizaron para implementar el reloj del sistema y el módulo de corrección de desfase [13].

**Tabla 4.3.** Comparación entre los microcontroladores PIC16F877A y PIC16F873A

Dispositivo/ Característica	PIC16F877A	PIC16F873A
Frecuencia máxima de operación	20MHz	20MHz
Módulo implementado	Reloj del sistema	Módulo de corrección de desfase
Precio (\$)	12	8,5
Memoria de programa Flash palabra de 14 bits	8KB	4KB
Puertos de entrada/salida	A, B, C y D	A, B y C
Número de pines	40	28
Módulo de comunicación serie	USART	USART
Velocidad máxima de comunicación con un puerto RS232	19200bps	19200bps

Los puertos del microcontrolador PIC16F873A resultan insuficientes para efectuar la transmisión directa de los fragmentos del factor “ $n-1$ ”, ya que este dispositivo posee 3 puertos de los cuales uno cuenta con sólo 6 bits y además, deben tomarse en cuenta los pines del microcontrolador que tienen que reservarse para la comunicación serie, la emisión de la señal “Corrección en

Proceso” y la recepción de las señales “Ventana” e “Inicio de Corrección”; por lo tanto, la emisión de los 3 fragmentos del factor “ $n-1$ ” hacia el divisor de frecuencia se implementó distribuyéndolos desde un solo puerto del microcontrolador hacia 3 registros de 8 bits. En la figura 4.11 se presenta el diagrama eléctrico del módulo de corrección de desfase, en el cual se observa que cada registro de 8 bits se encuentra constituido por un circuito integrado 74LS374 (este componente electrónico incluye 8 “flip-flop’s” tipo D controlados por una misma señal de reloj [15]).



PROTEUS 7 PROFESSIONAL

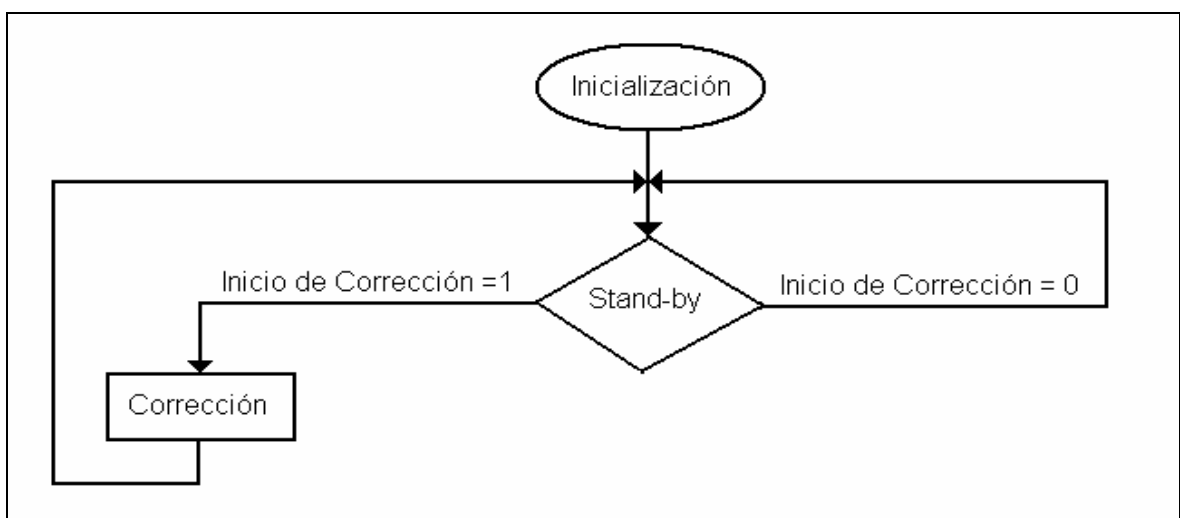
Figura 4.11. Diagrama eléctrico del módulo de corrección de desfase

#### 4.3.4.4. Software del módulo de corrección de desfase

A continuación se describen los principales recursos del lenguaje de programación “PIC-C” que fueron aprovechados en la implementación del módulo de corrección de desfase:

- a. Métodos para la transmisión y la recepción serie de datos (*putc* y *getc*, respectivamente) para emitir hacia la etapa de visualización la indicación de que el enlace de comunicación serie constituido por las líneas *TX\_B (serie)* y *RX\_B (serie)* se estableció adecuadamente y para recibir el valor del desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos a través de la interfaz *TX\_B (serie)*.
- b. Manipulación de datos de hasta 32 bits (variable tipo *int32*) para calcular el valor del factor *n-1*, el cual corresponde a un número de 24 bits, necesario para corregir el desfase capturado por la etapa de visualización.

En la figura 4.12 se presenta el diagrama de flujo del programa correspondiente al módulo de corrección de desfase. La operación básica de este sub-sistema consiste en mantener el factor *n-1* en el valor necesario para que la frecuencia de la señal *Patrón de Tiempo* sea igual a 1Hz; pero si la señal *Inicio de Corrección* se activa, el módulo de corrección de desfase receptiona, a partir de la interfaz *TX\_B (serie)*, el dato correspondiente al desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica (señal *Patrón de Tiempo*) y Estados Unidos, calcula el valor del factor *n-1* que se requiere para corregir tal desfase y luego de emitir ese valor hacia el divisor de frecuencia, reestablece el factor *n-1* a la condición en la que se encontraba antes de realizar la corrección.



PAINT

**Figura 4.12.** Diagrama de flujo del programa correspondiente al módulo de corrección de desfase

A continuación se describen las operaciones que se realizan en cada uno de los procesos del diagrama presentado en la figura 4.12:

- a. *“Inicialización”*: Se cargan los registros de distribución con los números correspondientes a la fragmentación del valor 9.999.999; se reinicia la señal *“Corrección en Proceso”*; y se deshabilita la interrupción serie para evitar que los rebotes en la línea *“TX\_B (serie)”*, producidos al establecer el enlace de comunicación serie entre el microcontrolador PIC16F873A y la computadora, se interpreten erróneamente como datos.
- b. *“Stand-by”*: Se ejecuta un ciclo infinito sin instrucciones hasta que se active la señal *“Inicio de Corrección”*, para realizar el proceso *“Corrección”*.
- c. *“Corrección”*: Se activa la señal *“Corrección en Proceso”*, se habilita la interrupción serie y se emite un carácter-bandera ('I') por la interfaz *“RX\_B (serie)”* para indicar que el enlace de comunicación serie entre el módulo de corrección de desfase y la computadora de la etapa de visualización se estableció correctamente. Luego, se recibe, por medio de la línea *“TX\_B(serie)”*, el dato correspondiente al desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos. Después, se calcula, ejecutando el algoritmo de corrección de desfase expuesto anteriormente, el valor del factor *“n-1”* necesario para corregir el desfase que se recibió y se fragmenta dicho valor en 3 números de 8 bits que son cargados a los registros de distribución cuando se detecte que la señal *“Ventana”* se encuentra activa. Posteriormente, se espera por la siguiente activación de la señal *“Ventana”* para cargar de nuevo los registros con los números correspondientes a la fragmentación del valor 9.999.999. Finalmente, la ejecución del programa retorna al proceso *“Stand-by”*.

### 4.3.5. Etapa de visualización

#### 4.3.5.1. Hardware de la etapa de visualización

La computadora que ejecute el software de la etapa de visualización debe poseer al menos un puerto RS232 libre, para establecer enlaces de comunicación serie con el reloj del sistema y con el módulo de corrección de desfase; y un puerto Ethernet con conexión permanente a internet, para capturar el dato correspondiente al desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos desde el sitio WEB del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos. Cabe destacar que la interfaz “*Usuario*” descrita en la tabla 4.1 representa la interacción del usuario del sistema con esta computadora.

El dispositivo empleado para desplegar la hora cuando se activa la señal “*Interrupción Fluido Eléctrico*” corresponde al “*display*” tipo LCD PVC160206QYL02 [16]. La habilitación de este dispositivo se realiza aplicando 0V a la patilla VEE para poder visualizar los caracteres desplegados; mientras que, el “*display*” luce como si estuviera apagado cuando se conecta VEE a 5V.

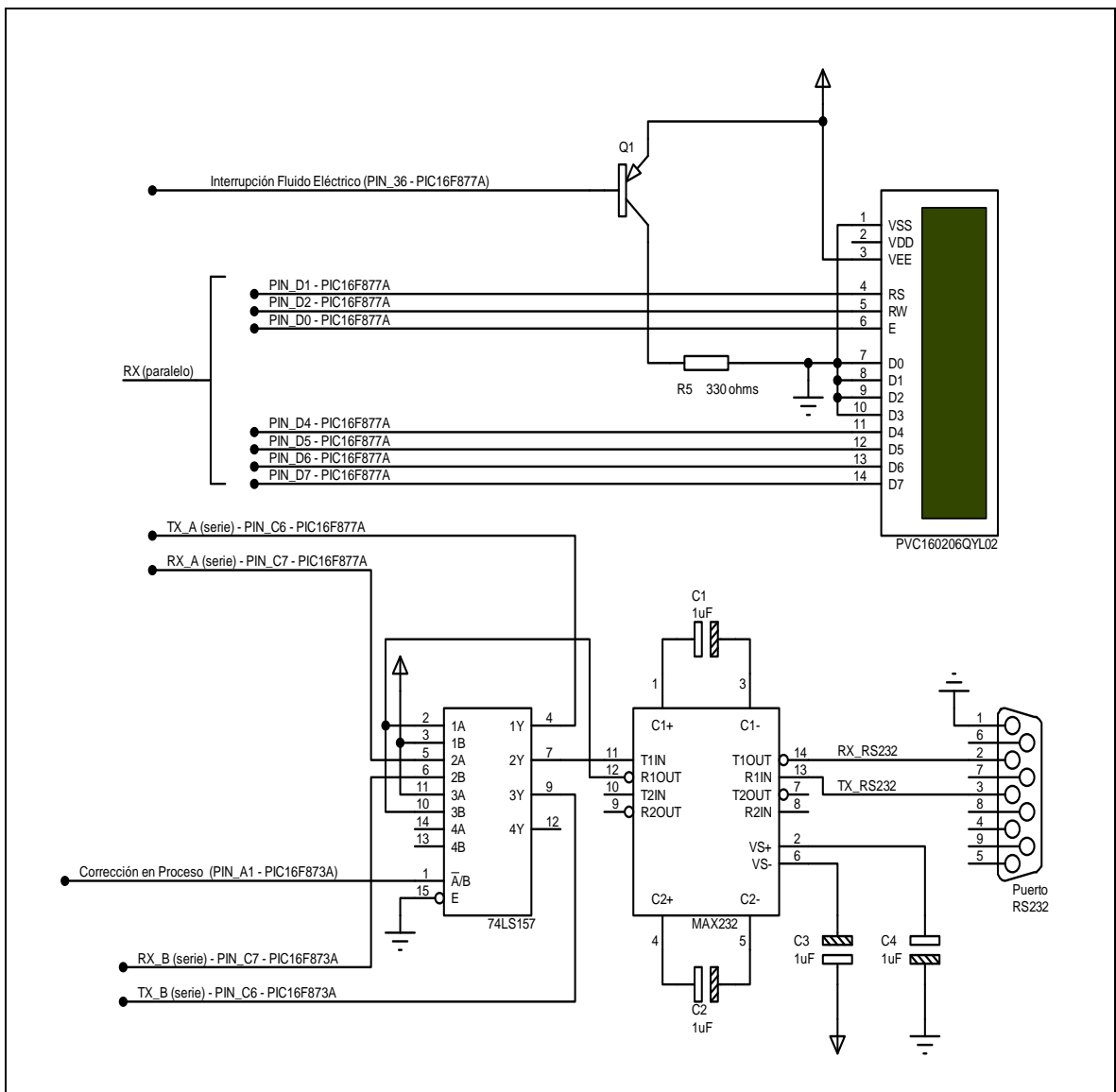
El componente electrónico utilizado para realizar la conmutación de los enlaces de comunicación serie que establece la etapa de visualización con el reloj del sistema y con el módulo de corrección de desfase es el circuito integrado 74LS157 [17], el cual corresponde a un multiplexor de 4 bits y 2 entradas. En la tabla 4.4 se presenta la operación de este dispositivo dependiendo del canal que se encuentre seleccionado.

**Tabla 4.4.** Operación del multiplexor

<b>Selector (A/B)</b>	<b>Recepción de la etapa de visualización</b>	<b>Recepción del reloj del sistema</b>	<b>Recepción del Sistema de Corrección de Desfase</b>
<b>A</b>	Transmisión del reloj del sistema [RX_A (serie)]	Transmisión de la etapa de visualización [TX_A (serie)]	Línea sin datos (5V)
<b>B</b>	Transmisión del módulo de corrección de desfase [RX_A (serie)]	Línea sin datos (5V)	Transmisión de la etapa de visualización [TX_B (serie)]

El controlador/receptor multicanal MAX232 [18] se utilizó para acoplar las señales de los puertos RS232 de la computadora de la etapa de visualización, cuyos valores de tensión corresponden a -12V (1 lógico) y a 12V (0 lógico), con los niveles de tensión TTL de los microcontroladores del reloj del sistema y del módulo de corrección de desfase.

