



**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**

**PLAN DE OPTIMIZACIÓN EN LA SINCRONIA EN  
UNA RED DE TELECOMUNICACIONES**

**Marco Junio Alpírez Pérez**

**Asesorado por el Ing. Sergio Danilo Argueta Batres**

**Guatemala, junio de 2008**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLAN DE OPTIMIZACIÓN EN LA SINCRONIA EN  
UNA RED DE TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**MARCO JUNIO ALPÍREZ PÉREZ**

ASESORADO POR EL ING. SERGIO DANILO ARGUETA BATRES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, JUNIO DE 2008

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Sergio Danilo Argueta Batres
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzman Salazar
EXAMINADOR	Ing. Ingrid Rodríguez de Loukota
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **PLAN DE OPTIMIZACIÓN EN LA SINCRONIA EN UNA RED DE TELECOMUNICACIONES,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mécanica Eléctrica, con fecha 3 de mayo de 2007.

  
Marco Junio Alpínez Pérez

Guatemala, 28 de enero del 2008

Ingeniera  
Norma Ileana Sarmiento Zeceña  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniera Sarmiento Zeceña;

Por este medio me dirijo a usted, para informarle que cumpliendo con lo resuelto por la Dirección de Escuela, se procedió a la asesoría y revisión del proyecto de EPS de seis meses cuyo informe es el trabajo de graduación titulado: **“PLAN DE OPTIMIZACION EN LA SINCRONIA EN UNA RED DE TELECOMUNICACIONES”**, desarrollado por el estudiante universitario Marco Junio Alpírez Pérez, con número de carné 83-11342.

Este trabajo, presentado por el estudiante, se ha desarrollado cumpliendo con los requisitos de la Facultad de Ingeniería, tomando en cuenta las recomendaciones de la asesoría, por lo tanto considero que cubre los objetivos del estudio planteado, habiendo aplicado criterios de ingeniería en su desarrollo.

En tal sentido me permito informarle que encuentro satisfactorio el trabajo realizado y lo remito a usted para los trámites respectivos.

Sin otro particular me despido, atentamente;



Ing. Sergio Danilo Argueta Batrtes  
Ingeniero Electricista  
Colegiado 3284

*Sergio Danilo Argueta Batrtes*  
**INGENIERO ELECTRICISTA**  
Colegiado 3284



Guatemala, 19 de febrero de 2008  
Ref. EPS. D. 168.02.08

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, **MARCO JUNIO ALPIREZ PEREZ**, procedí a revisar el informe final de la práctica de EPS, titulado **“PLAN DE OPTIMIZACIÓN EN LA SINCRONIA EN UNA RED DE TELECOMUNICACIONES”**.

Cabe mencionar que las soluciones planteadas en este trabajo, constituyen un valioso aporte de nuestra Universidad.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

  
Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Supervisor de EPS

Área de Ingeniería Mecánica – Eléctrica



KIER/jm



Guatemala, 19 de febrero de 2008  
Ref. EPS. D. 168.02.08

Ing. Renato Escobedo  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Escobedo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **“PLAN DE OPTIMIZACIÓN EN LA SINCRONIA EN UNA RED DE TELECOMUNICACIONES”**.

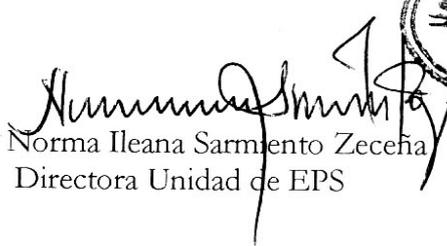
Este trabajo lo desarrolló el estudiante universitario, **MARCO JUNIO ALPIREZ PEREZ** quien fue asesorado por el Ing. Sergio Danilo Argueta Batres y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido; solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

  
Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña  
Directora Unidad de EPS



NISZ/jm

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



Guatemala, 12 de MAYO 2008.

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor Director  
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

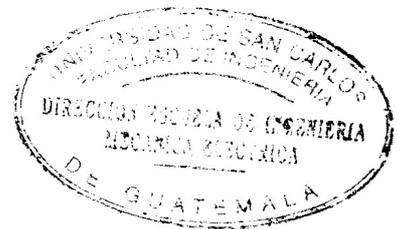
Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
PLAN DE OPTIMIZACIÓN EN LA SINCRONIA EN UNA RED  
DE TELECOMUNICACIONES. del estudiante Mario Renato Alpiéz  
Pérez. por considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal  
fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente

INGENIERO A TODOS

  
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez  
Coordinador Área de Electrónica



5002



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer al dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: MARCO JUNIO ALPIREZ PÉREZ titulado: PLAN DE OPTIMIZACIÓN EN LA SINCRONÍA EN UNA RED DE TELECOMUNICACIONES, procede a la autorización del mismo.

Ing. Mario Roberto Escobar Marduch

DIRECTOR



GUATEMALA, 15 DE MAYO 2008.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

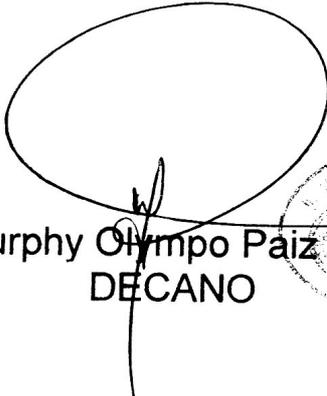


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.205.08

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **PLAN DE OPTIMIZACIÓN EN LA SINCRONÍA EN UNA RED DE TELECOMUNICACIONES**, presentado por el estudiante universitario **Marco Junio Alpírez Pérez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, junio de 2008

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>DIOS</b>	Por haberme permitido llegar a este momento.
<b>MI MADRE</b>	Vicenta Pérez Pineda (doña Gricell) por todo el inmenso amor que me ha prodigado.
<b>MI PADRE</b>	Ernesto Rolando Alpírez D.E.P. que este triunfo lo regocije en donde quiera que mi Dios lo tenga.
<b>MIS HIJAS</b>	Aura Violeta, Gricell Patricia, Lourdes Libni Sarai, como una recompensa por todas las horas que deje de compartir con ellas.
<b>MI HIJO</b>	Mario Rolando Alpírez López D.E.P. angelito que Dios lo tenga en su gloria.
<b>MI ESPOSA</b>	Patricia Esmeralda López, por su amor, apoyo y cariño.
<b>MIS HERMANOS</b>	Vilma, Otto, Ileana, Ivan, Ibo y Lourdes, por apoyarme durante toda mi carrera.
<b>MIS FAMILIARES Y AMIGOS</b>	Con mucho aprecio.

## **AGRADECIMIENTO A:**

**MI ASESOR INGENIERO      SERGIO DANILO ARGUETA BATRES**

**INGENIERO      GERARDO MARTINEZ**

**TELGUA**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Por su apoyo y compartir aspectos importantes de mi formación profesional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XI
GLOSARIO.....	XVII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XXIII
RESUMEN.....	XXV
OBJETIVOS.....	XXVII
INTRODUCCIÓN.....	XXIX

### 1 INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA..... 1

1.1 Antecedentes de la empresa.....	1
1.1.1 Reseña histórica.....	1
1.1.2 Misión.....	1
1.1.3 Visión.....	2
1.1.4 Áreas que la integran.....	2
1.2 Tecnologías en las redes de Telecomunicaciones.....	3
1.2.1 Tecnología de Conmutación.....	3
1.2.1.1 Central de Conmutación.....	3
1.2.2 Tecnología de Transporte.....	5
1.2.2.1 Multiplexor Terminal de Línea.....	5
1.2.2.2 Multiplexores de inserción-extracción.....	6
1.2.2.3 DXC sincrónico.....	6
1.2.2.4 Regenerador.....	7

## 2 CONCEPTOS Y DEFINICIONES ELEMENTALES..... 9

2.1	Conceptos básicos.....	9
2.1.1	Forma de onda.....	9
2.2	Frecuencia .....	10
2.3	Fase.....	12
2.4	Transiente de fase.....	13
2.5	Sincronización.....	14
2.6	<i>Synchronization</i> o sintonización.....	15
2.7	Señal analógica y digital.....	16
2.7.1	Señal analógica.....	16
2.7.1.1	Representación analógica.....	16
2.7.2	Señal digital.....	17
2.7.2.1	Representación digital.....	17
2.7.2.2	Señal binaria.....	18
2.7.2.3	<i>Bit</i> .....	18
2.7.3	Códigos.....	19
2.7.3.1	Transmisión asincrónica.....	20
2.7.3.2	Transmisión sincrónica.....	21
2.7.4	<i>Bit</i> , <i>byte</i> y trama de sincronismo.....	22
2.7.4.1	<i>Octeto (Byte)</i> .....	23
2.7.4.2	Intervalo de tiempo o <i>time slot (TS)</i> .....	23
2.7.5	Trama.....	24
2.7.5.1	Canal de voz.....	24
2.7.6	Multitrama.....	24
2.7.7	Palabra de sincronía.....	27
2.7.8	Sincronía de trama.....	28
2.7.9	Sincronía de multitrama.....	28

2.7.10 Señalización.....	29
2.8 Formas de onda de la información.....	30
2.8.1 Código sin retorno a cero (NRZ).....	32
2.8.2 Código con retorno a cero (RZ).....	34
2.8.3 Codificación bifásica.....	35
2.8.4 Código de marca alternativamente invertida (AMI).....	38
2.8.5 Bipolar de alta densidad (HDB <sub>3</sub> ).....	40
2.8.6 Regeneración de la señal recibida.....	41
2.8.7 Extracción de la información de sincronismo.....	43
2.9 Principios del funcionamiento de los lazos de fijación de fase (PLL).....	45
2.9.1 Regeneración de reloj utilizando circuitos PLL.....	49
2.9.2 Regeneración de la secuencia de información.....	52
2.10 Unidad de intervalo.....	55
2.11 Precisión.....	56
2.12 Exactitud.....	56
2.13 Estabilidad.....	57
2.14 <i>Jitter</i> .....	58
2.15 <i>Wander</i> .....	58
2.16 Ruido de fase.....	58
2.16.1 Ruido.....	59
2.16.2 Relación señal ruido.....	60
2.17 Deslizamiento.....	61
2.18 Componentes de la red de sincronismo.....	61
2.18.1 Fuentes de temporización.....	61
2.18.1.1 MASER.....	61
2.18.1.2 GPS.....	63
2.18.1.3 LORAN.....	64
2.18.1.4 SSU/SASE.....	65

2.18.1.4.1. Unidad proveedora de sincronismo/equipo de sincronización autónomo .....	65
2.18.1.4.2. SASE.....	65
2.18.1.5 SEC.....	67
2.18.1.6 Modos de Operación.....	67
2.18.1.6.1. Amarrado ( <i>Locked</i> ).....	67
2.18.1.6.2. Sostenido ( <i>Holdover</i> ).....	67
2.18.1.6.3. Carrera libre ( <i>Free runnig</i> ).....	68
2.18.2 Tipos de osciladores.....	71
2.18.2.1 Hidrógeno.....	71
2.18.2.2 Cesio.....	71
2.18.2.3 Rubidio.....	72
2.18.2.4 Cristal cuarzo.....	73
2.18.2.4.1. El oscilador RTX0.....	73
2.18.2.4.2. El oscilador OCXO.....	74
2.18.2.4.3. El oscilador TCXO .....	74
2.18.2.4.4. Los osciladores MCXO.....	74
2.18.3 Tipos de reloj.....	75
2.18.3.1 PRC.....	75
2.18.3.2. Reloj de nodo.....	76
2.18.3.3. Relojes de elemento de red.....	76
2.18.4 Tipos de referencias.....	77
2.18.4.1 El Reloj de referencia primaria (PRC).....	77
2.18.4.2 Los relojes subordinados.....	77
2.18.5 Sistemas de posicionamiento global.....	78
2.18.6 Protocolo de tiempo en la red NTP.....	79

<b>3</b>	<b>ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LA LEY DE TELECOMUNICACIONES.....</b>	<b>83</b>
3.1	Ley general de telecomunicaciones.....	83
3.1.1	Disposiciones generales.....	83
3.1.2	Condiciones de operación.....	85
3.1.2.1	Régimen de operación.....	85
3.1.2.2	Interconexión de redes.....	87
3.1.2.3	Procedimiento para resolver conflictos en torno al acceso a recursos esenciales.....	90
3.2	Estrategias básicas.....	93
3.2.1	Sobre el modelo de referencia de sincronismo a aplicarse en Guatemala.....	94
3.2.2	Objetivo de la tasa de deslizamiento y distribución.....	98
3.2.2.1	Distribución general de los objetivos de calidad de funcionamiento en materia de deslizamientos controlados.....	100
3.2.3	Planificación y diseño de la red de sincronismo de cada operador.....	106
3.2.4	Método de sincronismo en la interconexión y calidad de los relojes.....	107
3.2.4.1	Método de sincronismo para la Interconexión nacional.....	107
3.2.4.2	La calidad de los relojes de los nodos de interconexión nacional.....	108
3.2.4.3	Interconexión internacional.....	108
3.2.4.4	La calidad de los relojes de los nodos internacionales.....	109

3.2.5 Mediciones de la calidad de la tasa de deslizamiento.....	109
---	-----

## **4 ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE NORMAS INTERNACIONALES UIT..... 111**

4.1. Estándares sobre normas Internacionales sobre sincronización.....	111
4.2. Conceptos y descripciones.....	112
4.2.1 G.703 Estructuras de trama sincrónica utilizadas en los niveles Jerárquicos 1544, 6312, 2048, 8448 y 44 736 kbit/s.....	112
4.2.2 G. 803 Arquitectura de redes de transporte basadas en la jerarquía digital sincrónica.....	113
4.2.3 G. 810 Definiciones y terminología para redes de sincronización.....	114
4.2.4 G. 811 Características de temporización de los relojes de referencia primarios.....	115
4.2.5 G. 812 Requisitos de temporización de relojes subordinados adecuados para utilización como relojes de nodo en redes de sincronización.....	116
4.2.6 G. 813 Características de temporización de relojes subordinados de equipos de la jerarquía digital sincrónica.....	117
4.2.7 G. 822 Objetivos de tasa de deslizamientos controlado en una conexión digital Internacional.....	119

4.2.8	G. 823 Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 2048 kbit/s.....	120
4.2.9	G. 824 Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 1544 kbit/s.....	122
4.2.10	G. 825 Control de fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía digital síncrona.....	124
<b>5</b>	<b>DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN.....</b>	<b>127</b>
5.1	Características técnicas.....	127
5.2	Equipo de medición.....	128
5.3	Equipo de referencia de comparación.....	128
5.4	Equipo de análisis.....	128
5.5	Lineamientos técnicos para el desarrollo del diagnóstico.....	129
5.5.1	Puntos de muestreo.....	129
5.5.2	Cantidad de muestras.....	129
5.6	Análisis de las mediciones.....	131
5.6.1	Quetzaltenango evaluación y diagnóstico.....	131
5.6.1.1	Equipo distribuidor de sincronismo xeEDS.....	131
5.6.1.2	Elemento de red xe150A.....	133
5.6.1.3	Elemento de red central conmutación xeUT.....	137