En la figura 4.13 se presenta el diagrama eléctrico de la etapa de visualización, en el cual se pueden apreciar los dispositivos descritos anteriormente: el “display” tipo LCD, el multiplexor y el acoplador de señales.



PROTEUS 7 PROFESSIONAL

Figura 4.13. Diagrama eléctrico de la etapa de visualización



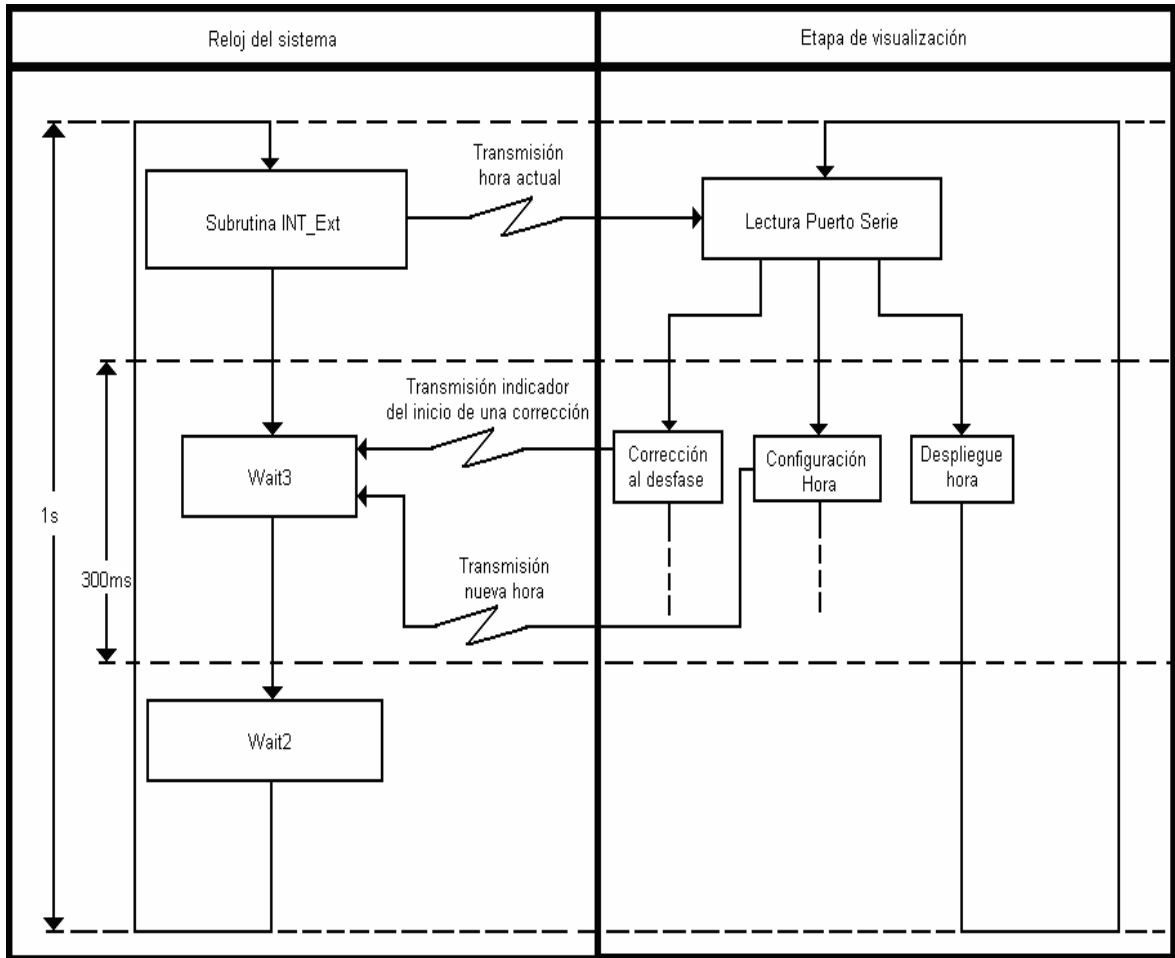
#### 4.3.5.2. Software de la etapa de visualización

A continuación se presentan los principales recursos del lenguaje de programación “Java” que fundamentaron su elección para ser utilizado en la implementación del software que se ejecuta en la computadora de la etapa de visualización:

- a. Control del puerto RS232 de la computadora (librería “*javax.comm*”): Para comunicarse con el reloj del sistema y con el módulo de corrección de desfase [19].
- b. Manejo de archivos de “*Microsoft Office Excel*” (librería “*jxl*”): Para registrar los datos correspondientes a las correcciones que se efectúen al desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos [20].
- c. Configuración de la hora del sistema operativo de la computadora (proceso “*Runtime*”): Para sincronizar el reloj propio de la computadora con la hora generada por el reloj del sistema [21].
- d. Lectura de páginas WEB (método “*openConnection*” de la clase “*URL*”): Para capturar, desde el sitio WEB del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, el valor del desfase promedio, por cada 10 minutos, que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos [22].
- e. Inclusión de tiempos de espera (método “*sleep*”): Para permitir que exista un intervalo de tiempo durante el cual la computadora pueda realizar acciones como la atención a las interrupciones del teclado y del “*mouse*”; de este modo no se satura la operación de la computadora con los procesos correspondientes a la etapa de visualización [23].

La estructura del programa correspondiente a la etapa de visualización se fundamentó en la comunicación que la computadora debe establecer con el reloj del sistema; pues, se debe tomar en cuenta que este último sólo puede recibir datos por la interfaz “*TX\_A (serie)*” cuando está ejecutando el proceso “*Wait3*” después de emitir la hora actual hacia la etapa de visualización. Así pues, las

transmisiones que se realicen desde la etapa de visualización hacia el reloj del sistema deben efectuarse después de que la computadora haya recibido el dato correspondiente a la hora actual. En la figura 4.14 se presenta un diagrama que muestra las ejecuciones en paralelo del reloj del sistema y de la etapa de visualización.



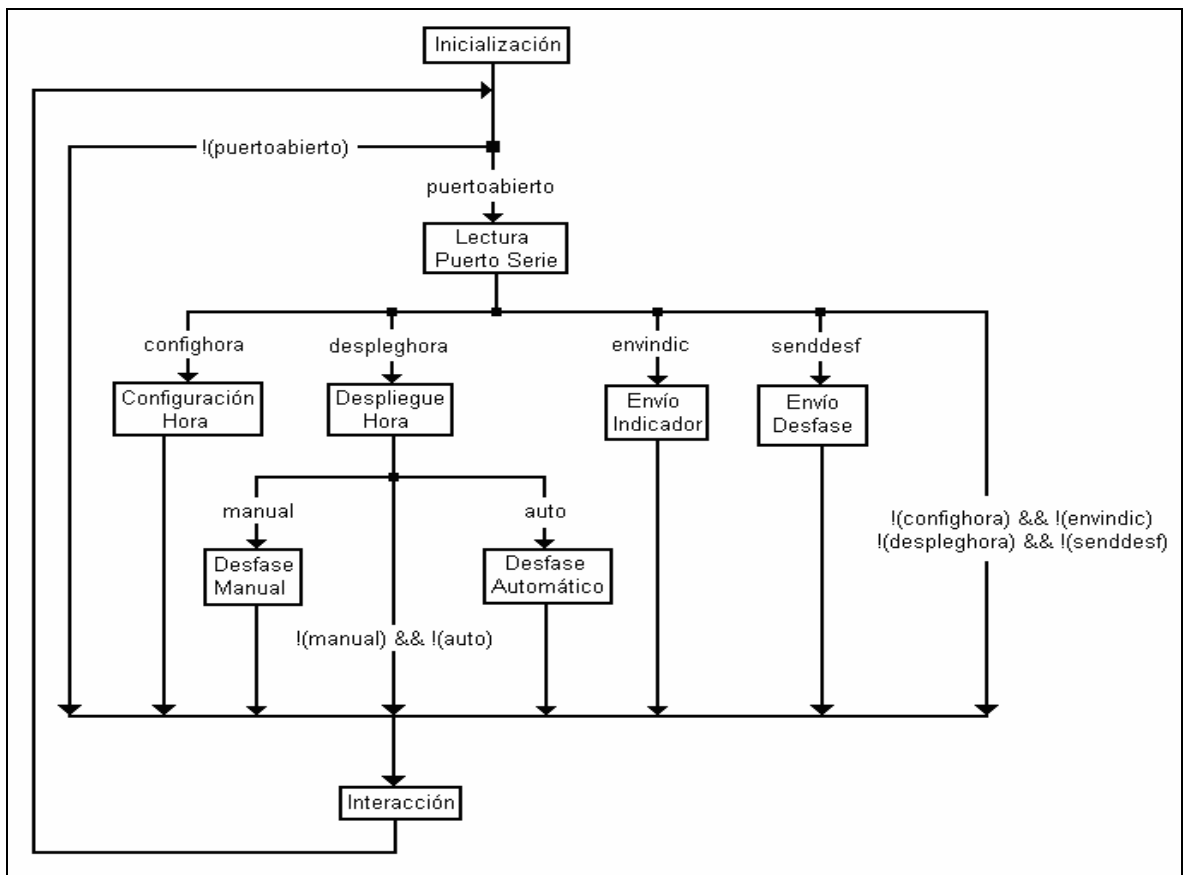
PAINT

**Figura 4.14.** Diagrama de ejecución paralela del reloj del sistema y de la etapa de visualización

En la tabla 4.5 se describen las variables utilizadas en el programa que ejecuta la computadora de la etapa de visualización y en la figura 4.15 se muestra el diagrama completo de su operación, en el cual se puede observar que cada iteración inicia con una lectura del puerto serie, si éste se encuentra configurado, y finaliza con la ejecución del proceso *“Interacción”*.

**Tabla 4.5.** Variables del programa correspondiente a la etapa de visualización

Variable	Descripción
puertoabierto	Indica que el puerto serie se encuentra adecuadamente configurado
confighora	Se activa cuando se introduce una configuración a la hora a partir de la interfaz "Usuario"
despleghora	Habilita el despliegue de la hora en la computadora
envindic	Indica que la etapa de visualización capturó manual o automáticamente el valor del desfase
senddesf	Indica que se debe enviar hacia el módulo de corrección de desfase el dato correspondiente al valor del desfase que ha capturado la etapa de visualización
manual	Se activa cuando se introduce una corrección manual del desfase de la interfaz "Usuario"
autoenable	Habilita la ejecución de correcciones automáticas del desfase
auto	Indica que se debe realizar una corrección automática del desfase
stringrecib	Almacena el dato recepcionado por el puerto serie
PCAD	Contador en minutos para controlar el momento en que se deben realizar correcciones automáticas del desfase
PCADmax	Periodo en minutos de la ejecución de correcciones automáticas; es indicado por el usuario al configurar las correcciones automáticas desde la interfaz gráfica de la etapa de visualización



PAINT

**Figura 4.15.** Diagrama de procesos de la etapa de visualización

A continuación se describen las actividades que se realizan en cada uno de los procesos presentados en la figura 4.15:

- a. *“Inicialización”*: Se despliega la interfaz gráfica del programa en la computadora de la etapa de visualización.
- b. *“Lectura Puerto Serie”*: Se almacena en la variable *“stringrecib”* el dato que se recepcione a partir de la interfaz *“RX\_A (serie)”*.
- c. *“Configuración Hora”*: Se envía por la línea *“TX\_A (serie)”* la nueva hora que se haya configurado a través de la interfaz *“Usuario”*.
- d. *“Despliegue Hora”*: Se obtienen los datos correspondientes a la hora actual y al estado de la señal *“Modo de Operación”* a partir de la variable *“stringrecib”*. La hora actual es desplegada en la interfaz gráfica del programa y se configura como la hora del sistema operativo de la computadora; mientras que, dependiendo del estado de la señal *“Modo de Operación”* se procederá de la siguiente manera:
  - d.1. *“Modo de operación”* = 1: si la variable *“autoenable”* se encuentra activa y si los segundos de la hora desplegada son iguales a *“00”*, se evalúa el valor de la variable *“PCAD”*:
    - Si *“PCAD”* es igual a *“PCADmax”*: se activa la variable *“auto”* y se asigna el valor 0 a la variable *“PCAD”*.
    - Si *“PCAD”* no es igual a *“PCADmax”*: se incrementa en 1 el valor de la variable *“PCAD”*.
  - d.2. *“Modo de operación”* = 0: se asigna el valor 0 a la variable *“PCAD”* y se desactivan las variables *“auto”* y *“autoenable”*.
- e. *“Desfase Manual”*: Se captura el valor del desfase que se haya introducido a partir de la interfaz *“Usuario”* y se registran en un archivo de *“Microsoft Office Excel”* los datos que describen la corrección a realizar: el tipo de corrección (manual), el nombre del usuario que introdujo la corrección, la hora que se

encontraba desplegada en la computadora cuando se introdujo la corrección y el valor del desfase introducido por el usuario; además, se desactivan las variables “*despleghora*” y “*manual*”.