5.6.2	Retalhuleu evaluación y diagnóstico .....	140
5.6.2.1.	Equipo distribuidor de sincronismo REeds.....	140
5.6.2.2.	Elemento de red reHMOA3 .....	143
5.6.2.3.	Elemento de red central de conmutación REut.....	146
5.6.3	Escuintla evaluación y diagnóstico .....	149
5.6.3.1.	Equipo distribuidor de sincronismo edsRUB.....	149
5.6.3.2.	Elemento de red es1664.....	152
5.6.3.3.	Elemento de red central de conmutación EWSD.....	155
5.6.4	Chimaltenango evaluación y diagnóstico.....	157
5.6.4.1.	Equipo distribuidor de sincronismo chEDS.....	157
5.6.4.2.	Elemento de red chsuphm4.....	160
5.6.4.3.	Elemento de red central de conmutación CH-UT100.....	163

## **6 REALIZACIÓN Y DOCUMENTACIÓN DEL PLAN DE OPTIMIZACIÓN DE LA SINCRONIZACIÓN DE LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES 167**

6.1	Definición de las fases de la ingeniería de red.....	167
6.1.1	Definición.....	167
6.1.2	Diseño de red.....	168
6.1.3	Validación del diseño.....	168
6.1.4	Implementación.....	168
6.1.5	Mantenimiento.....	169
6.2	Distribución nodal de las fuentes de referencia de reloj en la red.....	169

6.3	Propagación de las señales de reloj en la red a través del medio de transporte.....	169
6.4	Temporización de los elementos de red en cada nodo.....	170
6.5	Sincronización internodal.....	170
6.6	Cuanto cuesta la optimización de los elementos de red de Sincronismo.....	172
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>175</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>177</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>179</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>181</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Forma de onda.....	9
2	Relación de fase.....	12
3	Transiente de fase.....	13
4	<i>Jitter</i> dentro del período sincronización.....	14
5	<i>Jitter</i> dentro del período afecta la sintonización.....	15
6	Formato asincrónico de datos.....	20
7	Periodo de tiempo de un bit.....	22
8	Palabra de ocho bit un <i>byte</i> .....	23
9	Intervalo de tiempo de un <i>byte</i> .....	23
10	Trama del sistema según norma Europea.....	24
11	Localización de los canales de voz en la trama.....	25
12	Multitrama 2 ms.....	26
13	Clasificación de las tramas.....	26
14	Palabras de sincronía y no sincronía.....	27
15	Forma de onda NRZ.....	32
16	Forma de onda RZ.....	34
17	Forma de onda codificación bifásica.....	36
18	Forma de onda AMI.....	38
19	Forma de onda Pulso de Violación (V).....	40
20	Forma de onda Marcas (M) no rompe alternancia.....	40
21	Forma de onda Marcas (M) siguiente bit con igual polaridad.....	41
22	Regeneración del Pulso.....	43
23	Forma básica del PLL diagrama de Bloque.....	45

24	Diagrama de bloque del PLL modificando el lazo de fijación de fase.....	48
25	Operación del circuito del detector de fase.....	50
26	Diagrama de bloque de un circuito de regeneración.....	53
27	Intervalo Unitario.....	55
28	Conexión ficticia de referencia (XFR) de un circuito internacional.....	95
29	Circuito referencia internacional.....	96
30	Circuito referencia nacional.....	97
31	Circuito de distribución de taza de deslizamiento por operador circuito internacional.....	103
32	Circuito de distribución de taza de deslizamiento por operador circuito nacional.....	105
33	Desviación en tiempo de la señal del distribución de sincronismo xeEDS.....	129
34	Evaluación del reloj propio del distribuidor de sincronismo xeEDS.....	130
35	Requerimiento de estabilidad para el distribuidor de sincronismo xeEDS.....	131
36	Desviación en tiempo de la señal del elemento de red xe150A.....	132
37	Evaluación del reloj del elemento de red xe150A, toma la referencia externa proveniente del equipo distribuidor sincronismo.....	133
38	Requerimiento de estabilidad para el elemento de red xe150A.....	134
39	Desviación en tiempo de la señal del elemento de red xeut.....	135

40	Evaluación del reloj del elemento de red xeut, toma la referencia externa proveniente del equipo distribuidor sincronismo.....	136
41	Requerimiento de estabilidad para el elemento de red xeut.....	137
42	Desviación en tiempo de la señal del distribuidor de sincronismo REeds.....	138
43	Evaluación del reloj propio del distribuidor de sincronismo REeds.....	139
44	Requerimiento de estabilidad para distribuidor sincronismo REeds.....	140
45	Desviación en tiempo de la señal del elemento de red reHMOA3.....	141
46	Evaluación del reloj del elemento de red reHMOA3, toma la referencia externa proveniente del equipo distribuidor de sincronismo.....	142
47	Requerimiento de estabilidad para el elemento de Red reHMOA3.....	143
48	Desviación en tiempo de la señal del elemento de red REut.....	144
49	Evaluación del reloj del elemento de red REut, toma la referencia externa proveniente del equipo distribuidor de sincronismo.....	145
50	Requerimiento de estabilidad para el elemento de red REut.....	146
51	Desviación en tiempo de la señal del distribuidor de sincronismo edsRUBI.....	147

52	Evaluación del reloj propio del distribuidor de sincronismo edsRUBI.....	148
53	Requerimiento de estabilidad para distribuidor de sincronismo edsRUBI.....	149
54	Desviación en tiempo de la señal del elemento de red es1664.....	150
55	Evaluación del reloj del elemento de red es1664, toma la referencia externa proveniente del equipo distribuidor de sincronismo.....	151
56	Requerimiento de estabilidad para el elemento de red es1664.....	152
57	Desviación en tiempo de la señal del elemento de red ES-EWSD-E1.....	153
58	Requerimiento de estabilidad para el elemento de red ES-EWSD-E1.....	154
59	Desviación en tiempo de la señal del distribuidor de sincronismo chEDS.....	155
60	Evaluación del reloj propio del distribuidor de sincronismo chEDS.....	156
61	Requerimiento de estabilidad para distribuidor sincronismo chEDS.....	157
62	Desviación en tiempo de la señal del elemento de red chsuphm4.....	158
63	Evaluación del reloj del elemento de red chsuphm4, toma la referencia externa proveniente del equipo distribuidor de sincronismo.....	159
64	Requerimiento de estabilidad para el elemento de red chsuphm4.....	160

65	Desviación en tiempo de la señal del elemento de red CH-UT100.....	161
66	Evaluación del reloj del elemento de red CH-UT100, toma la referencia externa proveniente del equipo distribuidor sincronismo.....	162
67	Requerimiento de estabilidad para el elemento de red chut.....	163

## TABLAS

I.	Estado de señalización .....	29
II.	Tabla 1/G.822 Característica de deslizamientos controlados en una conexión internacional o canal portador a 64 kbit/s....	99
III.	Tabla 2/G.822, Repartición de los objetivos de calidad de funcionamiento en materia de deslizamientos controlados....	101
IV.	Objetivo de tasa de deslizamiento por segmento.....	102
V.	Objetivos con proporción de tiempo total.....	103



## GLOSARIO

<b>Canal</b>	Es un solo tren de datos unidireccional donde se transmiten los datos.
<b>Enlace de sincronización</b>	Enlace entre dos nodos de sincronización, por el cual se transmite información de sincronización.
<b>Error de intervalo de tiempo</b>	Diferencia total, en un intervalo de tiempo especificado, entre los instantes significativos de una señal digital y la posición que teóricamente deberían ocupar en el tiempo.
<b>Error de intervalo de tiempo relativo</b>	Diferencia total, en un intervalo de tiempo especificado, entre los estados significativos correspondientes de dos señales digitales.
<b>Flip-flop</b>	Son elementos de memoria que se usan en los circuitos secuenciales de reloj. Estos circuitos son celdas binarias capaces de almacenar un bit de información.
<b>Homócrono</b>	Característica esencial de una escala de tiempo o de una señal, en virtud de la cual sus instantes significativos correspondientes guardan entre sí una relación de fase constante, pero incontrolada.
<b>Intervalo de tiempo (time slot)</b>	Cualquier intervalo que aparece cíclicamente y que es posible identificar y definir sin ambigüedad.

<b>Intervalo de tiempo de alineación de trama</b>	Intervalo de tiempo que ocupa la misma posición relativa en cada trama y se utiliza para transmitir la señal de alineación de trama.
<b>Intervalo de tiempo de señalización</b>	Intervalo de tiempo que ocupa una posición específica en una trama y está asignado a la transmisión de señalización.
<b>Isócrono</b>	Característica esencial de una escala de tiempo o de una señal, en virtud de la cual los intervalos de tiempo entre instantes significativos consecutivos tienen la misma duración, o duraciones que son múltiplos enteros de la duración más corta.
<b>Jitter (fluctuación de fase)</b>	Variaciones de corta duración y no acumulativas de los instantes significativos de una señal digital con relación a las posiciones que teóricamente debieran ocupar en el tiempo.
<b>Modulación por impulsos codificados PCM</b>	Proceso en el cual se muestrea una señal, y la amplitud de cada muestra se cuantifica independientemente de otras muestras y se convierte por codificación en una señal digital.
<b>Muestra</b>	Grupo finito de medidas repetidas.
<b>Muestreo</b>	Procedimiento para obtener una pequeña parte de los instantes significativos, cuya composición es representativa de todos los instantes de tiempo.

<b>Nodo de sincronización</b>	Punto de una red sincronizada donde se deriva, envía o recibe información de sincronización.
<b>No-síncrono</b>	Característica esencial de una escala de tiempo o de una señal en virtud de la cual sus instantes significativos correspondientes no se presentan necesariamente con la misma cadencia media.
<b>Estrato</b>	Clasificación de la temporización organizada en jerarquías de capas.
<b>Plesiócrono</b>	<p>Característica esencial de una escala de tiempo de la cual sus instantes significativos correspondientes se presentan con la misma cadencia nominal, y cualquier variación de esta cadencia se mantiene dentro de límites especificados.</p> <p>Dos señales que tengan la misma velocidad digital nominal y que no provengan del mismo reloj o de relojes homócronos, serán generalmente plesiócronas.</p> <p>No existen límites para la relación de fase entre los instantes significativos correspondientes.</p>
<b>PPM/día</b>	Forma conveniente de expresar una magnitud física. Partes por millon por día.
<b>Puntero</b>	Indicador cuyos valores definen el desplazamiento de trama de un contenedor virtual con respecto de trama de la identidad de transporte a la que soporta.

<b>Recuperación de la temporización</b>	Obtención de una señal de temporización a partir de una señal recibida.
<b>Red de sincronización</b>	Configuración de nodos de sincronización y enlaces de sincronización proporcionada para sincronizar los relojes de los nodos, o conectados a éstos.
<b>Red jerárquica</b>	Red sincronizada en la que se asigna a cada reloj un nivel particular que determina el grado de control que ejerce sobre los otros relojes.
<b>Red sincronizada</b>	Red en la cual se ajustan los instantes significativos correspondientes de las señales seleccionadas para que sean síncronas.
<b>Reloj</b>	Equipo que proporciona una señal de temporización.
<b>Reloj de referencia</b>	Reloj de estabilidad y exactitud muy grandes que puede ser completamente autónomo y cuya frecuencia sirve de base de comparación para la frecuencia de otros relojes.
<b>Reloj maestro</b>	Reloj que se utiliza para controlar la frecuencia de otros relojes.
<b>Señal de temporización</b>	Señal cíclica utilizada para controlar la temporización de las operaciones.

**Síncrono** Característica esencial de una escala de tiempo o de una señal donde sus instantes significativos correspondientes se presentan con exactamente la misma cadencia media.

***Wander***  
**(fluctuación**  
**lenta de fase)** Variaciones de larga duración y no acumulativas de los instantes significativos de una señal digital con relación a las posiciones que teóricamente debieran ocupar en el tiempo.



## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ADM</b>	Multiplexor de extracción o inserción de Línea
<b>AMI</b>	Inversión de marca alternativa
<b>dB<sub>m</sub></b>	Desibel sobre miliwat
<b>DLU</b>	Unidad Digital Línea Local
<b>E1</b>	Nivel 1 de señal digital a 2048 kbit/s
<b>EDS</b>	Equipo distribuidor de sincronismo
<b>F</b>	Frecuencia
<b>f<sub>o</sub></b>	Frecuencia de salida
<b>f<sub>in</sub></b>	Frecuencia de entrada
<b>FR N</b>	Número de la trama dentro de la multitrama
<b>Gbit/s</b>	Giga bits por segundo
<b>HDB<sub>3</sub></b>	Bipolar de alta densidad de orden 3
<b>Hz</b>	Hertz
<b>Kt</b>	Densidad de potencia térmica del ruido
<b>LTG</b>	Grupo de Línea Troncal
<b>LTM</b>	Multiplexor Terminal de Línea
<b>Mb/s</b>	Mega bit cada segundo
<b>MHZ</b>	Mega Hertz
<b>Ms</b>	Mili segundos
<b>MTIE</b>	Maximo error en el intervalo de tiempo
<b>NE</b>	Elemento de red
<b>NF</b>	la cifra del ruido en (dB)
<b>N<sub>in</sub></b>	Potencia de ruido a la entrada
<b>NNI</b>	Interfaces de Nodo de red
<b>NRZ</b>	Sin retorno a cero
<b>PBX</b>	Central privada de Conmutación

<b>PCM</b>	Modulación por impulsos codificados
<b>PDH</b>	Jerarquía digital plesíocrona
<b>PLL</b>	Bucle de enganche de fase
<b>PPM/día</b>	Parte por millon por día
<b>PRI</b>	Interfaz de velocidad primaria
<b>RSU</b>	Unidad Remota de Conmutación
<b>RTPC</b>	Red telefónica pública conmutada
<b>RZ</b>	Retorno a cero
<b>S</b>	Segundo
<b>SDH</b>	Jerarquía digital Síncrono
<b>SDXC</b>	Sistema sincrono de interconexión digital
<b>SSMB</b>	Octeto de estado de mensaje de sincronización
<b>STM-N</b>	Módulo de transporte síncrono de nivel N
<b>T</b>	Período
<b>T<sub>b</sub></b>	Duración del bit por segundo
<b>TIE</b>	Error en el intervalo de tiempo
<b>T<sub>j</sub></b>	Amplitud del <i>Jitter</i> Pico-a- Pico
<b>TS</b>	Intervalo de Tiempo
<b>TS N</b>	Número de intervalo de tiempo dentro de la trama
<b>UI</b>	Unidad de intervalo
<b>UIT</b>	Unión Internacional de telecomunicaciones
<b>UNI</b>	Interfaces Usuario Red
<b>VCO</b>	Oscilador controlado por tensión
<b>W</b>	Vatios (Watts)
<b>Δf</b>	Variación de frecuencia
<b>Ns</b>	Nano segundo
<b>μs</b>	Micro segundos

## RESUMEN

Hoy en día, con la inserción de nuevas tecnologías de transporte, conmutación y servicios, se hace necesario que las redes de telecomunicaciones se encuentren debidamente sincronizadas y lo suficientemente estables conforme a las diferentes necesidades y servicios que la red provee. Ante los cambios tecnológicos, se realiza una planificación de la forma en que se optimiza la sincronía en una red de telecomunicaciones.

El trabajo de realizar el plan de optimización de una red de sincronismo, inicia describiendo una red de telecomunicaciones, indicando el tipo de tecnología tanto de conmutación como de transporte. Se da a conocer los conceptos y definiciones elementales que se utilizan en esta rama de las telecomunicaciones. Se analiza y describe la ley actual de telecomunicaciones de Guatemala en donde se concluye que no regula nada en lo referente al sincronismo. Se analiza y describen las normas Internacionales UIT y se adoptan para el caso de este trabajo. Se realiza el diagnóstico y evaluación de los elementos de red de sincronismo de los nodos ubicados en las ciudades de Quetzaltenango, Retalhuleu, Escuintla y Chimaltenango. Se realiza la implementación y la documentación del plan de optimización de la sincronización de la red de telecomunicaciones para estos nodos ubicados en las ciudades que se describieron anteriormente.

El estudio para la realización de este proyecto se enmarca dentro del programa de EPS, de la Facultad de Ingeniería, para la aplicación de los conocimientos técnicos y de ingeniería que se requieren.



## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Optimizar los requerimientos técnicos para el ordenamiento normativo de la temporización de todos los elementos existentes y futuros en la red de telecomunicaciones de acuerdo a la tecnología y topología existente en la red, para asegurar su funcionamiento síncrono.

### **ESPECÍFICOS**

1. Describir el funcionamiento de los elementos de red de telecomunicaciones que utilizan sincronismo.
2. Desarrollar los conceptos elementales para la comprensión del sincronismo.
3. Analizar y describir las características principales para el estudio de sincronismo normada por la ley de telecomunicaciones, administrada por la Superintendencia de Telecomunicaciones.

4. Evaluar los elementos de Red.
5. Evaluar el funcionamiento de los módulos de temporización.
6. Estructurar las características técnicas, lineamientos y procedimientos para el desarrollo de la optimización y ordenamiento de la red de sincronismo regida por las normas y estándares internacionales UIT.
7. Documentar las características técnicas, lineamientos y procedimientos para el desarrollo de la optimización de la sincronía.
8. Elaboración de documento conteniendo las características, lineamientos y procedimientos para la ejecución de la optimización del sincronismo en la red de Telecomunicaciones.
9. Realización de optimización de los elementos de red en donde se requiere la optimización.

## INTRODUCCIÓN

Este proyecto se realiza motivado por los cambios tecnológicos que se están dando día a día, la necesidad de presentar un servicio de calidad en las redes de telecomunicaciones, lo cual de no realizarse repercute en las pérdidas de tráfico telefónico y pérdidas de ingreso económicos a la empresa. Para lograrlo se hace necesario elaborar un plan de optimización en la sincronía en una red de Telecomunicaciones.

Al inicio del trabajo se describe en una forma general información de la empresa, las áreas que la integran, las tecnologías que se usan tanto de conmutación como los elementos de red que conforman la red transporte en donde se desarrolló el presente trabajo.

Debido a que el tema de la sincronía no es conocido por una gran mayoría de estudiantes, técnicos y profesionales de la ingeniería eléctrica así como el público en general, se desarrollan los conceptos y definiciones elementales para su entendimiento, la frecuencia, la fase, transientes de fase, el funcionamiento de los lazos de fijación de fase, la fluctuación de fase conocido como *Jitter*, la fluctuación lenta de fase conocido como *wander*, las diferentes fuentes de temporización que se utilizan en una red de sincronismo. La manera de operación de los diferentes relojes, los tipos de osciladores.

Se hace un análisis de la actual ley de telecomunicaciones de Guatemala, para conocer la legislación que existe con respecto a la sincronización, se analiza las normas internacionales de la Unión Internacional

de Telecomunicaciones y se adoptan las recomendaciones de este organismo para el caso de sincronismo.

Se realiza el diagnóstico y la evaluación de los elementos que componen los nodos de la ciudad de Quetzaltenango, Retalhuleu, Escuintla y Chimaltenango, utilizando para ello los equipos que son capaces de medir señales de sincronía como el error en el intervalo de tiempo, el máximo error en el intervalo de tiempo, y se dan los resultados en forma grafica.

Se realiza la documentación y ejecución del plan de optimización de la sincronización en esta red de telecomunicaciones, definiendo las fases de ingeniería de red, describiendo el diseño de red, validación así como la implementación, mantenimiento, como se distribuyen las fuentes de referencia en la redes de sincronismo y para poder conocer el costo de la optimización se hace un desarrollo matemático elemental.

# **1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA**

## **1.1. Antecedentes de la empresa**

### **1.1.1. Reseña histórica**

En la década de los 90 se inicia el traslado de activos que eran manejados por el sector público al sector privado, la corporación América móvil de capital mexicano compra al gobierno de Guatemala la estatal Guatel, iniciando sus operaciones en el año 1997 con el nombre de Telecomunicaciones de Guatemala.

### **1.1.2. Misión**

Proporcionar a nuestros clientes los mejores productos y servicios de Telecomunicaciones con rapidez y eficiencia.

### **1.1.3. Visión**

Ser la empresa líder en Telecomunicaciones a nivel Guatemalteco.

### **1.1.4 Áreas que la integran**

La corporación América Móvil en Guatemala a través de la empresa Telgua, está constituida a nivel nacional por la Dirección General, a la que le siguen direcciones de Ingeniería, Sistemas, Jurídica, Operaciones, Financiera, Comercial y Recursos Humanos. De cada una de estas direcciones se subdividen las diferentes gerencias y subgerencias que sirven de apoyo a cada dirección.

Como servicios que presta se pueden mencionar las áreas de Telefonía fija, Telefonía Celular, Acceso a Internet, Datos, Televisión por cable, Centros de Atención Telefónica y servicios de larga distancia.

## **1.2. Tecnologías en las redes de telecomunicaciones**

### **1.2.1. Tecnología de conmutación**

#### **1.2.1.1. Central de conmutación**

La central de conmutación es la encargada de atender las solicitudes de conexión provenientes de los abonados de otras centrales o redes telefónicas a través del análisis de la numeración marcada por el llamante, así poder encaminar la llamada a su destino, el cual puede terminar en la central de origen o ser enrutado hacia otras centrales u otras redes.

La central de conmutación y sus unidades remotas están integradas por sub-módulos, los cuales son: sub-módulo de acceso, señalización, sincronización, conmutación, control y gestión.

Sub-módulo de acceso Unidad Remota de Conmutación (RSU); permite el acceso a los abonados remotos y PBX, con señalización PRI.

Sub-módulo de acceso Unidad Digital Línea Remoto (DLU); permite el acceso a abonados remotos.

Sub-módulo de acceso Unidad Digital Línea Local (DLU); permite el acceso a abonados locales de la red telefónica básica.

Sub-módulo de acceso Grupo de Líneas Troncales (LTG); permite el acceso a PBX con señalización PRI y la interconexión SS7 con otras compañías que prestan el servicio telefónico.

Estos tipos de accesos se clasifican en:

Accesos de abonados (residenciales, comerciales simples, enlaces con nodos comerciales, enlaces E1).

Acceso Troncal Interconexión con otras compañías.

Actualmente se posee una arquitectura de zonas autónomas de conmutación para las tecnologías que prestan los servicios de voz. Los equipos de conmutación son de tecnologías que pertenecen a diferentes proveedores tales como Ericsson, Siemens, Italtel.

Las centrales internacionales, compuestas por un servidor telefónico perteneciente a la clase 4 que básicamente consiste en una central de tránsito ya que no tiene abonados locales, de marca Ericsson. Las centrales locales son de diferentes marcas; Ericsson, Siemens en el área metropolitana, En el área departamental la componen en su mayoría centrales de la marca Italtel.

### **1.2.2. Tecnología de transporte**

Los diferentes elementos que componen la red de transporte están definidos en estándares de UIT y proporcionan las funciones de conmutación y multiplexaje.

El Multiplexor Terminal de Línea (LTM), multiplexores de inserción-extracción (ADM), Sistema síncrono de interconexión digital (SDXC), Regeneradores,

#### **1.2.2.1. Multiplexor terminal de línea**

Los equipos LTM puede aceptar un número de señales tributarias y multiplexarlas a la portadora óptica apropiada a la velocidad SDH; STM-1, STM-4 ó STM-16. Las tributarias de entradas pueden existir en señales de PDH tales como 2, 34 y 140 Mb/s o en señales de menor rango SDH. Estos elementos de la red forman la entrada principal desde la red PDH a SDH.

### **1.2.2.2. Multiplexores de inserción-extracción**

Este tipo de equipo también se denomina *Add-Drop Multiplexer* ADM, este particular multiplexor terminal está diseñado para operar mediante modo adaptado. Dentro del ADM es posible añadir canales o extraerlos a través de la señal. Los ADM están generalmente disponibles en rangos de interfaz de STM-1 y STM-4 y puede añadir/extraer diferentes señales tributarias ejemplo: 2, 34 ó 140Mb/s.

### **1.2.2.3. DXC síncrono**

Sistema Síncrono de Interconexión digital estos dispositivos forman la piedra angular de la jerarquía digital sincronía. Pueden funcionar como conmutadores semi-permanentes para canales de transmisión y pueden conmutar a cualquier nivel desde los 64 Kb/s hasta STM-1. Por lo general estos dispositivos tienen interfaces a STM-1 o STM-4. El DXC puede configurarse rápidamente. Bajo control de software. Para poder así dar la facilidad de líneas digitales rentadas y otros servicios de ancho de banda variable.

#### **1.2.2.4. Regenerador**

Estos dispositivos sirven para la transmisión SDH de más de 50 Km, ya que a esta distancia ya son necesarios los regeneradores, con espaciado dependiente de la tecnología de transmisión (longitud de onda en operación, recepción, etc). Estos no son simples regeneradores de señal, ya que cuentan con informe de alarmas y monitoreo de desempeño.

Ya que todos los elementos de la red cuentan con el informe de alarmas, una falla puede aislarse rápidamente a la sección de transmisión individual que tiene el problema.



## 2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES ELEMENTALES

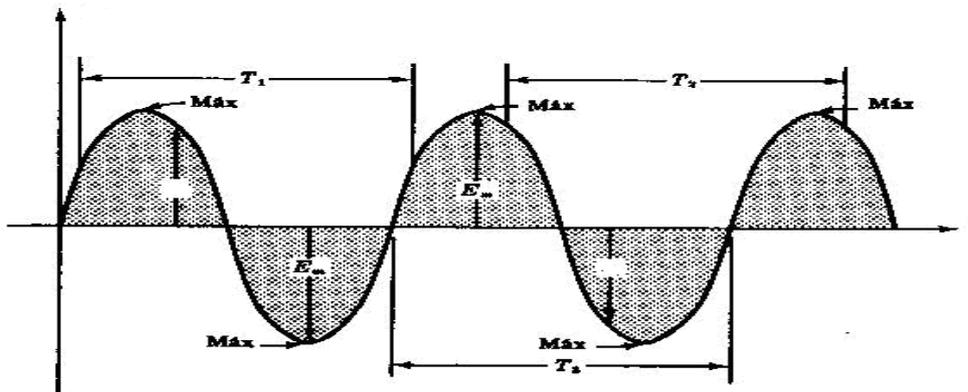
### 2.1. Conceptos básicos

#### 2.1.1. Forma de onda

La forma de onda senoidal o cuadrada con sus notaciones adicionales se utilizará como modelo para definir algunos términos básicos.

Forma de Onda: es la trayectoria trazada por una cantidad.

Figura 1. Forma de onda



Fuente: Robert L. Boylestad. Análisis Introductorio de Circuitos. Trillas.1987. Págs. 392

Valor instantáneo: es la magnitud de una forma de onda en cualquier instante de tiempo, se indica con letra minúscula.

Amplitud o valor de pico: es el valor máximo de una forma de onda, se indica con letra mayúscula.

Forma de onda periódica: es una forma de onda que se repite continuamente, después del mismo intervalo de tiempo.

Periodo (T): es el intervalo de tiempo entre repeticiones sucesivas de una forma de onda periódica.

Ciclo: es la porción de una forma de onda contenida en un período.

## **2.2. Frecuencia (f):**

Es el número de eventos que se presentan en la unidad de tiempo.

$$frecuencia = \frac{\text{numero de eventos}}{\text{una unidad de tiempo}}$$

Es el número de ciclos que se producen en un segundo, durante muchos años la unidad para la frecuencia eran los ciclos por segundo, en la actualidad se ha hecho hincapié en el empleo del hertz, de modo que;

$$1 \text{ herz (Hz)} = 1 \text{ ciclo por segundo (cps)}$$

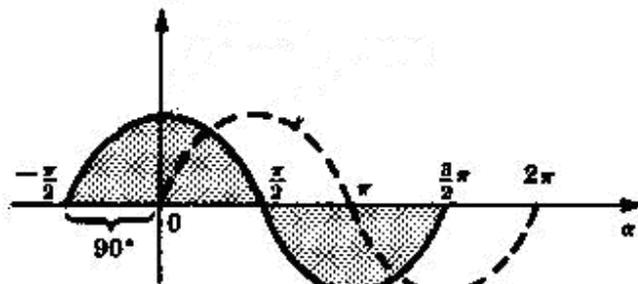
Ya que la frecuencia es inversamente proporcional al período, se pueden relacionar los dos mediante la siguiente ecuación:

$$f = 1/T \quad \text{frecuencia} = 1/\text{tiempo}$$

### 2.3. Fase

Fase es una medida de la diferencia de tiempo entre dos ondas senoidales. Aunque la fase es una diferencia verdadera de tiempo, siempre se mide en términos de ángulo, en grados o radianes. Eso es una normalización del tiempo que requiere un ciclo de la onda sin considerar su verdadero **período** de tiempo.

Figura 2. Relación de fase



Fuente: Robert L. Boylestad. Análisis Introductorio de Circuitos. Trillas.1987. Págs. 401

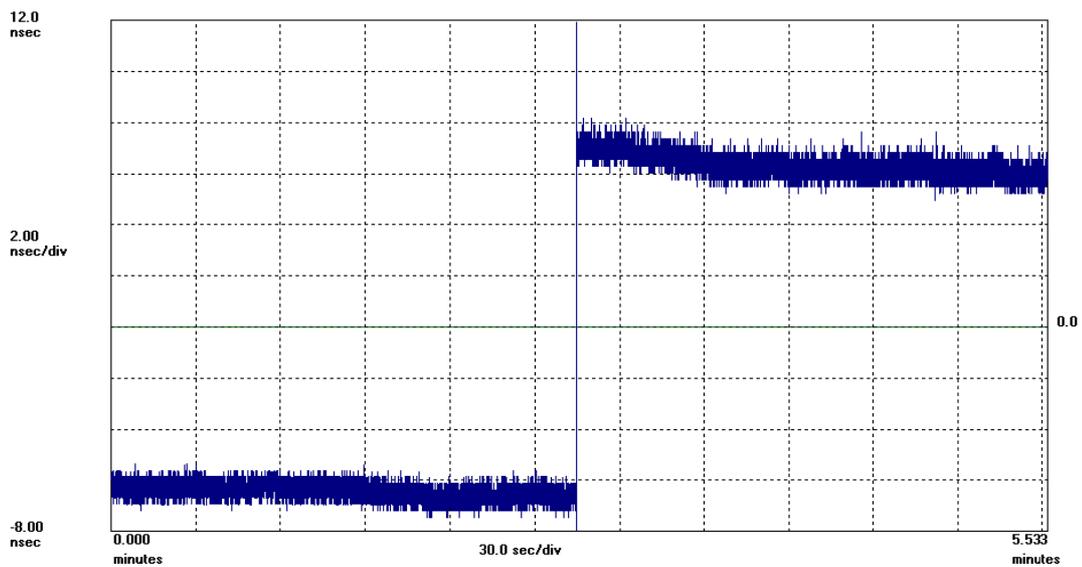
La diferencia en fase entre dos formas de onda se llama a veces el desplazamiento de fase. Un desplazamiento de fase de 360 grados es un retraso de un ciclo o de un periodo de la onda, lo que realmente no es ningún desplazamiento. Un desplazamiento de 90 grados es un desplazamiento de 1/4 del periodo de la onda. El desplazamiento de fase puede ser considerado positivo o negativo, eso quiere decir que una forma de onda puede ser retrasada relativa a otra o una forma de onda puede ser avanzada relativa a

otra. Esos fenómenos se llaman atraso de fase y avance de fase respectivamente.