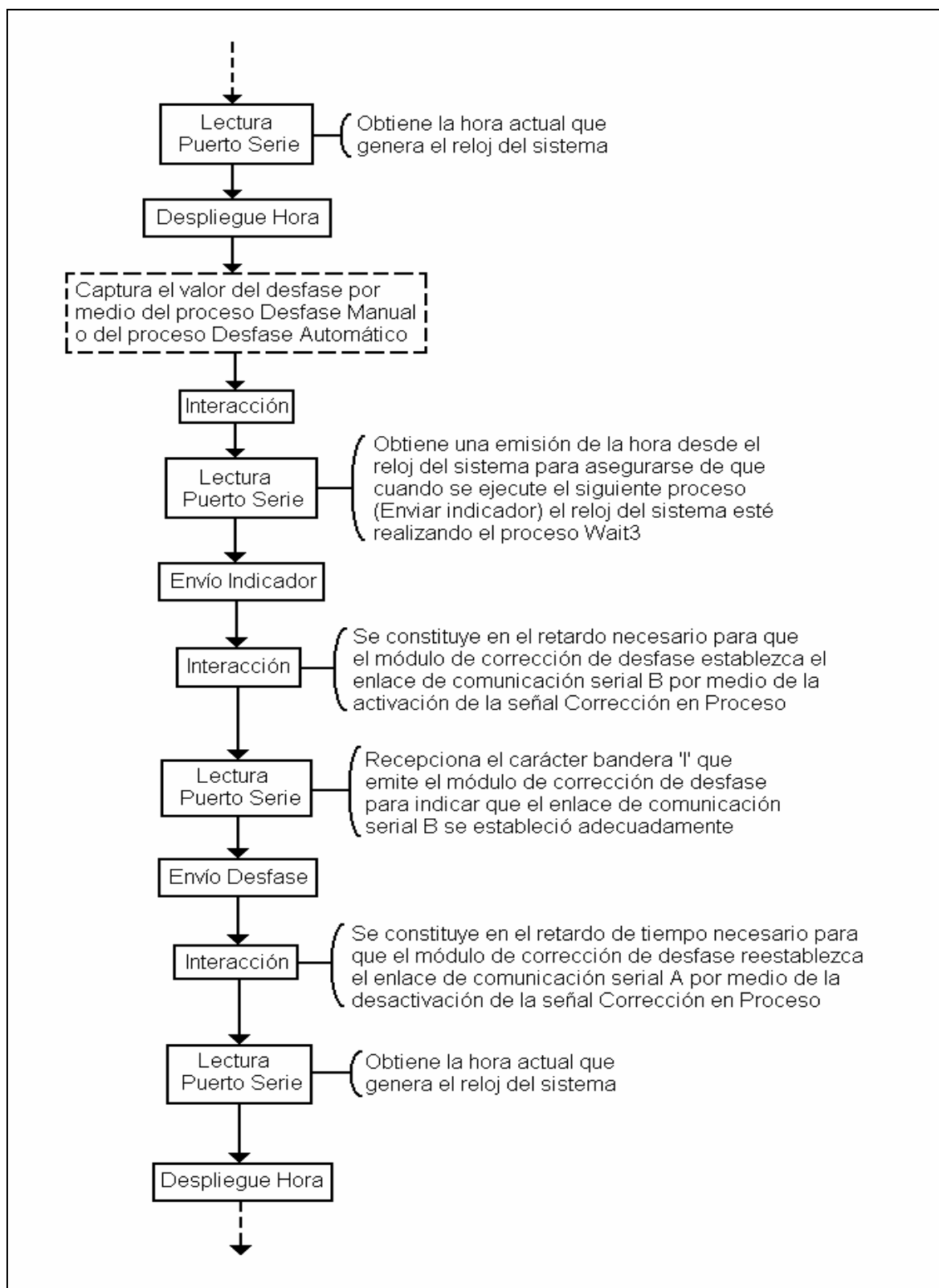
f. “*Desfase Automático*”: Se captura desde la interfaz “*sitio WEB NIST*” el desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos y se registran en un archivo de “*Microsoft Office Excel*” los datos que describen la corrección a realizar: el tipo de corrección (automática), la hora que se encontraba desplegada en la computadora cuando se introdujo la corrección, la hora del Tiempo Universal Coordinado en que se actualizó por última vez el sitio WEB del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos cuando se capturó el desfase y el valor del desfase capturado; además, se desactivan las variables “*despleghora*” y “*auto*”.

g. “*Envío Indicador*”: se envía por la interfaz “*TX\_A (serie)*” el carácter bandera ‘\*’ para indicar al reloj del sistema que una corrección del desfase se encuentra en espera de ser procesada; además, se desactiva la variable “*envindic*”.

h. “*Envío Desfase*”: se transmite, a partir de la interfaz “*TX\_B (serie)*”, el valor del desfase capturado; además, se desactiva la variable “*senddata*” y se activa de nuevo la variable “*despleghora*”.

i. “*Interacción*”: consiste en un intervalo de tiempo durante el cual la computadora puede atender a la interfaz “*Usuario*”.

En la figura 4.16 se presenta la secuencia de procesos que ejecuta el programa de la etapa de visualización cuando se realiza una corrección al desfase; además, se describe la importancia de realizar los procesos “*Lectura Puerto Serie*” e “*Interacción*” en cada iteración del diagrama de flujo presentado en la figura 4.15 para sincronizar adecuadamente el intercambio de datos, por medio de los enlaces de comunicación serie A y B, entre la computadora de la etapa de visualización y los microcontroladores tipo PIC del reloj del sistema y del módulo de corrección de desfase.



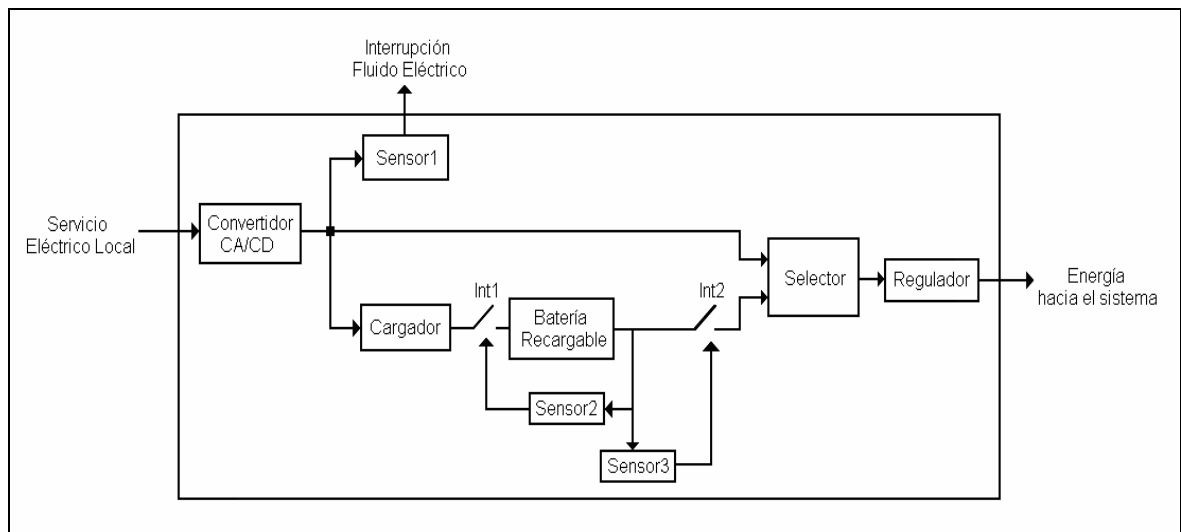
PAINT

**Figura 4.16.** Secuencia de procesos de la etapa de visualización para la transmisión del valor del desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos

### 4.3.6. Fuente de alimentación

#### 4.3.6.1. Estructura básica de la fuente de alimentación

En la figura 4.17 se presenta el diagrama modular de la fuente de alimentación. La energía que alimenta a todos los componentes del sistema desarrollado a partir del presente proyecto proviene del servicio eléctrico local; pero en caso de que ocurra una interrupción de este suministro, el módulo “Batería Recargable” es utilizado como fuente auxiliar de energía y además, se activa la señal “Interrupción Fluido Eléctrico”, que es generada por el módulo “Sensor1”.



PAINT

**Figura 4.17.** Estructura básica de la fuente de alimentación

La elección del suministro de energía que se aplique al sistema, dependiendo si se producen o no interrupciones en el fluido eléctrico local, es realizada por el módulo “Selector”.

La energía que proporciona el servicio eléctrico local es de tipo corriente alterna (CA); sin embargo, el sistema debe ser alimentado con energía en corriente directa (CD). Así pues, el acople requerido se realizó a partir del módulo “Convertidor CA/CD”.

El módulo “*Regulador*”, ubicado en la salida de la fuente de alimentación, se encarga de suministrar el nivel de tensión requerido por el sistema.

La función del módulo “*Cargador*” es mantener la batería preparada (completamente cargada) para los casos en que su energía sea necesaria; además, deben considerarse los principales cuidados que requieren las baterías para no acortar su tiempo de vida útil (definido por el número de ciclos de carga) [24], por lo tanto se incluyeron los siguientes 2 módulos:

- a. “*Sensor2*”: la batería se debe desconectar del módulo “*Cargador*”, por medio del interruptor “*Int1*”, cuando ésta se haya cargado completamente.
- b. “*Sensor3*”: el suministro de energía proveniente de la batería se debe interrumpir, por medio de “*Int2*”, después de que ésta haya alcanzado su valor de tensión mínimo; pues, en caso de que ésta se continúe utilizando, podría dañarse irreversiblemente imposibilitando futuros ciclos de carga.

#### **4.3.6.2. Especificaciones técnicas del diseño de la fuente de alimentación**

La alimentación de la computadora de la etapa de visualización no proviene de la fuente de alimentación desarrollada a partir del presente proyecto, para incrementar el tiempo de descarga de la batería; pues, incluso una fuente de energía comercial tipo UPS solamente puede mantener funcionando por 10 minutos a una computadora después de presentarse una interrupción del servicio eléctrico local.

El generador de la señal de referencia se pretende reemplazar por el oscilador que se utiliza en el sistema de comunicaciones del Instituto Costarricense de Electricidad, el cual posee su propio suministro alternativo de energía; por lo tanto, el oscilador HP105B y el generador Fluye 6061A tampoco reciben energía de la fuente de alimentación.

La conmutación entre los suministros de energía correspondientes a la batería y al servicio eléctrico local no debe ser percibida por los componentes del sistema; de lo contrario, los microcontroladores del reloj del sistema y del módulo



de corrección de desfase se reiniciarán en tales circunstancias, provocando la pérdida de la hora y una modificación abrupta del desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos.

Los componentes utilizados en la implementación del presente proyecto están constituidos por circuitos lógicos que operan con niveles TTL de tensión; por lo tanto, se requiere una regulación de 5V en el suministro de energía que se les aplique.

La generación de la señal “*Interrupción Fluido Eléctrico*” debe producirse de tal manera que ésta se encuentre en 1 lógico (5V) solamente cuando se presente alguna avería que interrumpa el suministro de energía por parte del servicio eléctrico local.

De acuerdo con los datos resumidos en la tabla 4.6, el máximo consumo de corriente, que corresponde a 925mA, se produce cuando se está efectuando una corrección al desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos. Esta característica debe ser considerada al seleccionar el convertidor de energía CA/CD, la batería recargable y el regulador de tensión que se utilizarán en la implementación de la fuente de alimentación; pues, en caso de que estos componentes no sean capaces de suministrar al menos 925mA, el sistema se reiniciará cuando se efectúen correcciones al desfase mencionado anteriormente.

**Tabla 4.6.** Consumo de corriente dependiendo de la actividad del sistema

<b>Proceso</b>	<b>Consumo de corriente (mA)</b>
Iniciar despliegue de la hora	183 a 484
Continuar despliegue de la hora	183 a 484
Despliegue de la hora en la computadora	264 a 557
Despliegue de la hora en el “ <i>display</i> ” tipo LCD	186 a 481
Configuración de la hora	182 a 484
Corrección del desfase	610 a 925

A continuación se enumeran las principales características, relacionadas con la batería, a considerar en el diseño de la fuente de alimentación:

- a. Tensión nominal: de acuerdo con las especificaciones de los reguladores de tensión comerciales, debe superar en al menos 3V a la tensión que debe ser suministrada por la fuente de alimentación, que corresponde a 5V.
- b. Corriente nominal: debe superar la máxima corriente que consume el sistema, que equivale a 925mA; sin embargo, a este valor de corriente debe ser adherido el consumo propio de la fuente de alimentación.
- c. Tensión mínima: la batería debe finalizar su operación cuando ésta se ha descargado a un valor menor que 1,75V por celda.
- d. Tensión de carga: debe superar a la tensión nominal de la batería en 2,4V, para asegurar que la batería se encuentre cargada al 100% en el momento que sea requerida su energía; pues, la batería se descarga aunque no se esté utilizando.
- e. Limitación de la corriente de carga: la batería tiende a utilizar toda la corriente que se encuentre a su disposición en el momento de cargarse, lo cual puede provocar deficiencias en los requerimientos de corriente por parte de los componentes a los cuales la fuente de alimentación debe proporcionar energía.