## 2.4. Transiente de fase

Se le conoce con este nombre a los cambios grandes y repentinos en fase en tiempos cortos respecto a variaciones típicas de fase.

**Figura 3. Transiente de fase**



**Fuente: SYMMETRICOM, SYNC Professional Development Class, Págs.27**

Los transientes son causados generalmente por reareglos en el reloj o por el ajuste de los punteros en las redes SDH.

Los transientes de fase causan errores de datos, alarma mayores en el equipamiento y pueden poner el reloj en el modo de carrera libre (*holdover*).

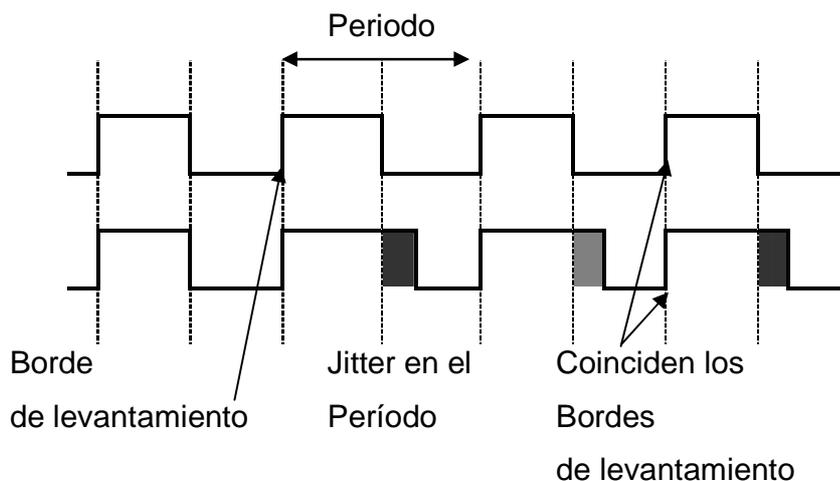
## 2.5. Sincronización

Es la acción y efecto de mantener en coincidencia la frecuencia y la fase de ondas o dos fenómenos periódicos. Aplicando a las telecomunicaciones es el procedimiento destinado a que los aparatos emisores y receptores de un sistema de comunicación funcionen continuamente a la misma frecuencia.

Para un circuito sensible en el borde de levantamiento, los bordes de levantamiento deben coincidir en el tiempo sincronización, pero las variaciones en el período no afectan necesariamente el proceso de la sincronización.

El *Jitter* dentro del período no afecta el borde del levantamiento.

**Figura 4. *Jitter* dentro del periodo sincronización**



Fuente: SYMMETRICOM, SYNC Professional Development Class, Págs.21

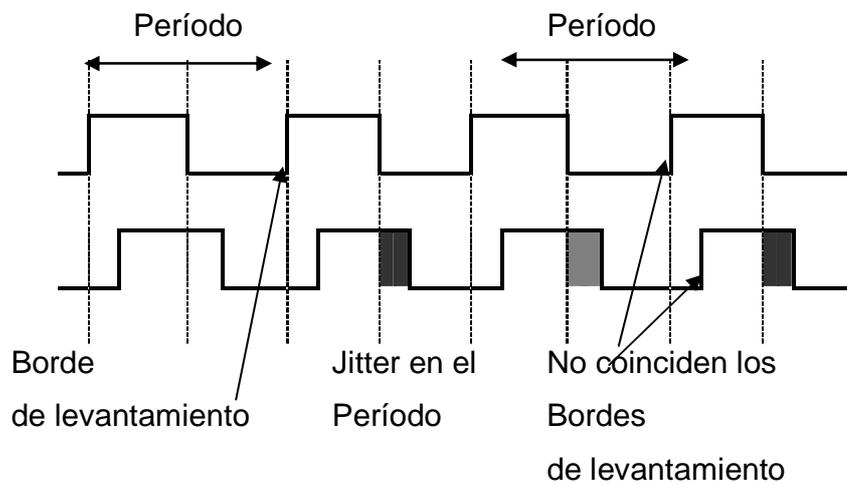
## 2.6. Synchronization o sintonización

Para la *syntonization*, los períodos deben ser estables, y las variaciones en el período afectan el proceso del *syntonization*.

Las especificaciones para los bordes de levantamiento coincidentes no están a menudo absolutamente como terminantes.

El *Jitter* dentro del período afecta el proceso de sintonización

**Figura 5. *Jitter* dentro del período afecta la sintonización**



Fuente: SYMMETRICOM, SYNC Professional Development Class, Págs.21

## **2.7. Señal analógica y digital**

**Señal**, magnitud de naturaleza física empleada en telecomunicaciones para transmitir una información.

### **2.7.1. Señal analógica**

**Señal analógica**; magnitud física variable en el tiempo de forma continua, que informa de la evolución de un proceso en cada instante.

Generalmente se maneja como cantidades. Esta se mide, monitorea, registra, calcula aritméticamente. Cuando se manejan diversas cantidades es importante que se pueda representar sus valores con eficiencia y exactitud. El valor numérico de las cantidades analógicas se puede representar de la siguiente forma:

#### **2.7.1.1. Representación analógica**

En la representación analógica, una cantidad se denota por medio de otra que es proporcional a la primera. Un ejemplo de esto es la voz humana que pasa por un dispositivo como lo es un micrófono de un teléfono. En este dispositivo se genera un voltaje de salida en proporción de las ondas sonoras

que emite la cavidad vocal y capta el micrófono. Las variaciones en el voltaje de salida siguen las variaciones del voltaje de entrada.

Una de las características importantes de la señal analógica es que puede variar gradualmente sobre un intervalo continuo de valores.

### **2.7.2. Señal digital**

**Señal digital**; la que sólo puede tomar determinados valores o símbolos y que expresa la evolución de un proceso en sucesivos intervalos de tiempo.

Generalmente se maneja como cantidades. Esta se mide, monitorea, registra, calcula aritméticamente. Cuando se manejan diversas cantidades es importante que se pueda representar sus valores con eficiencia y exactitud. El valor numérico de las cantidades digitales se puede representar de la siguiente forma:

#### **2.7.2.1. Representación digital**

En la representación digital las cantidades no se denotan por valores proporcionales, si no por símbolos denominados **dígitos**.

### **2.7.2.2. Señal binaria**

El sistema binario posee dos números o valores de información: “cero” y “uno”. En términos de electricidad se le considera como la presencia o ausencia de corriente, como niveles de voltaje cero o 5 voltios.

### **2.7.2.3. Bit**

Para designar la cantidad básica de información binaria se usa comúnmente la palabra “bit” (contracción de la palabra inglesa binary-digit).

En términos de transmisión es la mínima cantidad o porción de información que se puede transmitir a través de un medio (par de cobre, coaxial, etc.).

### 2.7.3. Códigos

La cantidad de información que expresa un único bit es muy limitada, sin embargo se puede utilizar varios bits para representar información más compleja. En este caso formamos códigos. Los códigos de dos bits pueden expresar cuatro casos de información diferentes (cuatro mensajes distintos), los códigos de tres bits proporcionan ocho posibilidades, podemos generalizar, los códigos de  $n$  bits poseen  **$2^n$  palabras**, por lo que pueden expresarse  **$2^n$**  mensajes distintos.

Cuando se elige la transmisión de información se debe disponer de algún parámetro para diferenciar palabras de código consecutivas y bits consecutivos en cada palabra de código. El único parámetro que puede ser útil para esta diferenciación es el **tiempo**.

En todos los sistemas prácticos de transmisión de este intervalo es igual a la inversa de la velocidad de transmisión:

$$T_b = 1 / R$$

Donde:

$T_b$  = es la duración del bit (segundos)

$R$  = es la velocidad de transmisión de los bit (Hz)

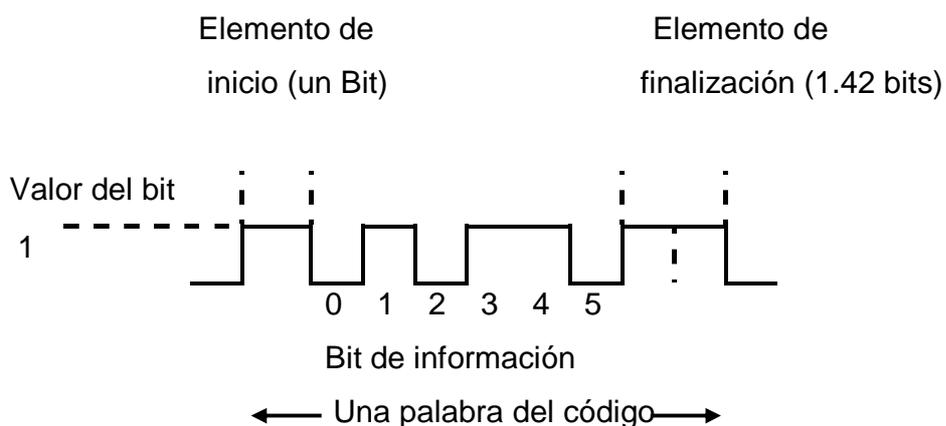
Para funcionar conforme a esta asignación de tiempo, se usan señales especiales de sincronismo en el transmisor y del receptor, de frecuencias nominal igual a la velocidad de transmisión. Se define el Intervalo de bit como la duración de un período de la señal de sincronismo, llamada “SEÑAL DE RELOJ”.

Las dos técnicas que se utilizan para transmitir información en serie:

### 2.7.3.1. Transmisión asincrónica.

Esta técnica asegurar que coincidan los relojes del transmisor y el receptor; sin embargo, se necesitan circuitos generadores de reloj estables y razonablemente exactos.

**Figura 6. Típico formato asincrónico de datos**



Fuente: Curso Digicom. Teoría y prácticas modernas de las comunicaciones digitales. DEGEM .1982. Págs. 16.

### **2.7.3.2. Transmisión sincrónica.**

Esta técnica requiere que el reloj del receptor esté sincronizado en forma precisa con el reloj del transmisor. Esto se puede lograr si se transmite el reloj junto con la señal de información, usando otro par de conductores o usando en el receptor circuitos especiales de regeneración del reloj. Estos circuitos extraen la información de sincronismo de la señal de información recibida y la usan para generar una réplica exacta del reloj del transmisor.

En la técnica de transmisión de información en serie sincrónica, se sincronizan bloques enteros de información mediante códigos únicos que notifican al receptor que ha comenzado la transmisión de información. El receptor cuenta el número de bits que llegan y produce palabras de código de acuerdo a las características del código. Como se explicó anteriormente, el receptor debe poseer una réplica exacta de la señal de reloj del transmisor.

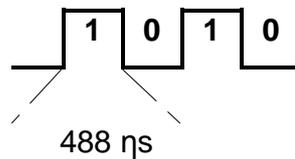
La técnica sincrónica es sumamente adecuada para la comunicación de alta velocidad. Es eficaz 100%, no necesita bits de ayuda y es relativamente insensible a la distorsión de la señal recibida, pero los equipos de transmisión son más complejos.

#### 2.7.4. Bit, *byte* y trama de sincronismo

Anteriormente se explicó que un bit, en términos de transmisión es la mínima cantidad o porción de información que se puede transmitir en un medio (par de cobre, coaxial, etc).

El período de tiempo de un bit es el inverso de su frecuencia o de la velocidad de transmisión, para los sistemas como el PCM de 2048 Kb/s es de 488 ns.

**Figura 7. Período de tiempo de un bit**

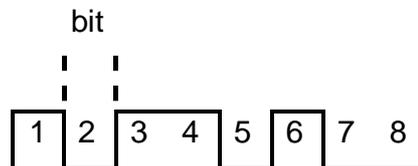


Fuente: Inttelgua, Técnicas PCM Primer Orden, Editorial Inttelgua, Guatemala, Págs. 28.

### 2.7.4.1. Octeto (*Byte*)

Término especial que se usa para una palabra de ocho bit, Un *byte* siempre consta de ocho bits, que es el tamaño de la palabra más común de la microcomputadoras.

**Figura 8. Palabra de ocho bit un *byte***

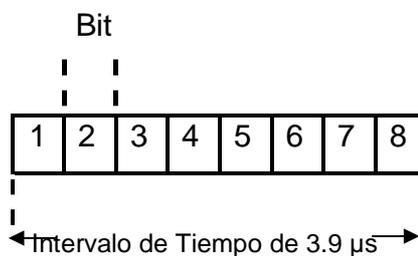


Fuente: Inttelgua, Técnicas PCM Primer Orden, Editorial Inttelgua, Guatemala, Págs. 28.

### 2.7.4.2. Intervalo de tiempo o *time slot* (TS)

Es un segmento de tiempo asignado por el sistema a un canal. En telefonía el TS es de ocho bits consecutivos, por lo que su tiempo de duración es de  $(488 \text{ ns}) \cdot (8) = 3.9 \mu\text{s}$ .

**Figura 9. Intervalo de Tiempo de un *Byte***



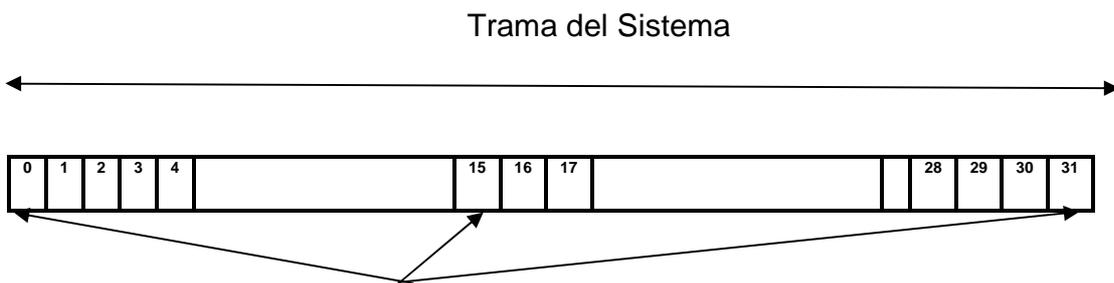
Fuente: Inttelgua, Técnicas PCM Primer Orden, Editorial Inttelgua, Guatemala, Págs. 28.

### 2.7.5. Trama

Se puede definir como un conjunto de 32 intervalos de tiempo TS consecutivos ó como el espacio existente entre muestras y muestra de un mismo canal.  $(488 \text{ ns}) \cdot (8) \cdot (32) = 125 \text{ } \mu\text{s}$ .

El periodo de tiempo de una trama es de 125  $\mu\text{s}$ .