#### **4.3.6.3. Implementación de la fuente de alimentación**

A continuación se describe la implementación de cada uno de los módulos que fueron presentados en el diagrama de la figura 4.17:

- a. *“Batería Recargable”*: se utilizó una batería de 6 celdas modelo PS-1270 F1 [25], cuyos valores nominales de tensión y corriente son 12V y 7AH, respectivamente.
- b. *“Convertidor CA/CD”*: se utilizó una fuente de computadora capaz de entregar 24V a 2A, con lo cual se cumplen los requerimientos que se describen a continuación:

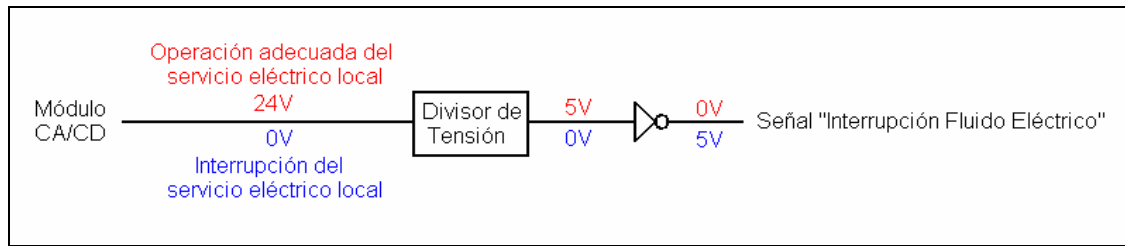
b.1. El máximo consumo de corriente de la fuente de alimentación es 350mA y se presenta cuando la batería se encuentra en su valor mínimo de tensión; por lo tanto, la corriente mínima requerida por el sistema completo es 1,275A (350mA + 925mA).

b.2. La tensión de carga de la batería debe ser igual a 14,4V (12V+2,4V). Así pues, para regular una tensión a este valor exacto se debe contar con una tensión mínima de 17,4V, es decir, un valor de tensión superior en 3V al requerido por la aplicación (esto de acuerdo con las especificaciones de los reguladores de tensión comerciales).

c. “Regulador”: se encuentra constituido por el circuito integrado LM7805 [26], el cual es capaz de regular a 5V una tensión de hasta 35V y al mismo tiempo, suministrar una corriente de 1A.

d. “Selector”: se estableció un punto de convergencia, por medio de diodos 1N4001 (corriente nominal de 1A [27]), para los suministros de energía correspondientes a la batería y al servicio eléctrico local [28]. La conmutación de un suministro a otro ocurrirá por medio de la polarización de los diodos; por lo tanto, el suministro a seleccionar será el que mayor valor de tensión posea. Para que la energía sea obtenida del servicio eléctrico local cuando éste se encuentre operando adecuadamente, debe asegurarse su tensión a un valor que supere la máxima carga de la batería. Así pues, se aplicó una regulación de 15V, por medio del circuito integrado LM7815 [26], a la tensión de salida del módulo “Convertidor CA/CD”, lo cual era necesario para evitar sobrecalentamientos en el circuito integrado LM7805 al regular directamente 24V a 5V; resultando esta regulación a 15V superior al valor máximo de tensión de la batería (14,4V).

e. “Sensor1”: se aplicó un divisor resistivo de tensión a la salida del módulo “Convertidor CA/CD”, de modo que se obtienen 5V a partir de éste y luego, la salida de este divisor se invirtió por medio de una compuerta NOT. El comportamiento resultante de esta implementación se ilustra en la figura 4.18.



**Figura 4.18.** Implementación del módulo “Sensor1”

PAINT

f. “Cargador”: para obtener la tensión de carga de la batería (14,4V) a partir del módulo “Convertidor CA/CD” (24V), se utilizó el regulador ajustable LM317 [29] y, para limitar la corriente de carga, se ubicó una resistencia de  $30\Omega$  entre la salida de tal regulador y la batería. La máxima corriente de carga se encuentra definida por la ecuación 4.3 y la potencia máxima que debe soportar la resistencia de  $30\Omega$  se obtiene por medio de la ecuación 4.4.

$$I_{Cm\acute{a}x} = (V_C - V_{m\acute{i}n}) / R_C = (14,4V - 10,5V) / 30\Omega = 0,13A \quad (4.3)$$

Donde:

- $I_{Cm\acute{a}x}$ : máxima corriente de carga.
- $V_C$ : tensión de carga de la batería.
- $V_{m\acute{i}n}$ : tensión mínima de la batería.
- $R_C$ : resistencia utilizada para limitar la corriente de carga de la batería.

$$P_C = I_{Cm\acute{a}x}^2 * R_C = (0,13A)^2 * 30\Omega = 0,507W \quad (4.4)$$

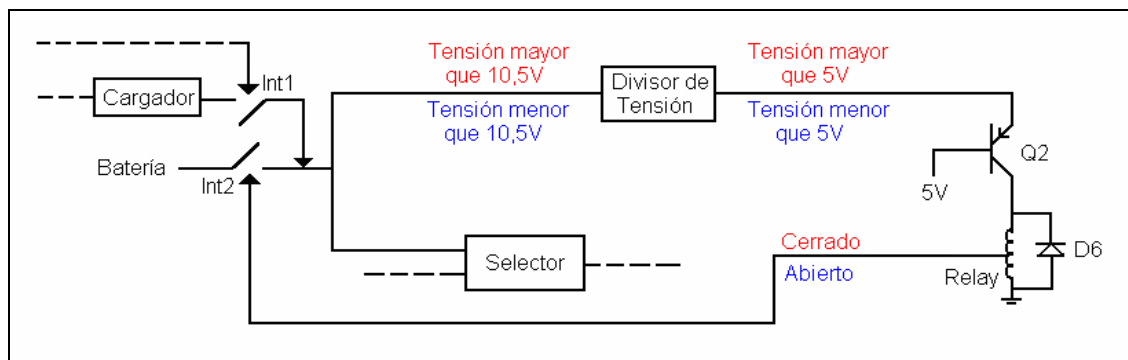
Donde:

- $P_C$ : es la potencia que debe ser capaz de soportar la resistencia de  $30\Omega$ .
- $I_{Cm\acute{a}x}$ : máxima corriente de carga.
- $R_C$ : resistencia utilizada para limitar la corriente de carga de la batería.

Nota: La resistencia que se utilizó para limitar la corriente de carga es capaz de soportar 5W, con lo cual se cumplió la especificación expresada por medio de esta ecuación.

g. “Sensor2”: se colocó un diodo 1N4001 entre la resistencia que limita la corriente de carga de la batería y el módulo “Batería Recargable” [28]. De esta manera, cuando la diferencia entre las tensiones de la batería y de la carga sea menor que 0,7V, el diodo se despolarizará provocando que la batería se desconecte del cargador.

h. “*Sensor3*”: se implementó a partir de un divisor de tensión cuya salida es exactamente igual a 5V cuando la tensión de la batería proporciona 10,5V. La salida de este divisor se conectó al colector de un transistor PNP y la base de éste, a la tensión de alimentación regulada a 5V. De esta manera, el transistor se polariza solamente cuando la tensión en su colector es superior a 5V; es decir, cuando la tensión de la batería es mayor que 10,5V. La salida de este transistor (su emisor) se utilizó para polarizar un interruptor tipo “*relay*” que conecta o desconecta la batería a la fuente de alimentación. La figura 4.19 ilustra el comportamiento del módulo “*Sensor3*”.



PAINT

**Figura 4.19.** Implementación del módulo “*Sensor3*”

El divisor de tensión de la figura 4.19 consume energía de la batería, lo cual contribuye a la descarga de ésta; por lo tanto, el diseño del módulo “*Sensor3*” se elaboró de tal manera que la tensión a sensar fuera otro punto de convergencia, establecido por medio de diodos, de los suministros de energía correspondientes a la batería y al servicio eléctrico local. De esta manera, no se consume energía de la batería mientras el servicio eléctrico local se encuentre operando adecuadamente; pues, en tal caso la tensión de este último será la que se procese por medio del módulo “*Sensor3*” y como esta tensión resultará superior a 10,5V, el interruptor tipo “*relay*” permanecerá cerrado para que la batería pueda ser cargada.

En la figura 4.20 se presenta la conexión entre los módulos descritos anteriormente, a partir del diagrama eléctrico de la fuente de alimentación.



Cabe destacar que la energía requerida para alimentar a los componentes propios de la fuente de alimentación, por medio del servicio eléctrico local, fue tomada de la salida del regulador ajustable LM317; pues, los componentes del sistema a los cuales debe proporcionar energía la fuente de alimentación requieren una corriente mínima igual a 0,925A y los componentes propios de la fuente de alimentación necesitan al menos 0,35A, mientras que el regulador LM7815 puede suministrar como máximo 1A. De este modo, la alimentación que se regula a 5V para ser aplicada a la base del transistor PNP del módulo “Sensor3” y para energizar a la compuerta inversora del módulo “Sensor1” fue implementada por medio de otro regulador LM7805, aparte del utilizado en el módulo “Regulador”, conectado a la salida del regulador LM317.

La máxima corriente que debe entregar la batería durante una interrupción del fluido eléctrico local se encuentra definida por la ecuación 4.5.

$$I_{Bm\acute{a}x} = I_{OPm\acute{a}x} + I_{Fm\acute{a}x} - I_{Cm\acute{a}x} = 0,481A + 0,35A - 0,13A = 0,701A \quad (4.5)$$

Donde:

- $I_{Bm\acute{a}x}$ : corriente máxima que entrega la batería durante una interrupción del fluido eléctrico local.
- $I_{OPm\acute{a}x}$ : corriente máxima que consumen los componentes a los cuales debe proporcionar energía la fuente de alimentación, tomando en cuenta que la única operación que realiza el sistema cuando se producen interrupciones en el fluido eléctrico local es el despliegue de la hora en el “display” tipo LCD (ver tabla 4.6).
- $I_{Fm\acute{a}x}$ : máxima corriente que consumen los componentes propios de la fuente de alimentación..
- $I_{Cm\acute{a}x}$ : máxima corriente de carga de la batería (ver ecuación 4.3).

De acuerdo con la gráfica del tiempo de descarga en función de la corriente de descarga que brinda el fabricante de las baterías PS-1270 F1 [25], el valor de tensión mínimo de la batería es efectivamente igual a 10,5V y la batería puede suministrar energía durante un periodo de tiempo que se sitúa en el rango de 5 horas a 10 horas cuando el consumo de corriente es igual a 0,701A.

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.1. El patrón local de tiempo

El equipo de medición “*SIM common-view GPS*” debe detectar la señal eléctrica de 1Hz que genera el sistema implementado a partir del presente proyecto para que ésta pueda ser comparada con los estándares nacionales de tiempo de los países que participan en el sistema de comparaciones de tiempo y frecuencia del Sistema Interamericano de Metrología. En la tabla 5.1 se describen las observaciones experimentales, basadas en la información que se despliega en el espacio “*Last Reading*” de la interfaz gráfica del equipo de medición “*SIM common-view GPS*”, que se obtuvieron dependiendo del dispositivo empleado para generar la señal de referencia de 10MHz.

**Tabla 5.1.** Detección del patrón local de tiempo

<b>Señal de Referencia</b>	<b>Last Reading</b>	<b>Descripción</b>
<b>Oscilador de cesio Symmetricom 5071A</b>	Se mostraba el valor del desfase, pero cada 5 segundos se desplegaba el mensaje “NO DATA” y al desplegar de nuevo el valor del desfase, éste sufría una modificación aleatoria	Deficiencias en cuanto a la estabilidad
<b>Generador de funciones KIKUSUO SGE 3250</b>	Se mostraba permanentemente el mensaje “NO DATA”	Deficiencias en cuanto a la estabilidad
<b>Contador Agilent 53132A</b>	Se mostraba el valor del desfase, pero cada 2 o 3 minutos se desplegaba el mensaje “NO DATA”	Deficiencias en cuanto a la estabilidad
<b>Oscilador de cuarzo HP105B y generador FLUKE 6061A sin acoplador de impedancia</b>	Se mostraba permanentemente el mensaje “TIME OUT”	Deficiencias en cuanto al nivel de tensión
<b>Oscilador de cuarzo HP105B y generador FLUKE 6061A con acoplador de impedancia</b>	Se mostraba permanentemente el valor del desfase	Detección adecuada del patrón local de tiempo

La elección del oscilador de cuarzo HP105B, adaptado al generador FLUKE 6061A, como generador de la señal de referencia de 10MHz y la utilización de un acoplador de impedancias se fundamentaron en los resultados experimentales resumidos en la tabla 5.1; pues, sólo con esta combinación de



dispositivos fue posible que el patrón local de tiempo generado a partir del presente proyecto fuera detectado adecuadamente por el equipo de medición “SIM common-view GPS”.

Tomando en cuenta que el oscilador empleado para generar la señal de referencia del patrón local de tiempo antes y después de implementar el presente proyecto es el mismo (HP105B), se procedió a efectuar un análisis para determinar la variación de la estabilidad del patrón local de tiempo dependiendo del sistema que se utilice para obtener la señal de 1Hz a partir del oscilador de cuarzo HP105B. Este análisis se realizó evaluando el comportamiento del desfase promedio, por cada 10 minutos, del patrón local de tiempo con respecto al estándar nacional de tiempo de Estados Unidos. Las figuras 5.1 y 5.2 ilustran la recopilación de los datos empleados en este análisis, a partir del registro de actualizaciones del sitio WEB del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos.