**Figura 10. Trama del sistema según norma europea**



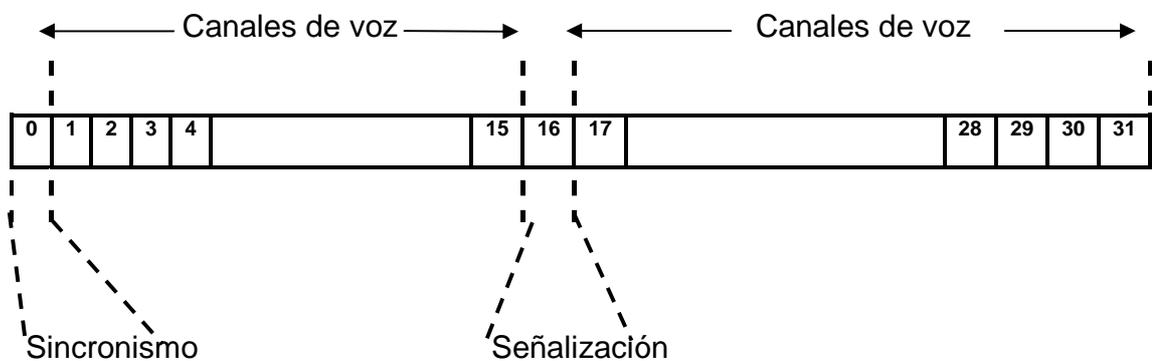
Intervalos de tiempo (*Time Slots*)

Fuente: Intelgua, Técnicas PCM Primer Orden, Editorial Intelgua, Guatemala, Págs. 29.

### 2.7.5.1. Canal de voz

Los 30 canales de voz se localizan en los *time slots* numerados del 1 al 15 y del 17 al 31. Cada uno se compone de una palabra de 8 bits que resulta de muestrear, cuantificar y codificar la señal.

**Figura 11. Localización de los canales de voz en la trama**

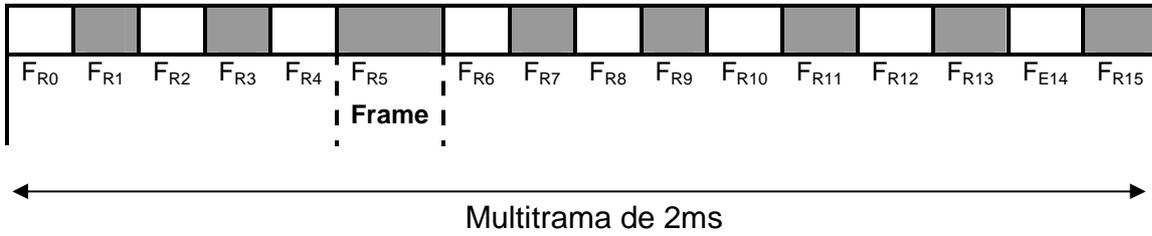


Fuente: Inttelgua, Técnicas PCM Primer Orden, Editorial Inttelgua, Guatemala, Págs. 30.

### 2.7.6. Multitrama

Una multitrama es el conjunto de 16 tramas (*Frames*), numeradas del 0 al 15 y es el ciclo completo en donde se insertó toda la información (alarmas, señalización, voz, palabras de sincronía de trama, etc.).  
 $(488 \eta s^*(8)*(32)*16 = 2 \text{ ms.}$

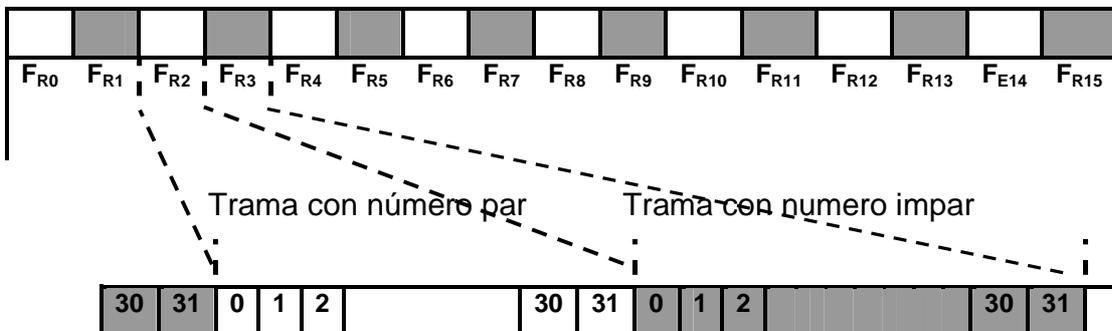
**Figura 12. Multitrama 2 ms**



Fuente: Intelgua, Técnicas PCM Primer Orden, Editorial Intelgua, Guatemala, Págs. 31.

**Figura 13. Clasificación de las tramas**

Clasificación de la Trama dentro de la multitrama.

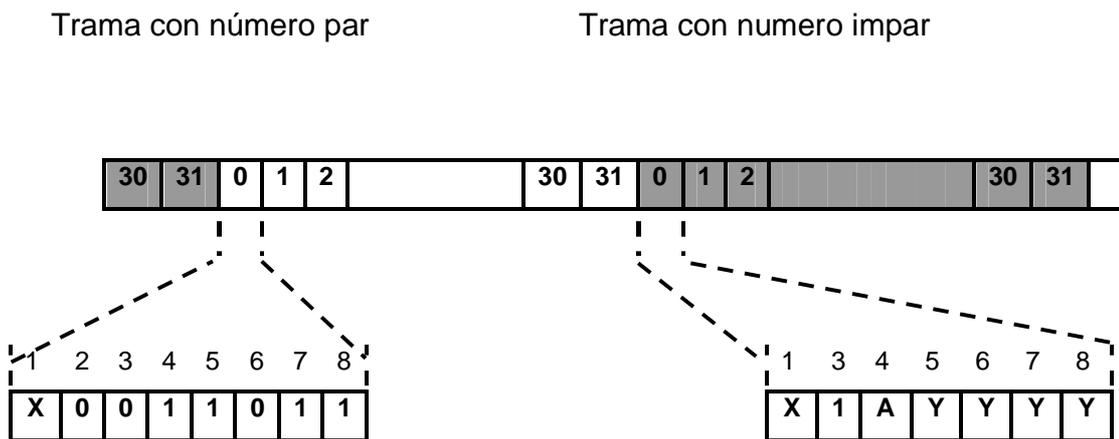


Fuente: Intelgua, Técnicas PCM Primer Orden, Editorial Intelgua, Guatemala, Págs. 31.

### 2.7.7. Palabra de sincronía

En las tramas pares en el TS0 encontraremos la palabra de sincronía de una trama y en las tramas impares en el TS0 encontraremos la palabra de alarmas conocidas como palabras de no sincronía de una trama.

**Figura 14. Palabras de sincronía y no sincronía**



Palabra de sincronía de trama  
 X = es un bit de uso internacional,  
 de manera general es 1  
 Bits de 2 al 8, son el patrón de sincronía

Palabra de no sincronía  
 Y = Bit de servicio  
 amarrado 1  
 A = Indicador de alarma  
 remota de perdida de  
 sincronía de trama.

Fuente: Inttelgua, Técnicas PCM Primer Orden, Editorial Inttelgua, Guatemala, Págs. 32.

### **2.7.8. Sincronía de trama**

Es conocida como alineamiento de trama, tiene el siguiente patrón de transmisión en todas las tramas pares:

X 0 0 1 1 0 1 1

X puede tener el valor de 0 ó 1 lo que normalmente se utiliza es 1 sin que se afecte al sistema, actualmente es un indicativo convencional para cruce de frontera.

### **2.7.9. Sincronía de multitrama**

Conocida como palabra de alineamiento de multitrama, se debe de transmitir de la siguiente forma:

0 0 0 0 Y A Y Y

En donde 0 0 0 0 es la palabra de sincronía de multitrama.

A = Bit de alarma de multitrama.

Si A = 0 el sistema tiene estado normal.

Si A = 1 existe una falla remota de multitrama.

Y = Bits de servicio.

Esta palabra se transmite en el intervalo de tiempo 16 de la trama 0.

### 2.7.10. Señalización

En los sistemas además de transmitir voz, incluyen más información que se conoce como señalización que sirve para controlar y supervisar los canales telefónicos.

La señalización la encontramos en el intervalo de tiempo  $16$  ( $TS_{16}$ ) de cada una de las tramas (1 a 15). Con la excepción en la trama 0 que se utiliza para la palabra de sincronía de multitrama (MFAS).

Tabla de estado de señalización, la señalización se transmite en 4 bits, los cuales indican cómo se encuentra el canal como se muestra en la tabla siguiente, en donde los bits c y d están amarrados a 0 y 1 respectivamente:

**Tabla I. Estado de señalización**

	<b>Estado</b>	<b>a<sub>f</sub></b>	<b>b<sub>f</sub></b>	<b>a<sub>b</sub></b>	<b>b<sub>b</sub></b>
	Libre	1	0	1	0
	Toma	0	0	1	0
	Reconocimiento de toma	0	0	1	1
	Contestación	0	0	0	1
	Liberación hacia atrás	0	0	1	1
	Liberación hacia delante	1	0	0 ó 1	1
	Liberación de guardia	1	0	1	0
	Bloqueo o Roto	1	0	1	1
Fijo	Retención	0	0	1	0

## 2.8. Formas de onda de la información

El objetivo fundamental de la codificación de la información es de tener control sobre ella, la manera de hacer esto es por medio de símbolos y reglas que expresen bien dicha información. Existen códigos que sirven para dar un mejor tratamiento y seguridad a la información.

La elección de un código particular debe permitir lograr que los sistemas sean económicos, además debe de considerar las factibilidades técnica, la confiabilidad de las comunicaciones y la complejidad de los equipos. Se debe de dar prioridad para escoger códigos a los factores siguientes:

La cantidad de corriente continua. Los enlaces de comunicación en su mayoría no permiten el paso de corriente continua, de donde es esencial que el código posea una componente de corriente continua pequeña o nula para que la comunicación sea confiable.

La facilidad para extraer la información de sincronismo. Los sistemas prácticos de transmisión síncrona en su mayoría, los circuitos especiales que extraen la información del sincronismo están ubicados en el receptor, y ésta la extrae de la corriente de información recibida y generan la señal de reloj del transmisor para los circuitos del receptor. *En estos sistemas es importantísimo que el código elegido sea capaz de proporcionar la información de sincronismo necesaria, independiente de las señales de información transmitidas.*

La complejidad. En la mayoría de las aplicaciones, se podrían construir códigos muy buenos sino se tomara en consideración la complejidad de los equipos. La complejidad de los equipos se debe mantener al mínimo para disminuir los problemas de confiabilidad y la reducción de costos.

Conversores de código; son circuitos encargados de la transformación o traducción de un código a otro.

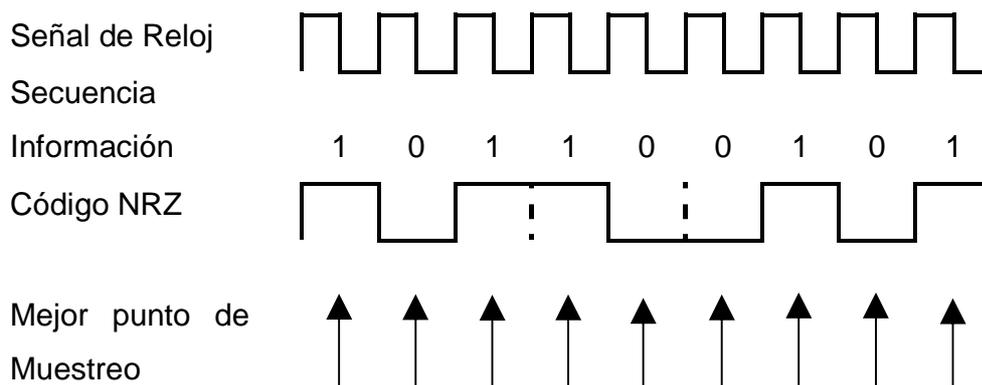
Existen fundamentalmente dos tipos de códigos que sirven para almacenar, recuperar y transmitir los datos siguiendo la idea de preservar la integridad y la seguridad de los datos. Los tipos de códigos son. Código interno; que se utilizan dentro de los dispositivos de almacenamiento y procesamiento. Código de Línea; estos se utilizan en las líneas de transmisión.

Los códigos que son utilizados en el procesamiento interno de señales de comunicaciones como el PCM y almacenamiento de información en memoria, destrucción de cadenas muy largas de ceros. Estos son unipolares y se les conoce con el nombre de códigos internos porque no pueden salir a la línea, esto obedece a que tienen un alto contenido de corriente continua y esta no puede pasar a través de los regeneradores.

### 2.8.1. Código sin retorno a cero (NRZ)

Es el código que aparece de una forma natural en los circuitos digitales sincrónicos por lo que se le considera el más básico. El intervalo portador de información en el código NRZ es el máximo posible, quiere decir que es un periodo de reloj.

**Figura 15. Forma de onda NRZ**



**Fuente:** Curso Digicom. Teoría y prácticas modernas de las comunicaciones digitales. DEGEM.1982. Págs. 18.

La señal pasa del uno al otro de los dos niveles solamente cuando el bit presente es distinto del anterior. Todos los cambios de nivel ocurren en instantes predeterminados. Generalmente en el flanco positivo de la onda de reloj. Esta característica es la que permite extraer la información del sincronismo de la onda NRZ. Sin embargo, cuando la información transmitida contiene trenes largos de bits iguales, la información de sincronismo es poco densa, y es muy difícil de regenerar la señal de reloj en el receptor.

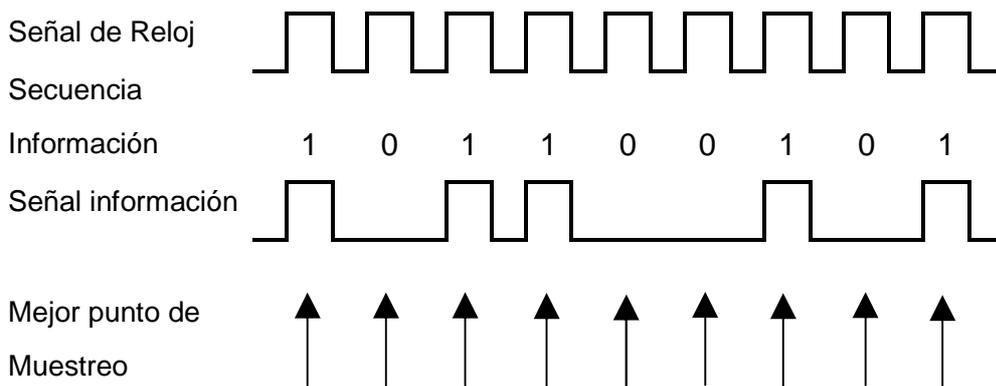
La componente de corriente continua de la onda NRZ medida en secuencias largas secuencias compuestas por aproximadamente la misma cantidad de unos y ceros es igual a la mitad del pico de amplitud de la onda de la señal. Esta componente de corriente continua será inaceptable cuando no sea posible transmitirla por los conductores. Con esta limitación el código NRZ se sigue utilizando por ser simple y confiable. Las transiciones más rápidas de la onda NRZ pueden tener la mitad de la frecuencia del reloj; esta transición ocurre cuando se transmite una secuencia como 01010101.

Tenemos el siguiente caso; se esta recibiendo una onda NRZ, y esta pasando por un sistema en operación, la señal llega con ruido y distorsión. El sistema de recepción debe de determinar qué bit se transmitió de la manera más confiable. Para poder realizar esto de una manera razonable sería que se utilizara el valor de la señal recibida en el punto en que sea menor la posibilidad de que esté perturbada por ruido o por distorsión; de manera intuitiva se selecciona el centro del intervalo del bit (el cual se indica con flechas en la figura 15.). Se implementa un circuito regenerador de los bits, para esta ilustración puede ser un flip-flop, en donde a su entrada del reloj colocamos la señal del reloj del transmisor invertida al reloj del receptor. El flip-flop acepta el nivel lógico que aparece en la entrada de información del receptor en el instante del flanco positivo de la señal presentada en la entrada del reloj. Refiriendose a la figura 15, este flanco se presenta en el centro del intervalo del bit.