97	2008-07-01	16:10	54648.6736	324.29	7
98	2008-07-01	16:20	54648.6806	942.45	5
99	2008-07-01	16:30	54648.6875	1558.82	5
100	2008-07-01	16:40	54648.6944	2168.65	5
101	2008-07-01	16:50	54648.7014	2782.07	5
102	2008-07-01	17:00	54648.7083	3398.51	4
103	2008-07-01	17:10	54648.7153	4010.74	4
104	2008-07-01	17:20	54648.7222	4622.04	4
105	2008-07-01	17:30	54648.7292	5237.00	4

MOZILLA FIREFOX

**Figura 5.1.** Registro del comportamiento del desfase promedio, por cada 10 minutos, que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos (utilizando el oscilador HP105B y el divisor de frecuencia desarrollado a partir del presente proyecto)

(Fuente: <http://132.163.4.82/scripts/commonview-hourtable.exe?20080701006011001T>)

129	2008-07-01	21:30	54648.8958	19250137.19	5
130	2008-07-01	21:40	54648.9028	19250744.41	6
131	2008-07-01	21:50	54648.9097	19251351.37	6
132	2008-07-01	22:00	54648.9167	19251968.42	5
133	2008-07-01	22:10	54648.9236	19252579.32	5
134	2008-07-01	22:20	54648.9306	19253186.54	6
135	2008-07-01	22:30	54648.9375	19253793.97	6
136	2008-07-01	22:40	54648.9444	19254399.93	6

#### MOZILLA FIREFOX

**Figura 5.2.** Registro del comportamiento del desfase promedio, por cada 10 minutos, que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos (utilizando el oscilador HP105B y el dispositivo SDG CAMPBELL CA 38-2A correspondiente al sistema empleado antes del desarrollo del presente proyecto)

(Fuente: <http://132.163.4.82/scripts/commonview-hourtable.exe?20080701006011001T>)

También se registraron los valores instantáneos del desfase del patrón local de tiempo con respecto a las señales de posicionamiento global recibidas por el equipo de medición “SIM common-view GPS”, las cuales se encuentran sincronizadas con el estándar nacional de tiempo de Estados Unidos. Estos últimos datos se capturaron desde la interfaz gráfica del software que se ejecuta en la computadora del equipo de medición “SIM Common-View GPS” y las lecturas correspondientes se realizaron al inicio y al final de cada uno de los periodos de cálculo de los valores promedio presentados en las figuras 5.1 y 5.2. En la tabla 5.2 se presenta el resumen de los datos obtenidos a partir de este proceso de medición.

**Tabla 5.2.** Desfase del patrón local de tiempo con respecto a las señales de posicionamiento global (GPS) y al estándar nacional de tiempo de Estados Unidos (UTC-NIST)  
(Fecha de la medición: 1 de Julio del 2008. Oscilador utilizado: HP105B)

Intervalo de tiempo de lectura (Hora UTC)	Desease instantáneo con respecto a las señales GPS (ns)			Desease promedio por cada 10 minutos con respecto al patrón UTC-NIST (ns)	
	Inicial	Final	Diferencia	Desease	Incremento
<b>Utilizando el divisor de frecuencia desarrollado en el presente proyecto</b>					
16:00/16:10	17,78	643,50	625,72	324,29	---
16:10/16:20	643,50	1256,34	612,84	942,45	618,16
16:20/16:30	1256,34	1874,51	618,17	1558,82	616,37
16:30/16:40	1874,51	2482,89	608,38	2168,65	609,83
16:40/16:50	2482,89	3096,03	613,14	2782,07	613,42
16:50/17:00	3096,03	3710,79	614,76	3398,51	616,44
17:00/17:10	3710,79	4320,27	609,48	4010,74	612,23
17:10/17:20	4320,27	4934,97	614,70	4622,04	611,30
17:20/17:30	4934,97	5547,05	612,08	5237,00	614,96
<b>Utilizando el dispositivo SDG CAMPBELL CA 38-2A</b>					
21:20/21:30	19249834,75	19250444,79	610,04	19250137,19	---
21:30/21:40	19250444,79	19251049,13	604,34	19250744,41	607,22
21:40/21:50	19251049,13	19251662,69	613,56	19251351,37	606,96
21:50/22:00	19251662,69	19252276,47	613,78	19251968,42	617,05
22:00/22:10	19252276,47	19252887,90	611,43	19252579,32	610,90
22:10/22:20	19252887,90	19253495,80	607,90	19253186,54	607,22
22:20/22:30	19253495,80	19254102,20	606,40	19253793,97	607,43
22:30/22:40	19254102,20	19254710,33	608,13	19254399,93	605,96

Los promedios de las columnas de la tabla 5.2 denominadas “Diferencia” e “Incremento” representan la estabilidad del patrón local de tiempo con referencia a las señales de posicionamiento global y al estándar nacional de tiempo de Estados Unidos. En la tabla 5.3 se compara la estabilidad del divisor de frecuencia desarrollado a partir del presente proyecto con respecto a la del dispositivo SDG CAMPBELL CA 38-2A.

**Tabla 5.3.** Comparación de la estabilidad del divisor de frecuencia desarrollado en el presente proyecto con respecto a la del dispositivo SDG CAMPBELL CA 38-2A  
(Fecha de la medición: 1 de Julio del 2008. Oscilador utilizado: HP105B)

Sistema / Referencia	SDG CAMPBELL CA 38-2A	Divisor de frecuencia	% de error
GPS	609,448ns $\pm$ 0.553% por cada 10 minutos	614,363ns $\pm$ 0.839% por cada 10 minutos	0.8065%
UTC-NIST	608,963ns $\pm$ 0.638% por cada 10 minutos	614,089ns $\pm$ 0.468% por cada 10 minutos	0.8418%

Los porcentajes de error obtenidos en la tabla 5.3 demuestran que la estabilidad de un patrón de tiempo depende fundamentalmente del oscilador que se esté utilizando y no así, del sistema que se esté empleando para dividir la frecuencia de dicho oscilador; pues, al sustituir un divisor de frecuencia por otro, manteniendo el mismo oscilador en operación, la variación en el comportamiento del desfase que se produce entre los patrones de tiempo de Costa Rica (patrón de tiempo generado localmente) y Estados Unidos resultó inferior a 1%.

## **5.2. Generación de la hora**

La hora que se despliegue en la etapa de visualización, tanto en la interfaz gráfica del programa implementado en “Java” como en el reloj propio de la computadora, debe actualizarse cada vez que se produce un flanco positivo del patrón local de tiempo; es decir, que esta situación debe presentarse una vez por cada segundo. El adecuado funcionamiento de este proceso se comprobó colocando una punta de prueba lógica en el pin número 24 del dispositivo CPLD XC9572 del divisor de frecuencia, que corresponde al patrón local de tiempo. Cada vez que dicho instrumento de medición indicaba una transición de 0 lógico a 1 lógico, por medio de la iluminación de un LED rojo, efectivamente se incrementaba en un segundo la hora que muestra la etapa de visualización.

## **5.3. Interrupciones del servicio eléctrico local**

Las interrupciones del fluido eléctrico local fueron simuladas por medio del interruptor de una regleta que se conectó entre el sistema implementado a partir del presente proyecto y un toma corrientes del laboratorio. Cuando la regleta era apagada, la misma hora que se estaba desplegando en la computadora de la etapa de visualización se mostraba en el “display” tipo LCD y además, no se presentaban variaciones en el comportamiento del desfase que se produce entre el patrón local de tiempo y las señales de posicionamiento global que recibe el equipo de medición “SIM common-view GPS”. Cuando se simulaba el reestablecimiento del servicio eléctrico local encendiendo la regleta de nuevo, la hora que se estuvo presentado en el “display” durante el tiempo que se mantuvo

apagada la regleta se volvía a desplegar en la computadora de la etapa de visualización y el comportamiento del valor presentado en el espacio *“Last Reading”* de la interfaz gráfica del equipo de medición *“SIM common-view GPS”* no sufría variaciones. De esta manera se comprobó que la conmutación entre los suministros de energía que realiza la fuente de alimentación no es percibida por el sistema implementado a partir del presente proyecto.

La descarga de la batería recargable fue simulada a partir de una fuente CD variable. Luego de apagar la regleta, se procedió disminuyendo lentamente el valor la tensión entregada por dicha fuente variable hasta 10,5V (valor de tensión mínimo de la batería) y justo en ese momento, se produjo la conmutación del *“relay”* de la fuente de alimentación, con lo cual la fuente variable se desconectó del sistema provocando que éste se apagara.

#### **5.4. Correcciones manuales del desfase**

En la tabla 5.4 se resumen los datos obtenidos a partir de un experimento que consistió en la corrección manual del desfase que se presenta entre los estándares de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos a un valor inferior a 100ns. Los datos registrados corresponden a los desfases del patrón local de tiempo generado por el sistema implementado a partir del presente proyecto con respecto a las señales de posicionamiento global que receptiona el equipo de medición *“SIM common-view GPS”*, las cuales se encuentran sincronizadas con respecto al estándar nacional de tiempo de Estados Unidos. Los datos fueron recopilados realizando lecturas del espacio denominado *“Last Reading”* de la interfaz gráfica del equipo de medición *“SIM common-view GPS”*. Las mediciones se efectuaron justo antes y después de aplicar cada corrección; además, se calculó el porcentaje de error de los resultados experimentales correspondientes a los desfases justo después de aplicar las correcciones con respecto a las restas de los valores de los desfases justo antes de aplicar las correcciones menos las correcciones introducidas manualmente.

**Tabla 5.4.** Correcciones manuales

<b>Corrección introducida (ns)</b>	<b>Desfase antes de la corrección (ns)</b>	<b>Desfase después de la corrección (ns)</b>	<b>% de error (%)</b>
<b>100</b>	145,40	48,35	6,498
	150,83	48,83	3,935
	138,74	41,56	7,279
<b>200</b>	240,21	41,13	2,288
	229,31	30,68	4,674
	230,53	28,74	5,863
<b>500</b>	582,66	82,28	0,460
	580,96	84,52	4,397
	543,53	46,09	5,881
<b>1000</b>	1069,50	69,56	0,086
	1076,22	78,74	3,306
	1063,15	65,26	3,341

Como se puede apreciar en la tabla 5.4, los porcentajes de error de las correcciones manuales son mayores a 5% en algunos casos. La principal causa de las diferencias que se presentan entre los valores obtenidos experimentalmente y los esperados corresponde a la estabilidad característica del sistema; pues, incluso en los pulsos del patrón local de tiempo en los cuales se aplica la corrección, el desfase con respecto a las señales de posicionamiento global sufre incrementos.

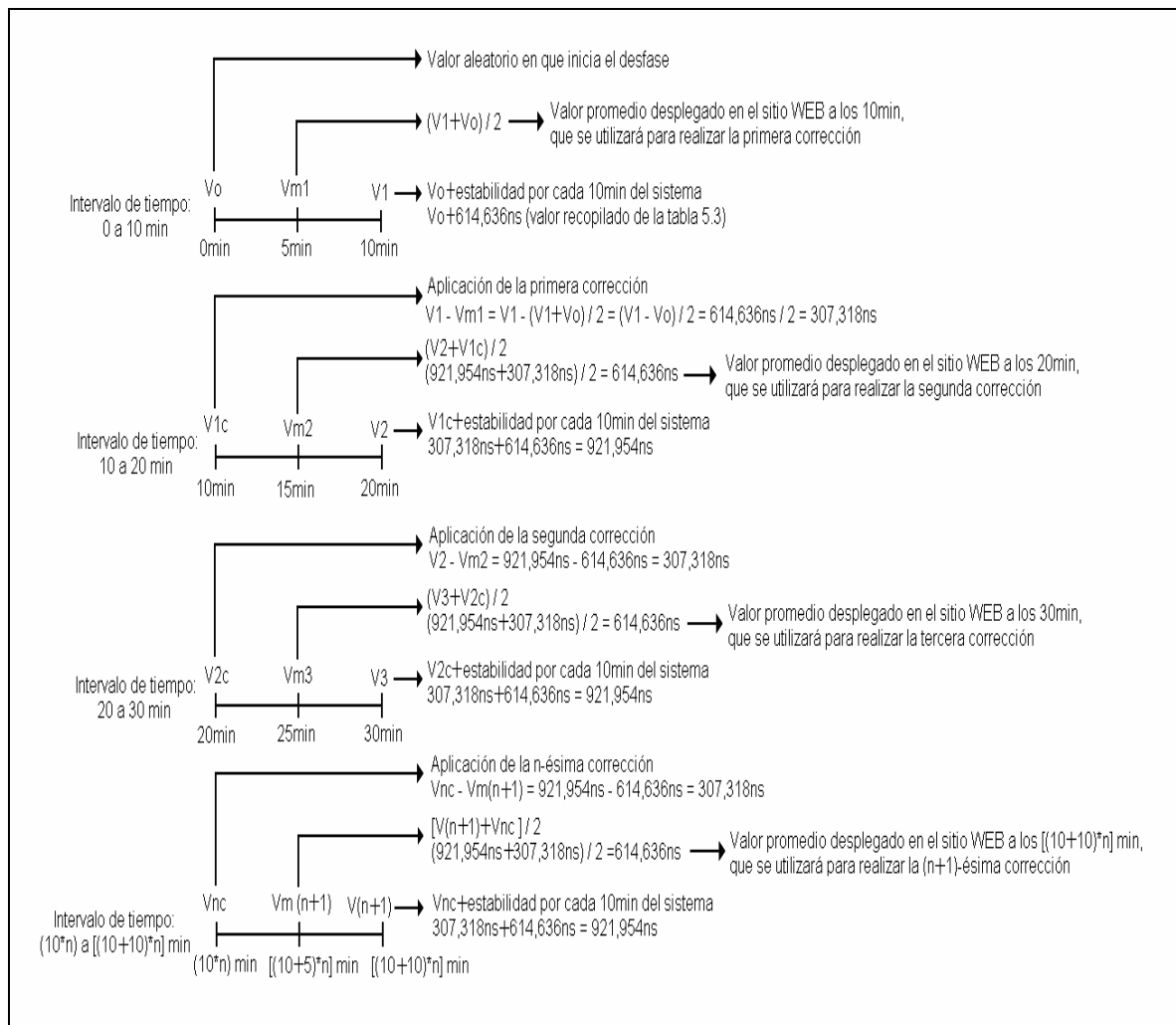
El tiempo de ejecución de las correcciones manuales se determinó contando la cantidad de actualizaciones en el espacio “*Last Reading*” de la interfaz gráfica del equipo de medición “*SIM common-view GPS*” producidas entre la introducción y la finalización de una corrección. Para todos los casos presentados en la tabla 5.4 esta cantidad de actualizaciones resultó ser igual a 13; es decir, que cada corrección manual tarda 13 segundos en realizarse.

A pesar de que el despliegue de la hora en la interfaz gráfica de la etapa de visualización del sistema implementado a partir del presente proyecto debe interrumpirse cuando se ejecutan correcciones manuales del desfase, la generación de dicha hora debe continuar realizándose. Esta condición se comprobó al observar que durante la ejecución de una corrección manual no se actualiza la hora que presenta la etapa de visualización, sólo avanza el reloj propio de la computadora actuando como respaldo para dicha hora; y que,

cuando finaliza cada corrección manual, la hora desplegada en la interfaz gráfica de la etapa de visualización aumenta exactamente 13 segundos, es decir, el tiempo de ejecución de una corrección manual.

### 5.5. Operación del sistema en el modo automático de corrección

A partir de los resultados experimentales correspondientes al cálculo de la estabilidad del patrón local de tiempo, los cuales fueron presentados en las tablas 5.2 y 5.3, se puede simular, por medio de la aproximación idealizada que se presenta en la figura 5.3, el comportamiento del sistema cuando se encuentra operando en el modo de corrección automático.



PAINT

Figura 5.3. Simulación del comportamiento del sistema en el modo de corrección automático

En la tabla 5.5 se presentan los resultados experimentales de la operación del sistema en el modo automático de corrección. Los valores promedio del desfase del patrón local de tiempo con respecto al estándar nacional de tiempo de Estados Unidos fueron recopilados desde el registro de actualizaciones del sitio WEB del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos, como se ilustra en la figura 5.4, y los desfases instantáneos con respecto a las señales de posicionamiento global fueron capturados a partir de la interfaz gráfica del software que se ejecuta en la computadora del equipo de medición “SIM common-view GPS”.

ID	Date	Time	Elevation	Azimuth	Value
100	2008-07-30	16:40	54677.6944	457.11	5
101	2008-07-30	16:50	54677.7014	787.33	5
102	2008-07-30	17:00	54677.7083	800.82	4
103	2008-07-30	17:10	54677.7153	775.93	4
104	2008-07-30	17:20	54677.7222	-----	-----
105	2008-07-30	17:30	54677.7292	1339.12	4
106	2008-07-30	17:40	54677.7361	882.40	4
107	2008-07-30	17:50	54677.7431	698.53	4
108	2008-07-30	18:00	54677.7500	754.16	4
109	2008-07-30	18:10	54677.7569	747.01	4
110	2008-07-30	18:20	54677.7639	725.23	4
111	2008-07-30	18:30	54677.7708	706.46	3
112	2008-07-30	18:40	54677.7778	688.59	3
113	2008-07-30	18:50	54677.7847	753.28	3
114	2008-07-30	19:00	54677.7917	747.13	5
115	2008-07-30	19:10	54677.7986	729.20	4
116	2008-07-30	19:20	54677.8056	702.82	4
117	2008-07-30	19:30	54677.8125	688.99	4
118	2008-07-30	19:40	54677.8194	753.79	5
119	2008-07-30	19:50	54677.8264	743.20	5
120	2008-07-30	20:00	54677.8333	725.56	5
121	2008-07-30	20:10	54677.8403	705.60	5
122	2008-07-30	20:20	54677.8472	681.51	6
123	2008-07-30	20:30	54677.8542	745.11	6
124	2008-07-30	20:40	54677.8611	-----	-----

MOZILLA FIREFOX

**Figura 5.4.** Registro del comportamiento del desfase que se presenta entre los estándares de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos cuando el sistema se encuentra operando en el modo de corrección automático

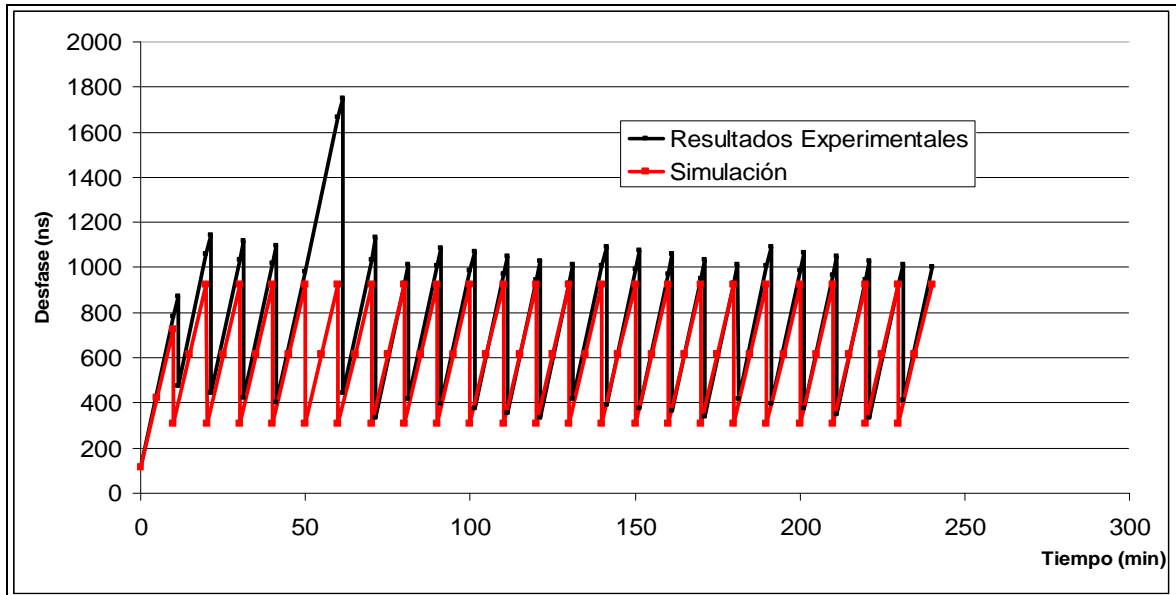
(Fuente: <http://132.163.4.82/scripts/commonview-hourtable.exe?20080730006011001T>)



**Tabla 5.5.** Comportamiento del desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos cuando el sistema se encuentra operando en el modo de corrección automático (Fecha de la medición: 30 de Julio, 2008)

Tiempos de lectura (Hora UTC)	Desfase instantáneo con respecto a las señales GPS (ns)				Desfase promedio con respecto al patrón UTC-NIST (ns)	Corrección aplicada
	Inicial	Antes de la corrección	Después de la corrección	Final		
16:30:00/16:40:00	113,08	---	---	783,30	457,11	---
16:40:00/16:41:18/ 16:41:19/16:50:00	783,30	871,80	473,63	1061,18	787,33	400
16:50:00/16:51:15/ 16:51:16/17:00:00	1061,18	1145,57	445,85	1035,63	800,82	700
17:00:00/17:01:15/ 17:01:16/17:10:00	1035,63	1116,64	421,04	1016,28	775,93	800
17:10:00/17:11:15/ 17:11:16/17:20:00	1016,28	1094,43	400,39	981,21	No se registró	700
17:20:00/17:30:00	981,21	---	---	1667,73	1339,12	---
17:30:00/17:31:15/1 7:31:16/17:40:00	1667,73	1750,35	445,71	1032,57	882,40	1300
17:40:00/17:41:15/ 17:41:16/17:50:00	1032,57	1132,03	335,13	928,33	698,53	800
17:50:00/17:51:15/ 17:51:16/18:00:00	928,33	1012,25	415,87	1007,38	754,16	600
18:00:00/18:01:15/ 18:01:16/18:10:00	1007,38	1088,50	394,47	988,13	747,01	700
18:10:00/18:11:15/ 18:11:16/18:20:00	988,13	1071,44	374,36	969,22	725,23	700
18:20:00/18:21:15/ 18:21:16/18:30:00	969,22	1048,43	353,35	947,27	706,46	700
18:30:00/18:31:15/ 18:31:16/18:40:00	947,27	1031,02	335,56	928,28	688,59	700
18:40:00/18:41:15/ 18:41:16/18:50:00	928,28	1014,06	418,53	1009,08	753,28	600
18:50:00/18:51:15/ 18:51:16/19:00:00	1009,08	1090,23	392,21	989,91	747,13	700
19:00:00/19:01:15/ 19:01:16/19:10:00	989,91	1073,89	376,69	973,86	729,20	700
19:10:00/19:11:15/ 19:11:16/19:20:00	973,86	1062,36	363,18	952,96	702,82	700
19:20:00/19:21:15/ 19:21:16/19:30:00	952,96	1034,07	338,36	928,91	688,99	700
19:30:00/19:31:15/ 19:31:16/19:40:00	928,91	1011,09	416,21	1006,52	753,79	600
19:40:00/19:41:15/ 19:41:16/19:50:00	1006,52	1092,68	395,94	986,65	743,20	700
19:50:00/19:51:15/ 19:51:16/20:00:00	986,65	1067,83	374,04	967,80	725,56	700
20:00:00/20:01:15/ 20:01:16/20:10:00	967,80	1048,85	348,56	946,93	705,60	700
20:10:00/20:11:15/ 20:11:16/20:20:00	946,93	1029,20	332,62	924,21	681,51	700
20:20:00/20:21:15/ 20:21:16/20:30:00	924,21	1012,71	412,62	1002,85	745,11	600

En la figura 5.5 se observa la graficación de los resultados experimentales que se presentan en la tabla 5.5 y de la simulación ilustrada en la figura 5.3, utilizando el mismo valor inicial de desfase en ambos casos.



MICROSOFT OFFICE EXCEL

**Figura 5.5.** Comportamiento del desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos cuando el sistema se encuentra operando en el modo de corrección automático (Fecha de la medición: 30 de Julio, 2008)

A continuación se enumeran las principales causas de las diferencias que se presentan entre los gráficos de la figura 5.5:

- a. En la simulación se partió del hecho de que la corrección se realiza justo después de que se actualiza el sitio WEB del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología; sin embargo, en la práctica esto no es posible porque la actualización del sitio WEB sufre retrasos, que en algunos casos son de hasta 40 segundos. Por lo tanto, la captura de los desfases desde el sitio WEB, por parte de la etapa de visualización, fue realizada 1 minuto después de la hora en que se supone se realiza su actualización. También se debe tomar en cuenta el tiempo que tarda el sistema calculando, fragmentando y transmitiendo los factores “ $n-1$ ” que realizan la correcciones; de acuerdo con la tabla 5.5, este tiempo es igual a 16 segundos.

b. En la simulación se aproximó el valor promedio, por cada 10 minutos, del desfase que se presenta entre los estándares de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos al valor central, por cada 10 minutos, del desfase instantáneo del patrón local de tiempo con respecto a las señales de posicionamiento global recepcionadas por el equipo de medición “SIM common-view GPS”. Aunque estas señales se encuentran sincronizadas con el estándar nacional de tiempo de Estados Unidos, siempre existirán diferencias entre ellas. También debe considerarse la diferencia que existe entre el cálculo del valor promedio de un conjunto de datos y su respectivo valor central. A pesar de esto, el margen de error atribuido a esta aproximación, de acuerdo con la tabla 5.6, no supera el 2%.