### 2.8.2. Código con retorno a cero (RZ)

Este código es RZ es similar al NRZ con una variación que la información está contenida en la primera mitad del intervalo de bit, mientras que la segunda mitad siempre está en el nivel cero "0".

**Figura 16. Forma de onda RZ**



Fuente: Curso Digicom. Teoría y prácticas modernas de las comunicaciones digitales. DEGEM.1982. Págs. 19.

La forma de onda RZ se genera enviando a una compuerta la señal básica NRZ juntamente con el reloj del transmisor; el circuito codificador:

La **decodificación** de la seña RZ se hace con un circuito similar al que se utiliza para las señales NRZ, excepto que ahora el mejor punto para el muestreo es el centro de la primera mitad del intervalo, que es la parte portadora de la información. La forma más simple para poder muestrear en el punto correcto es generar un pulso negativo con duración de  $T_b/4$ , un cuarto del intervalo del bit, utilizando un multivibrador mono estable disparado por flanco positivo del reloj del receptor.

La corriente continua, componente de las señales RZ, promediada en una secuencia larga de bits generada en forma aleatoria, es de  $1/4$  de la amplitud de pico de la señal RZ. El número de transiciones es el doble de la que tenía en la onda NRZ equivalente, pero cuando aparece un tren largo de “ceros”, la señal RZ no tiene transiciones.

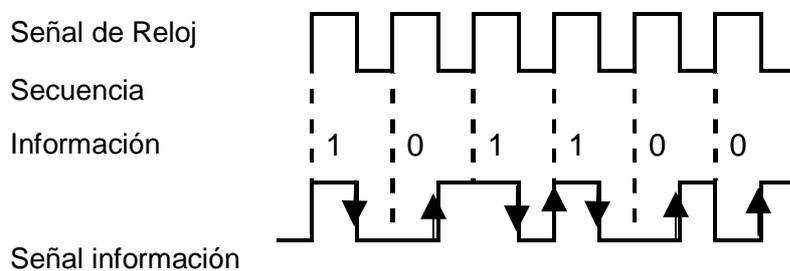
Notemos que los trenes de “unos” provocan la mayor cantidad posibles de transiciones, pues en este caso si se coloca una compuerta AND y se ingresan en una de las entradas de la onda NRZ y en la otra entrada permitirá el paso de la onda del reloj.

### **2.8.3. Codificación bifásica**

Los códigos NRZ y RZ no tienen la capacidad de transportar la información de sincronismo al receptor pues la onda que lleva trenes largos de “cero” no pose ninguna transición. Para poder evitar esta inconveniencia se utiliza otro tipo de código. Uno de los códigos sería usar el código Bifásico, método de codificación muy simple y eficaz.

Código bifásico conocido como Manchester II codifica la información en términos de transiciones de nivel ubicadas en el centro del intervalo de bit (a diferencia de los códigos NRZ y RZ que contienen la información en forma de niveles de la onda). Las transiciones que presenta están ubicadas en el centro de intervalo de bit.

**Figura 17. Forma de onda codificación bifásica**



**Fuente: Curso Digicom. Teoría y prácticas modernas de las comunicaciones digitales. DEGEM .1982. Págs. 20.**

Las reglas de codificación bifásica son:

Todo "1" se codifica como una transición del nivel bajo al nivel alto, en el centro del intervalo del bit.

Todo "0" se codifica como una transición del nivel alto al nivel bajo, en el centro del intervalo del bit.

Es posible que haya que agregar transiciones "ciegas" adicionales, al principio algunos intervalos de bit con el fin de establecer los niveles iniciales correctos para las transiciones portadoras de información.

La codificación y la decodificación se ejecutan fácilmente con ayuda de la compuerta OR-EXCLUSIVA.

a. Para codificar se aplica a la entrada de la compuerta la información en NRZ y la señal de reloj de transmisor; a la salida de compuerta aparecerá la señal codificada en bifásico.

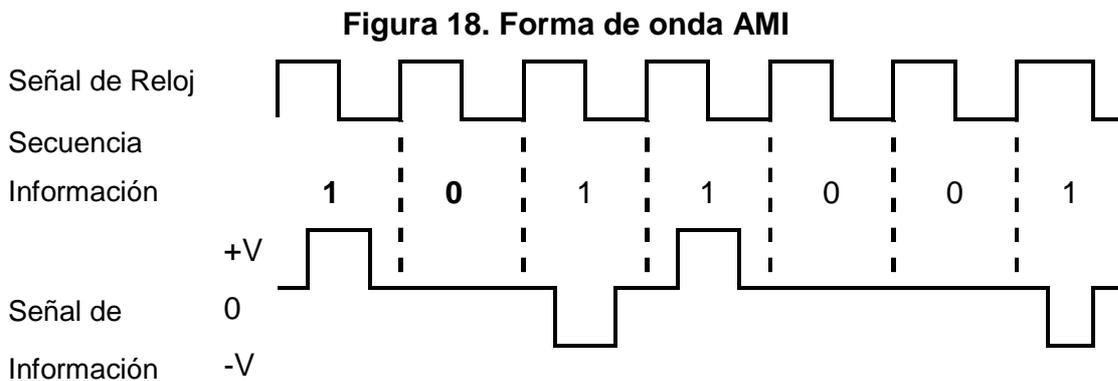
b. Para decodificar se aplican a las entradas de la compuerta la señal bifásica recibida y la señal de reloj del receptor; a la salida de la compuerta aparecerá la información original codificada en NRZ. Debe notarse que para decodificar correctamente las dos entradas deben de estar perfectamente alineadas (Sincronizadas).

La señal bifásica posee una excelente densidad de transiciones; cuando haya bits alternantes se tendrá una transición en cada intervalo de bit, mientras que para bit consecutivos idénticos habrá dos transiciones en cada intervalo de bit. Esto asegura que el receptor tenga suficiente información de sincronismo, independiente del contenido de la información transmitida.

#### 2.8.4. Código de marca alternativamente invertida (AMI)

Todos los códigos descritos poseen componente de corriente continua que podría presentar una desventaja al usar canales de telecomunicación normal.

Si se desea que la componente de corriente continua sea baja o nula, el código debe de ser bipolar, lo cual significa que debe utilizar niveles iguales, positivo y negativo. Buscamos un método adecuado para distribuir los bits en igual medida entre ambos niveles. El método más simple consiste en codificar “ceros” en el nivel cero y representar los “unos” con niveles positivos y negativos alternativamente. Como resultado se obtiene un código de tres niveles.



**Fuente:** Curso Digicom. Teoría y prácticas modernas de las comunicaciones digitales. DEGEM .1982. Págs. 21.

La decodificación de la onda AMI se ejecuta primeramente rectificando la onda, para obtener una onda RZ equivalente, y luego se utiliza el circuito decodificador de RZ.

El código AMI es una modificación del código RZ, *por lo que posee las mismas desventajas con respecto al contenido de la información del sincronismo y a la recuperación del reloj.*

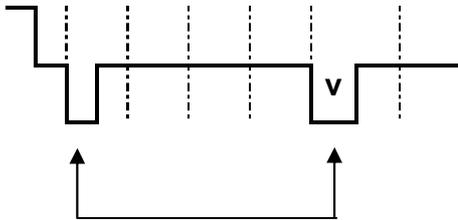
#### **2.8.5. Bipolar de alta densidad (HDB<sub>3</sub>)**

Bipolar de alta densidad de máximo tres ceros consecutivos. Bipolar al 50% alternativo a tres niveles.

El código de Alta Densidad Bipolar, alterna los pulsos en forma similar que el código AMI, pero tiene la restricción de no permitir más de 3 ceros consecutivos en la línea, para el caso en el que se presentan más de tres, se insertan pulsos de violación y marcas según las siguientes reglas:

**Pulso de Violación (V)**, se inserta cuando hay más de tres ceros consecutivos en la señal. El primer bit de violación se inserta en la posición del cuarto cero y tiene la misma polaridad que el pulso de información anterior. Los siguientes pulsos de violación se van alternando entre sí.

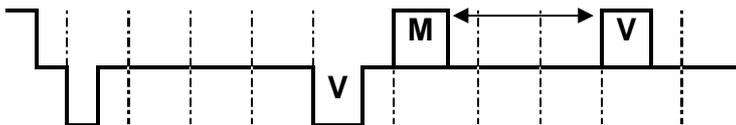
**Figura 19. Forma de onda Pulso de Violación (V)**



Fuente: Intelgua, Técnicas PCM Primer Orden, Editorial Intelgua, Guatemala, Págs. 45.

**Marcas (M)**, Si el bit de violación no rompe alternancia se pone una marca (pulso extra) en la posición del primer cero con polaridad contraria al último bit de violación.

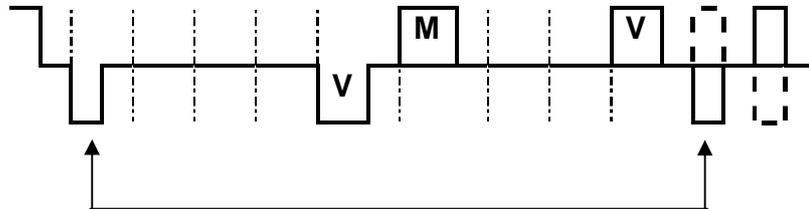
**Figura 20. Forma de onda Marcas (M) no rompe alternancia**



Fuente: Intelgua, Técnicas PCM Primer Orden, Editorial Intelgua, Guatemala, Págs. 45.

Si al aplicar la regla número dos, el siguiente bits de información tiene la misma polaridad que el bit de violación y la marca, se invierte el bit de información para evitar tres unos con la misma polaridad.

**Figura 21. Forma de onda Marcas (M) siguiente *bit* con igual polaridad**



Fuente: Inttelgua, Técnicas PCM Primer Orden, Editorial Inttelgua, Guatemala, Págs. 45.

### 2.8.6. Regeneración de la señal recibida

La transmisión directa de señales entre la fuente de información y el destinatario están unidas, mediante un par de conductores o un equivalente eléctrico a esa conexión. Estas interconexiones introducen imperfecciones a la transmisión, como atenuación dependiente de la frecuencia, interferencia intersimbólica y suma de ruido.

Resulta que en la señal recibida en la parte del receptor específicamente en el decodificador, está distorsionada y contaminada por el ruido, por lo que se debe procesar para poderla regenerar haciendo uso de algún dispositivo de toma de decisión.

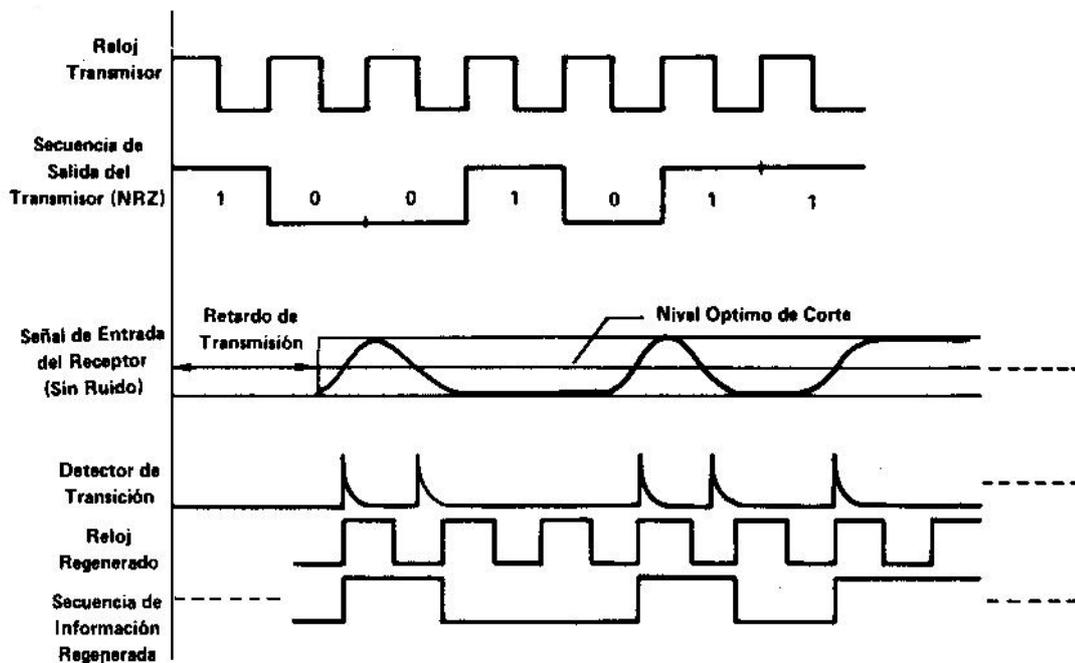
Este dispositivo de toma de decisión debe de extraer la información necesaria de la señal recibida para producir en la salida una secuencia de símbolos digitales normalizados, compatible con el alfabeto del destinatario de la información, y esta secuencia debe de ser una aproximación aceptable a la secuencia transmitida.

En el caso de comunicaciones síncronas es muy importante que el decodificador en el receptor debe ser capaz de estimar la velocidad de transferencia de información que impone el transmisor o lo que es equivalente a estimar la frecuencia del reloj ya que el receptor debe poseer la réplica exacta del reloj del transmisor. El decodificador debe de contener circuitos que extraigan la información de sincronismo de la señal recibida, ya que ésta constituye la única información que el circuito decodificador del receptor tiene a disposición.

### 2.8.7. Extracción de la información de sincronismo

A continuación nos referiremos a la transmisión binaria, pero las conclusiones se pueden extender para transmisión multinivel.

Figura 22. Regeneración del Pulso



Fuente: Curso Digicom. Teoría y prácticas modernas de las comunicaciones digitales. DEGEM .1982. Págs. 88.

Se presentan las señales codificadas en NRZ, ya que su forma de onda posee transiciones sincronizadas con las transiciones de la onda de reloj del transmisor.

La transmisión de la señal NRZ a través de los medios de banda limitada causa como efecto que se redondeen las transiciones abruptas y, en consecuencia, se distorsiona la información de sincronismo que contienen en sus transiciones de nivel; aquí se introduce la incertidumbre respecto a la ubicación exacta de la transición. De acuerdo a la figura, las transiciones que ve el receptor dependen de la secuencia transmitida, debido a la interferencia ínter simbólico.

Para poder extraer la señal de sincronismo; se detectan las transiciones de nivel, y luego de detectar la posición aproximada de las transiciones, se procesa dicha información para generar la onda de reloj para el receptor.

Se detectan las transiciones comparando la señal recibida con una tensión de referencia fija y se generan impulsos cortos cada vez que la señal recibida supera el "umbral" que representa la tensión de referencia.

Se observa que el valor del voltaje de referencia influye sobre la posición de los pulsos de sincronismo, razón por la cual se debe determinar con sumo cuidado el valor de dicha tensión.

## 2.9. Principios del funcionamiento de los lazos de fijación de fase (PLL)

En este circuito de los lazos de fijación de fase (PLL) *Phase-Lock-Loops*, son los que sincronizan un oscilador local variable con la fase y frecuencia de la señal entrante.

**Figura 23. Forma básica del PLL diagrama de bloque.**

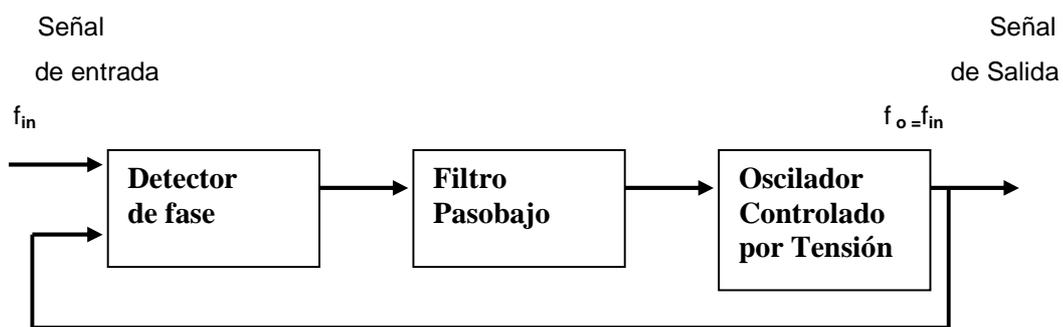


Diagrama de bloque del PLL

La forma básica del PLL se ilustra en la figura 23, está compuesto por un oscilador variable, un detector de fase y un filtro. La frecuencia del oscilador queda determinada por una tensión continua de control; esta tensión se obtiene filtrando la tensión de salida del detector de fase. La tensión de salida del detector de fase es proporcional a la diferencia que existe entre las fases de las dos señales que tiene aplicadas en sus entradas: la señal de entrada y la señal de salida del oscilador controlado por tensión (VCO). La salida del detector de fase debe poseer polaridad y magnitud absoluta tales que lleven al VCO a oscilar a frecuencia igual a la entrada.

Sin embargo siempre deberá haber una diferencia de fase, que posiblemente será bastante pequeña, con el objeto que el detector de fase pueda generar la tensión de control necesaria para llevar al VCO a la frecuencia correcta de oscilación. Como el detector de fase tiene limitado el alcance de tensión de salida, también será limitado el alcance de frecuencias para los cuales el VCO permaneciera en sincronismo (fijado): se le denomina alcance de rastreo de frecuencias.

El alcance de captura, es un concepto importante, que consiste en los valores que puede tomar la frecuencia de entrada para los cuales el VCO se puede fijar (sincronizar) con la señal de entrada, sin la ayuda del exterior.

Todo cambio en la frecuencia de la señal de entrada causa un cambio en la salida del detector de fase que se manifiesta en forma de una componente de alterna (CA).

Si la frecuencia de la señal de entrada varía rápidamente, por ejemplo debido a que está modulada en frecuencia, el filtro paso bajo atenúa en gran medida la componente de alterna generada por el detector de fase, y la tensión de corrección que se aplica al VCO puede no ser suficiente para mantenerlo fijado. En este caso el VCO, oscilará a la frecuencia promedio de la entrada, no obstante si la señal de entrada realizara excursiones amplias, se perderá el sincronismo.

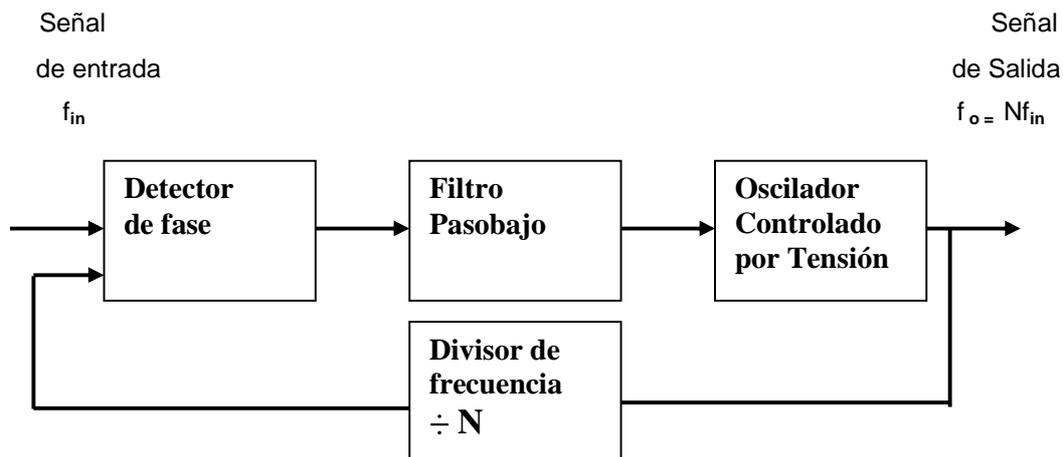
Las señales de entradas contaminadas con ruido son muy parecidas a las señales moduladas en frecuencias: hasta un determinado valor de la relación SEÑAL/RUIDO, el PLL permanecerá fijado, y generará una señal relativamente limpia y estable, cuya frecuencia será el valor promedio de la frecuencia de la señal de entrada, y repentinamente se romperá la fijación al continuar disminuyendo la relación señal/ruido.

Como la frecuencia de corte de los filtros pasabajos realimentados normalmente es pequeña, el PLL ve una relación “interna” señal/ruido mucho mayor que la existentes en sus entradas (suponiendo que hay ruido blanco en su entrada). En consecuencia el PLL puede mantener la fijación y generar señales estables aún cuando el ruido de banda ancha sea mayor que la señal útil en la entrada.

Si examinamos la señal de salida que genera el circuito PLL cuando tenemos ruido a la entrada, veremos que aunque la frecuencia promedio sea estable, la fase varía aleatoriamente, es decir el ruido la modula en fase. Esta modulación de fase se conoce como el “*jitter*” fluctuación. El *jitter* ejerce un efecto perjudicial sobre el comportamiento de los circuitos que debe excitar el PLL, comparándolo con el comportamiento que se obtiene cuando la señal es estable.

Veamos la siguiente variación del circuito básico:

**Figura 24. Diagrama de bloque del PLL modificando el lazo de fijación de fase.**



En estos bloques de circuito vemos que posee un divisor de frecuencia en el lazo de retroalimentación. Para que el lazo se fije, las dos señales aplicadas en las entradas del detector de fase deben de ser de igual frecuencia; esto significa que  $f_{in} = f_o / N$ , en donde N es la relación de división del divisor de frecuencia.

$f_o = f_{in} * N$  con esto se muestra que circuito PLL modificado puede generar cualquier armónica deseada de la señal de entrada, conservando todas las ventajas del PLL común.

### **2.9.1. Regeneración de reloj utilizando circuitos PLL**

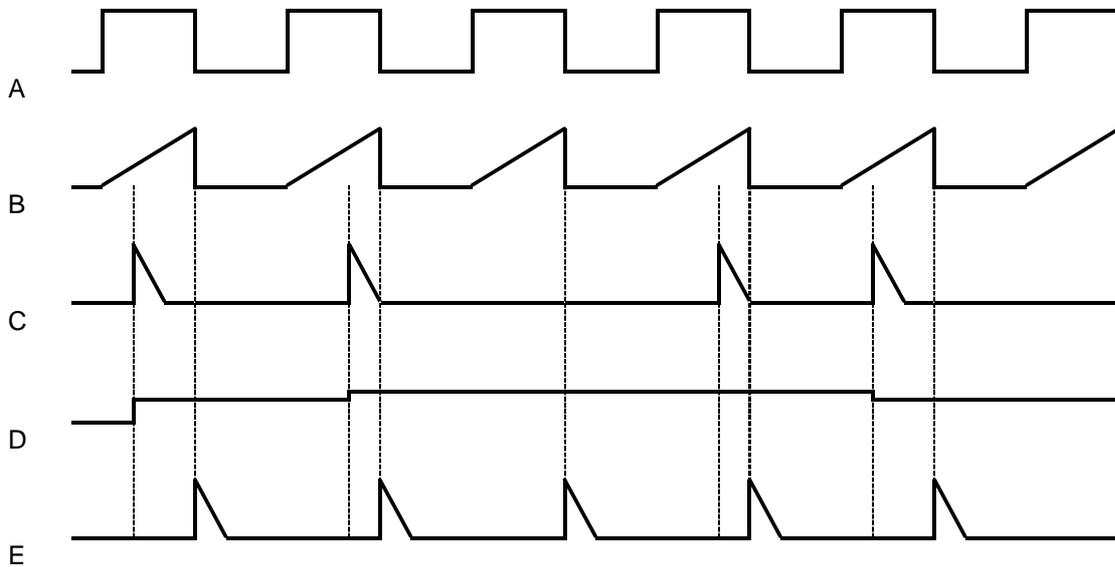
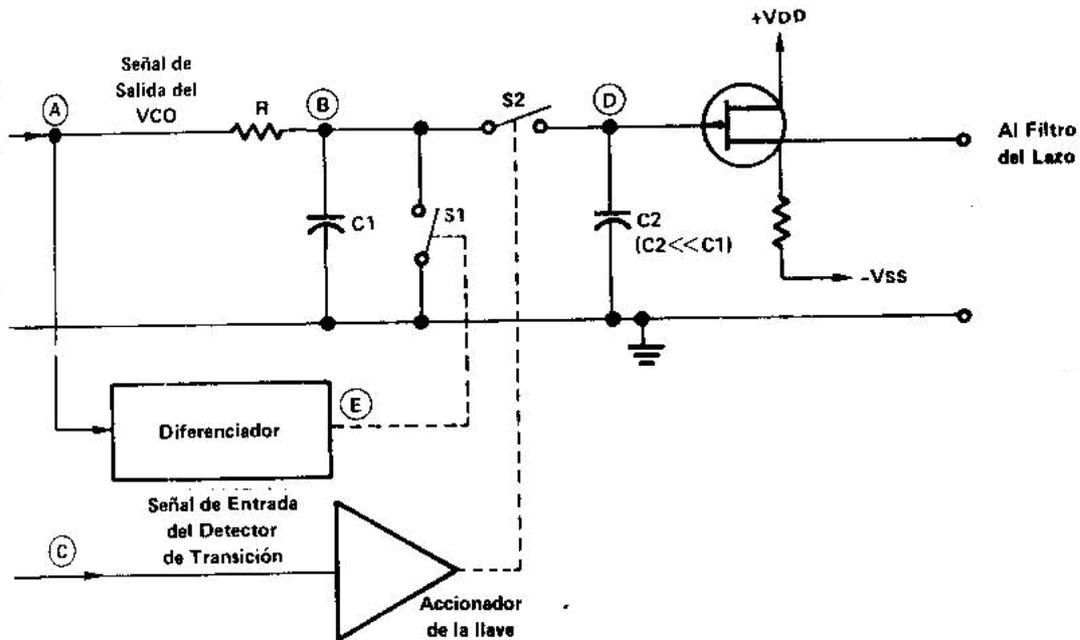
Cuando se aplica a la entrada del PLL el tren de pulsos que genera el detector de transiciones, después de cada transición, el detector de fase actualizará su tensión de salida; esta tensión, una vez filtrada, se usa para llevar al VCO a la frecuencia que minimice el error promedio de sincronización que existe entre las transiciones de la entrada y las transiciones de la salida del VCO.

Las transiciones del reloj del transmisor son las que disparan las transiciones de entrada (se ve que no todas las transiciones del reloj generan transiciones a la entrada del PLL), y consiguientemente el VCO del receptor se figurará a la frecuencia de reloj del transmisor.

Para que el circuito PLL funcione correctamente en calidad de circuito de recuperación de reloj, su detector de fase debe de estar diseñado para que cuando las transiciones del VCO no estén seguidas por transiciones de la entrada (dentro de un período del VCO), conserve el último valor de tensión de salida que obtuviera.

En la siguiente figura tenemos un circuito que cumple con lo anterior.

Figura 25. Operación del circuito del detector de fase.



Fuente: Curso Digicom. Teoría y prácticas modernas de las comunicaciones digitales. DEGEM .1982. Págs. 91.

Este circuito convierte la señal del VCO en una rampa lineal, y muestra la tensión de la rampa cada vez que hay un pulso de entrada (transición). La rampa lineal se genera entre los terminales del condensador  $C_1$  (como se ve en la forma de onda en la figura 25 en el punto B) integrando la señal del VCO, que es una onda cuadrada, la llave electrónica  $S_2$  muestra la tensión entre terminales de  $C_1$ , cerrándose momentáneamente en el instante que aparece el pulso de entrada, y transfiriendo la tensión que aparecen entre los terminales de  $C_1$  al condensador  $C_2$  (que es más pequeño). Al finalizar cada semiperíodo del VCO la llave  $S_1$  descarga el condensador  $C_1$ , con el fin de prepararlo para otro ciclo de comparación de fase.

La tensión presente entre los terminales de  $C_2$  se aplica al filtro del lazo, haciéndola pasar por un adaptador de alta impedancia de entrada; con esto se asegura que el condensador  $C_2$  conserve la última tensión adquirida por un tiempo prolongado, como el que podría haber al recibirse secuencias de información de densidad baja de transiciones.

Analizando el funcionamiento de este detector de fase se puede demostrar que durante la operación estacionaria, esto es, mientras la diferencia de fase entre las dos señales de entrada sea constante, no hay necesidad de actualizar el valor de la tensión presente entre los terminales del condensador  $C_2$ , a menos que se descargue o se modifiquen las condiciones del circuito. En consecuencia, este tipo de detector de fase es sumamente adecuado para ser empleado como circuito de recuperación de reloj.

### **2.9.2. Regeneración de la secuencia de información**

La señal de reloj que se recupera es utilizada para regenerar la secuencia original de información transmitida, al proporcionar información de sincronismo para el dispositivo de toma de decisiones del decodificador. En un sistema general de transmisión se comprende que funcionará correctamente si existe una señal de sincronismo que les indique los instantes exactos de muestreo y de decisión, y que discrimine entre los intervalos de bit adyacentes. Si los circuitos de sincronización no funcionan correctamente, habrá interferencia intersimbólica y se empeorará la relación señal/ruido efectiva, en consecuencia, es sumamente importante que el circuito de recuperación de reloj se desempeñe perfectamente para que la comunicación sea confiable.

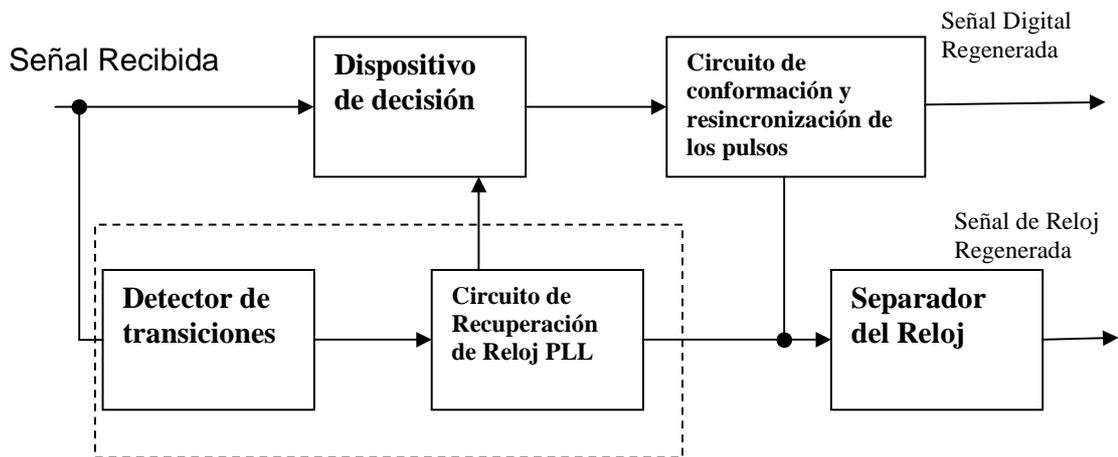
Componentes de un sistema usado para recuperar la señal recibida.