**Tabla 5.6.** Desfase del patrón local de tiempo con respecto a las señales de posicionamiento global (GPS) y al estándar nacional de tiempo de Estados Unidos (UTC-NIST)  
(Fecha de la medición: 1 de Julio del 2008)

Intervalo de tiempo de lectura (Hora UTC)	Desfase promedio con respecto al patrón UTC-NIST (ns)	Desfase instantáneo con respecto a las señales GPS (ns)			% de error del valor central GPS vrs el valor promedio UTC-NIST (%)
		Inicial	Final	Central	
16:00/16:10	324.29	17.78	643.50	330.640	1.958
16:10/16:20	942.45	643.50	1256.34	949.920	0.793
16:20/16:30	1558.82	1256.34	1874.51	1565.425	0.424
16:30/16:40	2168.65	1874.51	2482.89	2178.700	0.463
16:40/16:50	2782.07	2482.89	3096.03	2789.460	0.266
16:50/17:00	3398.51	3096.03	3710.79	3403.410	0.144
17:00/17:10	4010.74	3710.79	4320.27	4015.530	0.119
17:10/17:20	4622.04	4320.27	4934.97	4627.620	0.120
17:20/17:30	5237.00	4934.97	5547.05	5241.010	0.077

c. Desfases no registrados en el sitio WEB: Este fenómeno, el cual se produce con una frecuencia igual a 1 vez por día, ocurre cuando no se puede establecer adecuadamente la comunicación del equipo de medición “SIM common-view GPS” instalado localmente con la red del Sistema Interamericano de Metrología. Esta situación provoca que el desfase se incremente durante 20 minutos sin recibir corrección alguna. En el experimento que resume la tabla 5.5 se presentó este fenómeno durante el intervalo del Tiempo Universal Coordinado (UTC) correspondiente a 17:20:00 - 17:30:00.

d. En la simulación se aplicó la corrección utilizando el valor exacto de los desfases, pero debe tomarse en cuenta que el sistema redondea los desfases a múltiplos de 100ns.

e. La estabilidad del oscilador HP105B, de acuerdo con la tabla 5.7, se deteriora entre 4,126ns y 15,577ns por cada 5 días; por lo tanto, los resultados correspondientes a la estabilidad del patrón local de tiempo son aplicables solamente para el día en que se realiza la medición.

**Tabla 5.7.** Valores promedio por día de la estabilidad de la señal de 1Hz obtenida a partir de la división de la frecuencia del oscilador HP105B del Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas

Fecha	Promedio diario de la estabilidad por cada 10 minutos	Deterioro de la estabilidad con respecto a la última medición realizada
25 de junio, 2008	603,380ns $\pm$ 0,872%	-----
30 de junio, 2008	616,296ns $\pm$ 0,487%	12,916ns
5 de julio, 2008	620,422ns $\pm$ 0,600%	4,126ns
10 de julio, 2008	635,321ns $\pm$ 0,522%	14,899ns
15 de julio, 2008	646,503ns $\pm$ 0,514%	11,182ns
20 de julio, 2008	653,029ns $\pm$ 0,632%	6,526ns
25 de julio, 2008	668,606ns $\pm$ 0,482%	15,577ns
30 de julio, 2008	674,908ns $\pm$ 0,772%	6,302ns
4 de agosto, 2008	688,062ns $\pm$ 0,431%	13,154ns
9 de agosto, 2008	697,125ns $\pm$ 0,509%	9,063ns

De acuerdo con la simulación presentada en la figura 5.3, el valor promedio por cada 10 minutos del desfase que se presenta entre los estándares de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos, una vez que el sistema se estabiliza en su modo automático de operación, debería ser igual al valor de la estabilidad por cada 10 minutos del patrón de tiempo de Costa Rica. Así pues, tomando en cuenta que para el día en que se realizó el experimento resumido en la tabla 5.5 la estabilidad resultó igual a 674,908ns  $\pm$  0,772% por cada 10 minutos, los valores obtenidos a partir del comportamiento real del sistema no superan por más de 100ns (resolución de las correcciones) a los que se esperan por medio de la simulación después de que el sistema ha estabilizado su operación en el modo de corrección automático (en el experimento esta situación se produjo en el registro de la figura 5.4 correspondiente a la hora UTC 17:50:00 del día 30 de Julio del 2008).

Cabe destacar que el adecuado desempeño del reloj del sistema permitió que las correcciones automáticas se ejecutaran a una frecuencia constante, exactamente cada 1 minuto y 16 segundos después de que se producía la actualización del sitio WEB del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos. Al inicio del experimento resumido en la tabla 5.5 (1 minuto antes de realizar la primera lectura [UTC 16:29:00]) se efectuó una corrección manual para disminuir el desfase que se presentaba entre el patrón local de tiempo y las señales de posicionamiento global a un valor inferior a 100ns; después, se configuró el reloj del sistema a la misma hora del Tiempo Universal Coordinado (UTC) que se despliega en la computadora del equipo de medición “*SIM common-view GPS*”; y finalmente, se configuró el modo automático de corrección, exactamente 1 minuto después de producirse la primera actualización en el sitio WEB (UTC 16:41:00). El reloj del sistema siempre se mantuvo sincronizado con respecto a la hora del equipo de medición “*SIM common-view GPS*”, aunque no se actualizara la hora en la interfaz gráfica de la etapa de visualización durante los 16 segundos que tardaba la ejecución de cada corrección automática.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

- a. La señal eléctrica de 1Hz, cuya base de tiempo es de 10MHz, correspondiente al patrón local de tiempo que genera el sistema implementado a partir del presente proyecto es detectada por el equipo de medición “*SIM common-view GPS*”, lo cual permite su comparación con respecto a los estándares nacionales de tiempo de los países participantes en el Sistema Interamericano de Metrología.
- b. La estabilidad característica del patrón local de tiempo se encuentra definida por el oscilador que se utilice para generar la señal de 10MHz correspondiente a su base de tiempo.
- c. La actualización de la hora del sistema implementado a partir del presente proyecto se realiza cada vez que se produce un flanco positivo de la señal eléctrica correspondiente al patrón local de tiempo; aunque no se despliegue en la etapa de visualización durante los 13 ó 16 segundos que tarda la ejecución de una corrección manual o automática, respectivamente.
- d. El sistema implementado a partir del presente proyecto permite corregir manualmente el desfase que se presenta entre el patrón local de tiempo y las señales de posicionamiento global que recibe el equipo de medición “*SIM common-view GPS*” a un valor inferior a 100ns.
- e. El valor promedio por cada 10 minutos del desfase que se presenta entre los estándares de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos, cuando el sistema ha estabilizado su operación en el modo automático de corrección, no supera por más de 100ns al valor de la estabilidad por cada 10 minutos del patrón local de tiempo.

f. Las generaciones del patrón local de tiempo y de la hora por parte del sistema implementado a partir del presente proyecto no se ven afectadas por interrupciones o reestablecimientos del fluido eléctrico local; a menos que la batería recargable utilizada como fuente auxiliar de energía alcance su valor de tensión mínimo, que es igual a 10,5V.

## **6.2. Recomendaciones**

a. Suministrar mantenimiento al oscilador de cuarzo HP105B presente en el Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas o reemplazarlo por uno nuevo; pues, de acuerdo con los datos técnicos brindados por el fabricante, este oscilador debería poseer una estabilidad cuyo valor sea inferior a 0,5ns por día [9]. De este modo, se lograría el óptimo desempeño del sistema, manteniendo el desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos inferior a 200ns.

b. Obtener un modelo matemático que describa el comportamiento del desfase que se presenta entre los estándares de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos para implementar un modo predictivo de corrección de desfase que brinde respaldo al modo automático cuando se interrumpa la conexión a Internet o no se registre el valor del desfase en el sitio WEB del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología.

c. Instalar una tarjeta Intashield IS-200, la cual posee 2 puertos RS232 que operan a una velocidad máxima de 115200 bits por segundo [30], a la computadora de la etapa de visualización. De esta manera, resultaría innecesaria la conmutación de los enlaces de comunicación serie que establecen el reloj del sistema y el módulo de corrección de desfase con la etapa de visualización, con lo cual se evitaría la interrupción del despliegue de la hora durante las correcciones del desfase y se reduciría el tiempo de ejecución de estas últimas.

d. Reemplazar los dispositivos PIC16F873A y 16F877A por los microprocesadores PIC18F2455 y PIC18F4455, respectivamente; ya que

éstos últimos, cuya máxima frecuencia de operación es igual a 48MHz, poseen módulos EUSART que permiten establecer enlaces de comunicación serial con una computadora a una velocidad máxima de 115200 bits por segundo, con lo cual se reducirían los tiempos de ejecución de las operaciones correspondientes al despliegue de la hora en la computadora y a la aplicación de correcciones al desfase que se presenta entre los patrones de tiempo de Costa Rica y Estados Unidos [31].

e. Reemplazar la batería PS-1270 F1 de la fuente de alimentación por una batería PS121000 [32], para aumentar a aproximadamente 20 horas el tiempo durante el cual la fuente de alimentación puede suministrar energía al sistema luego de que ocurre una interrupción del servicio eléctrico local.

f. Reemplazar el mecanismo que desconecta la batería cuando ésta ha alcanzado su valor de tensión mínimo, el cual posee un divisor resistivo de tensión, por un sensor de voltaje DARE DC [33], para disminuir el consumo de corriente por parte del sistema. Los sensores de voltaje DARE DC son dispositivos que poseen interruptores tipo “*relay*” o de estado sólido, los cuales se accionan (se abren o se cierran dependiendo del modelo del sensor) cuando se detecta un determinado rango de valores de tensión previamente configurado.



## BIBLIOGRAFÍA

### Referencias generales

- [1] Jespersen, James; Fitz-Radolph, Jane. "From Sundials to Atomic Clocks" [en línea]. EN: National Institute of Standards and Technology. *NIST Time and Frequency Publication Database*. Mar. 1999. From Sundials to Atomic Clocks: Understanding Time and Frequency. <<http://tf.nist.gov/timefreq/general/generalpubs.htm>> [Consulta: 16 jun. 2008].
- [2] Lombardi, Michael A.; Heavner, Thomas P.; Jefferts, Steven R. "NIST Primary Frequency Standards and the Realization of the SI Second" [en línea]. EN: National Institute of Standards and Technology. *NIST Time and Frequency Publication Database*. Dec. 2007. NIST Primary Frequency Standards and the Realization of the SI Second <<http://tf.nist.gov/timefreq/general/generalpubs.htm>> [Consulta: 16 jun. 2008].
- [3] Lombardi, Michael. "General Concepts of Time and Frequency Metrology" [en línea]. En: Sistema Interamericano de Metrología. *SIM Time and Frequency Metrology Course at INTI Buenos Aires, Argentina (February 4th through February 7th, 2008)*. Buenos Aires, Argentina: INTI, 4 feb. 2008. General Concepts of Time and Frequency Metrology, Michael Lombardi, NIST (2 hours). <<http://tf.nist.gov/sim/schedule.htm>> [Consulta: 16 jun. 2008].
- [4] Sistema Interamericano de Metrología. *Sistema Interamericano de Metrología* [en línea]. <<http://www.sim-metrologia.org.br/spanol/index.php>> [1 jun. 2008].
- [5] Lombardi, Michael A.; Novick, Andrew N.; López, José Mauricio; Boulanger, Jean-Simon; Pelletier, Raymond. "The Inter-American Metrology System (SIM) Common-View GPS Comparison Network" [en línea]. En: Centro Nacional de Metrología. *Área de Metrología Eléctrica: Publicaciones*. Vancouver, Canadá: 2005. Tiempo y Frecuencia. <<http://www.cenam.mx/dme/>> [Consulta: 1 jun. 2008].
- [6] Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. Ley No. 8279 Sistema Nacional para la Calidad [disco]. La Uruca, San José, Costa Rica: La Gaceta, 21 may. 2002.
- [7] Obregón Quesada, Carlos; Paniagua Valverde, Beatriz. Convenio de Cooperación Interinstitucional entre el Instituto Costarricense de Electricidad y el Laboratorio Costarricense de Metrología [disco]. San José, Costa Rica: 3 sep. 2004.
- [8] National Institute of Standards and Technology. *Common View GPS Time Transfer* [en línea]. <<http://tf.nist.gov/time/commonviewgps.htm>> [Consulta: 1 jun. 2008].

- [9] Hewlett Packard. *Frequency Standard Catalog* [en línea]. <[http://www.mykit.com/kor/products/std/std\\_k2.html](http://www.mykit.com/kor/products/std/std_k2.html)> [Consulta: 27 nov. 2008].
- [10] National Institute of Standards and Technology. *NIST TIME SCALE DATA ARCHIVE* [en línea]. Sep. 2002, actualización 6 nov. 2008. <<http://tf.nist.gov/pubs/bulletin/nistutc.htm>> [Consulta: 27 nov. 2008].
- [11] FLUKE. “FLUKE 6061A” [en línea]. EN: TEKNET ELECTRONICS. *FLUKE 6061A*. 1998. Download Fluke 6061A Datasheet. <[http://www.teknetelectronics.com/Search.asp?p\\_ID=11284&pDo=DETAIL](http://www.teknetelectronics.com/Search.asp?p_ID=11284&pDo=DETAIL)> [Consulta: 27 nov. 2008].
- [12] XILINX. “XC9572 In-System Programmable CPLD” [en línea]. EN: DatasheetCatalog.com. *XC9572 Datasheet pdf*. 4 dec. 1998. XC9572 datasheet. <[http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/X/C/9/5/XC9572.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/X/C/9/5/XC9572.shtml)> [Consulta: 12 feb. 2008].
- [13] Microchip. *PIC16F87X Data Sheet* [en línea]. 2001. <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf>> [Consulta: 2 feb. 2008].
- [14] National Semiconductor. “54LS74/DM54LS74A/DM74LS74A Dual Positive-Edge-Triggered D Flip-Flops with Preset, Clear and Complementary Outputs” [en línea]. EN: DatasheetCatalog.com. *74LS74 Datasheet pdf*. Jun. 1989. Transferencia Directa 74LS74 datasheet de National Semiconductor. <[http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets\\_pdf/7/4/L/S/74LS74.shtml](http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/7/4/L/S/74LS74.shtml)> [Consulta: 16 feb. 2008].
- [15] Motorola. “OCTAL TRANSPARENT LATCH WITH 3-STATE OUTPUTS; OCTAL D-TYPE FLIP-FLOP WITH 3-STATE OUTPUT” [en línea]. EN: DatasheetCatalog.com. *74LS374 Datasheet pdf*. Dec. 1999. Transferencia Directa 74LS374 datasheet de ON Semiconductor. <[http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets\\_pdf/7/4/L/S/74LS374.shtml](http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/7/4/L/S/74LS374.shtml)> [Consulta: 16 feb. 2008].
- [16] JAMECO ELECTRONICS. “PICVUE16x2.pdf” [en línea]. EN: Microtroniks.com. *LCD 16x2 PICVUE*. 17 jul. 2005. Descargue aquí la hoja de datos. <[http://microtroniks.com/catalog/product\\_info.php?products\\_id=146](http://microtroniks.com/catalog/product_info.php?products_id=146)> [Consulta: 29 feb. 2008].
- [17] Wakerly, John F. *Diseño digital: principios y prácticas*. 3 ed. Naucalpan de Juárez, México: Pearson Education de México, 2001, p.p. 400-401.
- [18] MAXIM. “+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers” [en línea]. EN: DatasheetCatalog.com. *MAX232 Datasheet pdf*. 2003. Transferencia Directa MAX232 datasheet de MAXIM - Dallas Semiconductor. <[http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets\\_pdf/M/A/X/2/MAX232.shtml](http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/M/A/X/2/MAX232.shtml)> [Consulta: 17 feb. 2008].

- [19] Froufe, Agustin. *Tutorial de Java – “Comunicaciones Serie, Uso del API de Comunicaciones”* [en línea]. 1996. <<http://www.itapizaco.edu.mx/paginas/JavaTut/froufe/parte19/cap19-3.html>> [5 may. 2008].
- [20] Blogger Team. *JAVA – Excel [JExcelAPI]* [en línea]. Dan Rubin, 12 de Junio de 2007. <<http://www.testpage.com.ar/2007/06/java-excel-jexcelapi.html>> [Consulta: 15 may. 2008].
- [21] RogerJose. “Cambiar hora del computador con aplicación Java” [en línea]. En: *LANeros.com*. 24 Enero 2007, mensaje No. 4. <<http://www.laneros.com/archive/index.php/t-88239.html>> [Consulta: 25 abr. 2008].
- [22] Froufe, Agustin. *Tutorial de Java – “Comunicaciones en Red, clase URLConnection”* [en línea]. 2004. <<http://www.itapizaco.edu.mx/paginas/JavaTut/froufe/parte20/cap20-7.html>> [5 may. 2008].
- [23] Sun. *Pausing Excecuion with Sleep* [en línea]. 1995. <<http://java.sun.com/docs/books/tutorial/essential/concurrency/sleep.html>> [Consulta: 5 may. 2008].
- [24] Electrónica Unicrom. *Batería en UPS off line o Stand-by* [en línea]. 2008. <[http://www.unicrom.com/Tut\\_TopologiasUPS1-bateria.asp](http://www.unicrom.com/Tut_TopologiasUPS1-bateria.asp)> [Consulta: 26 may. 2008].
- [25] POWER SONIC. *Rechargeable Sealed Lead-Acid Battery* [en línea]. <<http://www.tycoemea.com/english/pdf/datasht/ps1270.pdf>> [Consulta: 26 may. 2008].
- [26] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. *3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator* [en línea]. Abr. 1999, revisado dic. 2005. <<http://mipsa.p.lodz.pl/download/BazaWiedzy/zasilania/LM7805.pdf>> [Consulta: 26 may. 2008].
- [27] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. *1N4001-1N4007* [en línea]. 2003. <[http://www.tnw.utwente.nl/onderwijs\\_overig/practica/doc/componenten/1n4007.pdf](http://www.tnw.utwente.nl/onderwijs_overig/practica/doc/componenten/1n4007.pdf)> [Consulta: 26 may. 2008].
- [28] García, Vicente. “Una Fuente UPS Básica” [en línea]. En: García, V. *Nociones de electronica practica hispavilla.com*. Kagiva, 20 may. 2004, revisión 12 mar. 2005. <<http://www.hispavila.com/3ds/tutores/ups.html>> [Consulta: 26 may. 2008].
- [29] National Semiconductor. *3-Terminal Adjustable Regulator*. [en línea]. May. 1996. <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/nationalsemiconductor/DS009063.PDF>> [Consulta: 26 may. 2008].

[30] Intashield. *Intashield IS-200 2 PORT RS232* [en línea]. <<http://www.intashield.com/downloads/IS-200.pdf>> [Consulta: 26 may. 2008].

[31] Microchip. *PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet* [en línea]. 2004. <<http://www.create.ucsb.edu/~dano/CUI/PIC18F4550datasheet.pdf>> [Consulta: 27 nov. 2008].

[32] POWERSONIC. *PS121000 12 Volt 100.0 AH* [en línea]. <<http://www.power-sonic.com/site/doc/prod/103.pdf>> [Consulta: 27 nov. 2008].

[33] DARE Electronics. “DC VOTAGE SENSOR” [en línea]. En: DARE Electronics. *DC Voltage Sensors*. 2008. Download DC Voltage Sensor Product Datasheet. <<http://www.dareelectronics.com/products/dc-voltage-sensors/default.html>> [Consulta: 27 nov. 2008].

### **Referencias específicas**

[34] Bureau International des Poids et Mesures, “BIPM – homepage: Introduction” [en línea]. Oct. 2008. <<http://www.bipm.org/en/home>> [Consulta: 16 jun. 2008].

[35] Bureau International des Poids et Mesures, “Le Systeme International d’Unites,” 7th. ed. Sevres, France, 1998, p. 95.

## APÉNDICES

### A.1. Manual de usuario

#### Instalación del software

1. Se descomprime el archivo Java.rar.
2. Se ejecuta el archivo jdk-6u6-windows-i586-p.
3. A continuación aparece un cuadro de licencia: Se elige la opción "*I accept the terms in the licence agreement*" y luego, se presiona el botón "Next>".
4. En la siguiente pantalla que aparezca, se presiona el botón "Next>".
5. En la siguiente pantalla que aparezca, se presiona el botón "Install>".
6. Cuando termine el proceso, se presiona el botón "Finish" y se reinicia la computadora, si la aplicación lo solicita.
7. Se copia el archivo win32com.dll en la ubicación C:\Archivos de programa\Java\jdk1.6.0\_06\jre\bin.
8. Se copian los archivos comm.jar y jxl.jar en la ubicación C:\Archivos de programa\Java\jdk1.6.0\_06\jre\lib\ext.
9. Se copia el archivo javax.comm.properties en la ubicación C:\Archivos de programa\Java\jdk1.6.0\_06\jre\lib.
10. Finalmente, se ejecuta archivo SV.jar que corresponde al software del Sistema de Visualización.

#### Instalación del hardware

1. Se conecta la salida de un oscilador de 10MHz, cuya impedancia de salida sea de  $50\Omega$ , a la entrada de referencia de la implementación correspondiente a este proyecto y a la entrada "*External Time Base*" del sistema "*SIM Common-View GPS*".
2. Se conecta la salida PATRÓN de la implementación correspondiente a este proyecto a la entrada "*Local UTC Time Scale*" del sistema "*SIM Common-View GPS*".
3. Se conecta el puerto serie de la implementación correspondiente a este proyecto un puerto serie de la computadora en la cual se ejecute el software del Sistema de Visualización.

#### Configuración del puerto serie

1. Una vez que se ejecuta el archivo SV.jar, aparece una ventana llamada "*Sistema de Tiempo y Frecuencia - ICE*".
2. Se elige la opción "*Abrir Puerto*" del menú "*Puerto Serie*".
3. Luego, aparece una ventana llamada "*Puerto Serie*", en la que se elige el puerto que se desea utilizar y después, se presiona el botón "*Aceptar*".

4. La indicación de que el puerto se configuró correctamente es expresada por medio del mensaje *“El puerto COMn ha sido abierto”*.

5. Si se desea el puerto que se acaba de configurar, se elige la opción *“Cerrar Puerto”* del menú *“Puerto Serie”*.

### **Despliegue de la hora**

1. Una vez que se ha configurado un puerto serie de la computadora, se elige la opción *“Desplegar Hora”* del menú *“Configurar Hora”*.

2. Se oprime el botón *“Inicio”* de la implementación física del sistema, con lo cual se iluminará su respectivo LED rojo.

### **Configuración de la hora**

1. Una vez que el despliegue de la hora se esté realizando, se elige la opción *“Configurar Hora”* del menú *“Configurar Hora”*.

2. Luego, aparece una ventana llamada *“Modificar Hora”*, en la cual se debe digitar la contraseña del sistema y después, se presiona el botón *“Aceptar”* o la tecla *“Enter”*.

3. Si la contraseña ingresada es correcta, aparece otra ventana llamada *“Modificar Hora”*, en la cual se ingresa la hora a configurar y después, se presiona el botón *“Aceptar”*.

4. Si la configuración se realizó adecuadamente, se despliega la palabra *Verifica* en la consola del sistema operativo DOS (cada carácter de la palabra se despliega en una línea distinta) y se enciende el LED verde correspondiente al botón *“Inicio”* de la implementación física del sistema.

5. Se oprime el botón *“Inicio”* de la implementación física del sistema, con lo cual se iluminará su respectivo LED rojo.

Nota: para sincronizar esta hora con otro reloj utilizado como referencia, se debe configurar una hora que adelante a tal reloj en al menos 10 segundos y, justamente cuando falte 1 segundo para que el reloj de referencia alcance la hora configurada, se oprime el botón *“Inicio”* de la implementación física del sistema.

### **Introducción manual de correcciones**

1. Para realizar este tipo de correcciones, el LED verde del botón *“Modo de Operación”* de la implementación física del sistema debe estar iluminado; de no ser así, se oprime dicho botón.

2. Se elige la opción *“Introducir Corrección Manual”* del menú *“Corrección”*.

3. Luego, aparece una ventana llamada *“Corrección Manual”*, en la cual se deben digitar el nombre del usuario que esté utilizando el sistema y la contraseña del sistema. Después, se presiona el botón *“Aceptar”* o la tecla *“Enter”*.

4. Si la contraseña ingresada es correcta, aparece otra ventana llamada *“Corrección Manual”*, en la cual se ingresa el valor del desfase a corregir y después, se presiona el botón *“Aceptar”*.

5. La operación tarda algunos segundos y, al finalizar el proceso, el sistema continúa desplegando la hora.

### **Configuración de correcciones automáticas**

1. Para realizar este tipo de correcciones, el LED rojo del botón *“Modo de Operación”* de la implementación física del sistema debe estar iluminado; de no ser así, se oprime dicho botón.

2. Se elige la opción *“Activar Correcciones Automáticas”* del menú *“Corrección”*.

3. Luego, aparece una ventana llamada *“Corrección Automática”*, en la cual se ingresa la contraseña del sistema y después, se presiona la tecla *“Enter”*.

4. Si la contraseña que se digitó es correcta, se habilita el ingreso del valor correspondiente al periodo (en minutos) en que se realizarán la correcciones automáticas. Después de ingresar tal valor, se oprime el botón *“Iniciar”*.

Notas:

- Si el desfase automático ya se encontraba activado, se puede detener por medio del botón *“Detener”* que se habilita luego de introducir correctamente la contraseña en la ventana *“Corrección Automática”*.

- El botón *“Iniciar”* debe oprimirse 1 minuto después de haberse producido una actualización del sitio WEB del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos, para asegurar la correcta obtención del dato.

5. La actividad de los desfases automáticos se puede observar seleccionando la opción *“Ver Correcciones Automáticas”* del menú *“Corrección”*. Al realizar este paso, se despliega una ventana llamada *“Corrección Automática”* que presenta los datos correspondientes a la última corrección automática que haya realizado el sistema.

### **Acceso al registro de modificaciones diarias**

1. Se elige la opción *“Archivo de Modificaciones”* del menú *“Corrección”*.

2. Luego, aparece una ventana llamada correcciones, en la cual se ingresa la fecha (en el formato dd-mm-aa) en que se realizaron las correcciones que se desean observar y después, se oprime el botón *“Aceptar”*.

3. A continuación, se despliega una tabla con los datos que se desean observar.