Circuito de recuperación de reloj.

Dispositivo de toma de decisiones.

Circuito de conformación y resincronización de los pulsos.

**Figura 26. Diagrama de bloque de un circuito de regeneración.**



Circuito de recuperación de reloj; generalmente esta formado por el detector de transiciones y el circuito de recuperación de reloj PLL. La señal de salida del PLL se procesa en circuitos lógicos que forman parte del bloque de recuperación de reloj, los cuales producen las señales de sincronismo para los demás componentes.

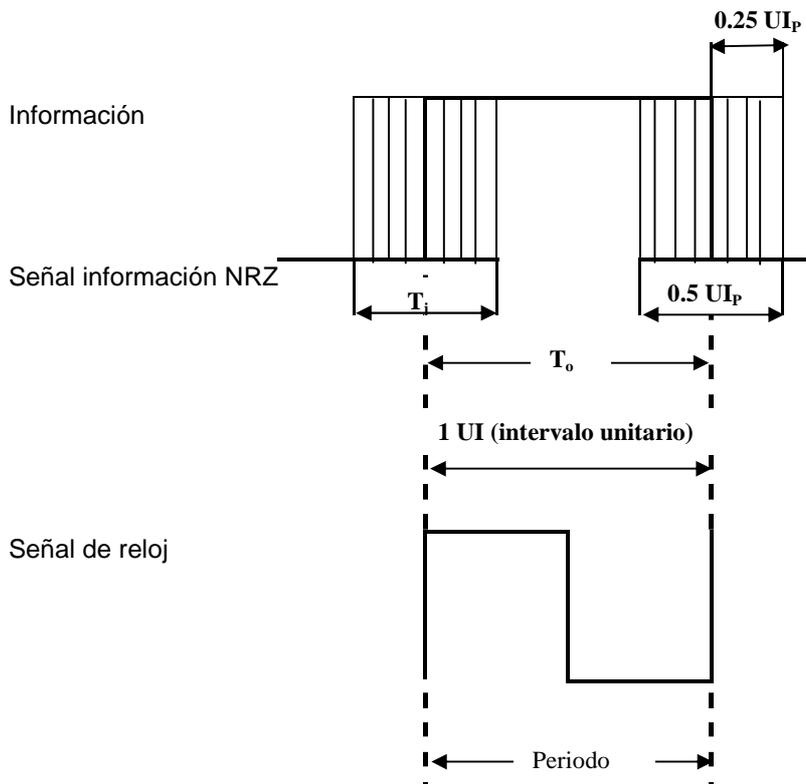
Dispositivo de toma de decisiones; analiza la señal recibida y decide, o estima, cuál es el símbolo con mayor probabilidad de haber sido transmitido.

Circuito de conformación y resincronización de los pulsos; procesa la salida del dispositivo de toma de decisiones para producir una secuencia de símbolos de información digital de duración y niveles normalizados. Estas secuencias responden a las mismas normas de las secuencias transmitidas originales y se pueden usar para excitar al destinatario de la información (recipiente) o para excitar otro enlace de comunicaciones digitales, sin empeorar el desempeño. Sin embargo el hecho que las secuencias regeneradas sean parecidas a las secuencias originales, es posible que el contenido esté alterado debido a los errores causados por el dispositivo de toma de decisiones, por ejemplo, debido a ruido. Efectivamente la regeneración mejora el desempeño pues el ruido y las perturbaciones que acompañan a la señal recibida se suprimen totalmente al no permitir que el dispositivo de toma de decisiones cometa errores. En el caso que los enlaces de comunicación sean largos, la posibilidad de suprimir el ruido constituye una ventaja muy significativa pues los enlaces digitales se podrán implementar en forma de secciones cortas conectadas en serie, y cada sección podrá operar virtualmente sin errores.

## 2.10. Unidad de intervalo

En sus siglas **UI** se define como la duración de un bit, de un ciclo de reloj, o de 360 grados sin importar a qué velocidad de reloj se este refiriendo. Es independiente a la velocidad de transmisión y el tipo de codificación de la señal, ya que hace referencia a la longitud de un periodo de reloj. El valor pico a pico se expresa como UI.

**Figura 27. Intervalo unitario.**



Fuente: Inttelgua, Técnicas PCM Primer Orden, Editorial Inttelgua, Guatemala, 2007. Págs. 87.

$T_j$  Amplitud del Jitter Pico-a- Pico

$T_o$  Intervalo Unitario = Periodo de reloj

### 2.11. Precisión

El termino precisión indica la reproductividad de las medidas; en otras palabras, la cercanía entre resultados obtenidos exactamente de la misma manera. En general la precisión de una medida se determina con facilidad, simplemente al repetir las medidas en muestras duplicadas.

### 2.12. Exactitud

La exactitud indica la cercanía de la medida al valor aceptado o verdadero y se expresa mediante el error. Para el caso de la frecuencia se dice que es la variación entre la frecuencia real y la nominal.

Esta dada por la relación  $\Delta f/f$

En donde:

$f$  : frecuencia nominal (Hz)

$\Delta f$  : variación de frecuencia (Hz).

### 2.13. Estabilidad

Es el grado con el cual un reloj produce una misma frecuencia durante un periodo de tiempo una vez establecida la operación continua. Este se mide a intervalos de tiempo, usando la relación:

$$(\Delta f/f) \cdot (1/(T_0 - T_1))$$

En donde:

$T_0$  = Tiempo inicial

$T_1$  = Tiempo final

### 2.14. Jitter

Una expresión de la distorsión en la señal digital es la *fluctuación de fase*, conocida como *jitter*. Entonces podemos decir que el *Jitter* es la desviación de alta frecuencia, a corto plazo, de un punto dado en una señal digital comparada con su posición ideal, equidistante en el tiempo (reloj de referencia). Se hace referencia al *jitter* cuando las desviaciones son mayores de 10 Hz.

Las máximas frecuencias del *jitter* que se pueden medir dependen de la tasa de bits y puede llegar a ser tan altas como 20 MHz para una señal de 2,488 Gbit/s que corresponde a STM-16/OC-48.

### **2.15. Wander**

Es la deriva lenta de la posición de un punto de una señal digital, respecto a su posición ideal equidistante en el tiempo, *fluctuación lenta de fase*. La palabra “lenta” en este contexto se refiere a desviaciones con componentes de frecuencia de 0 a 10 microHz, las componentes de frecuencia muy bajas, del orden de Hz, requieren tiempo de medida largos hasta  $10^6$ s.

Largo plazo implica que las desviaciones de fase con componentes espectrales menores a 10Hz.

### **2.16. Ruido de fase**

El ruido de fase es la diferencia entre la potencia que existe entre la señal portadora y el *offset* de frecuencia respecto a esta señal, Entonces se puede decir que es el ruido que está introduciendo nuestro oscilador en la señal que él mismo genera en su salida. Este ruido es una de las causas del *Jitter*, en los equipos distribuidores de sincronismo.

### 2.16.1. Ruido

Cualquier perturbación superpuesta a señales útiles que tiende a borrar el contenido de información.

- Diferencia del ruido y la distorsión:
- El ruido sigue existiendo aun cuando no hay señal.
- El ruido no modifica la forma de onda de la información, sino que se la agrega.
- La distorsión de la forma de onda de una señal dada se puede predecir en forma exacta utilizando información experimental o calculada referente a sus causas.
- El ruido es una señal verdaderamente casual, significa que es imposible predecir su valor instantáneo o corregirlo con ningún tipo de mediciones o cálculos.
- El ruido es un fenómeno natural, pues existe siempre y en todas partes, su forma es irregular e impredecible. Sin embargo es estudiada por una rama de la matemática que es la teoría de la probabilidad.
- Esta teoría de la probabilidad se basa en las observaciones; al realizar una gran cantidad de experimentos (mediciones) surge que hay repeticiones aún en los fenómenos más casuales, esto es debido a que existen grados variables de casualidad. La distribución de los resultados exhibe cierta estabilidad (estacionalidad), que en la mayoría de los casos tiene importancia práctica.

### 2.16.2. Relación señal ruido

Se entiende por “relación señal/ruido” o S/N a la relación de la amplitud de la señal útil con la amplitud del ruido presente en la señal, cuanto mayor es dicha relación mejor será la “legibilidad” de la señal en relación a dicho ruido.

El ruido de fase de un equipo se mide comparando su salida con la de un oscilador mucho más estable y evaluando el ruido final obtenido.

El cálculo de la relación señal/ruido se puede realizar:

- Evaluando la potencia de ruido.
- Calculando la relación señal/ruido.

Calculando la potencia de ruido, aquí suponemos que el receptor está perturbado por ruido blanco Gaussiano, generado por sus propios circuitos.

El ruido generado en un dispositivo se caracteriza por su Cifra de ruido. Esta cifra de ruido es obtenida como dato del diseñador de los circuitos.

$$N_{in} = F \cdot k \cdot T$$

$N_{in}$  = es la densidad equivalente de potencia de ruido a la entrada (W/Hz)

$kT$  = es la densidad de potencia térmica del ruido (W/Hz)

$F$  = es la cifra del ruido.

Utilizando unidades logarítmicas, es decir  $\text{dB}_m$ , el ruido térmico en una banda de un Hz de ancho es de  $-174 \text{ dB}_m$  de donde:

- $N_{in} = NF - 174 \text{ (dB}_m/\text{Hz)}$
- $NF =$  la cifra del ruido en dB.

La potencia total de ruido

- $N_{eq} = N_{in} * B_{eq} \text{ (W)}$
- $N_{eq} = N_{in}(\text{dB}_m) - 10 * \log B_{eq}(\text{Hz}) \text{ (dB}_m)$
- $N_{eq} =$  es la potencia total de ruido equivalente de entrada.
- $B_{eq} =$  es el ancho de banda equivalente de ruido del receptor.

## 2.17. Deslizamiento

En las centrales de la red, las señales digitales se reciben a una determinada velocidad de entrada para ser almacenadas en una memoria intermedia. Los bit almacenados, son conmutados a la frecuencia determinada por el reloj maestro de la central, en el evento en que la razón de bits entrantes sea mayor que la del reloj de la central, no habrá tiempo para transmitir los bits almacenados antes de que llegue otra cadena de bits. De igual forma, si la razón de bits entrantes es menor que la del reloj de la central, se enviaran duplicaciones de fragmento de los bits almacenados antes de que llegue la nueva cadena de bits, es decir se produce deslizamientos.

Es una repetición o supresión de un bloque de bits en un tren de bits sincrónico o plesiócrono debido a una discrepancia en las velocidades de lectura y escritura de una memoria intermedia.

## **2.18. Componentes de la red de sincronismo**

### **2.18.1. Fuentes de temporización**

#### **2.18.1.1. MASER (Microwave amplificación by stimulated emisión of radiation) hidrógeno**

Es el estándar patrón de frecuencia más elaborado y más caro que se pueda adquirir en el mercado, generalmente construidos para aplicaciones en observatorios y laboratorios de patrones de estándar, porque se requieren frecuencia de referencia de alta estabilidad, este permite una estabilidad de  $10^{-16}$  por lo que se utiliza para PRS de referencia.

El efecto de MASER (Amplificación por emisión estimulada) se produce a una frecuencia de 1,420,405,752 Hz.

### **2.18.1.2. GPS**

Es un Sistema de Posicionamiento Global que en cada satélite lleva relojes que están compuestos de osciladores atómicos de Cesio- Rubidio. El uso de estos relojes; el de cesio es por su estabilidad que presenta para períodos cortos, mientras que el rubidio se utiliza por sus estabilidad a largo plazo. Ya que se precisan grandes estabilidades en ambos casos, en cada satélite se colocan dos relojes de cada tipo funcionando a una frecuencia de 10.23 MHz.

Para realizar la sincronización de los relojes además de las frecuencias del sistema GPS esto se hace desde el segmento terrestre del sistema. Las frecuencias de los satélites están sincronizadas con los relojes de los satélites, la desviación diaria permitida de la frecuencia del reloj es de  $10^{-12}$  MHz. Ya que se requiere de una exactitud extrema, se deben de tener en cuenta los efectos relativistas provocados por la velocidad de los satélites, así como la gravedad existente a una altitud de 20,200 Km sobre la superficie de la Tierra.

Los relojes de los satélites son extremadamente precisos, los de los receptores son osciladores de cuarzo de bajo costo.

### 2.18.1.3. LORAN

Es un sistema de navegación y determinación de posición (*Long Range Navigation*), con una mayor exactitud. Proveedora de una referencia de tiempo precisa. La Corporación Internacional de Teléfonos y Telégrafos ha participado del desarrollo de este sistema.

LORAN C (*Long Range Navigation Version C*). Utiliza transmisiones de impulso para evitar los errores, en la banda de 90 a 110 KHz que es una banda del espectro asignada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT. La operación en esta banda permite la sincronización de señales LORAN entre estaciones transmisoras y receptoras situadas a una mayor distancia.

Provee servicio de tiempo preciso durante las 24 horas del día, La frecuencia que transmite el LORAN C, es controlada por tres relojes de Cesio, la exactitud de la frecuencia es comparable con lo que prescribe al UTC tiempo de coordinación universal. El sistema recibe una señal de otra estación de señal que produce una frecuencia de salida exacta, de acuerdo a lo prescrito por la UTC tiempo de coordinación universal, y acepta las señales de una Fuente de Referencias Primaria por sus siglas en ingles (PRS).

Las señales transmitidas por el LORAN C son producidas por series de transmisores, usualmente segmentadas en grupos de cuatro o cinco estaciones con una señal característica igual en cada estación.

#### **2.18.1.4. SSU/SASE**

##### **2.18.1.4.1. Unidad proveedora de sincronismo/equipo de sincronización autónomo**

Es la unidad proveedora de sincronización, generador de señal de temporización (GST), provee señales de sincronización de red para telefonía y para la industria de telecomunicaciones, este cumple con especificaciones internacionales.

##### **2.18.1.4.2. SASE**

Es un equipo de sincronización autónomo o suplidor de temporización integrado de edificio, el cual es una fuente común de frecuencia y fase de sincronismo necesaria para cualquier elemento de red digital (transmisión o conmutación).

Distribuye la temporización (frecuencia y fase) para otros relojes dentro de la misma instalación. Se puede recibir señales de referencia ya sea de una referencia primaria G.811 (PRC), una interfaz de temporización de red (conexión de referencia) o de otro equipo autónomo o suplidor de sincronismo.

El requisito que se establece para que este equipo pueda recibir señales de referencia es que estas deben ser generadas por un reloj de igual o superior precisión que el SASE que va a utilizar las referencias.

Bajo condiciones normales de operación todas las señales de este equipo cumplen con la recomendación G.811 de la ITU.

Los relojes que están internamente en este equipo realizan una promediación a largo plazo de la referencia de entrada. En los casos en que la entrada falla o esta fuera de la tolerancia, el reloj interno de este equipo proveerá del puente de temporización (*Holdover*) y así permitir a la red continuar operando sin deslizamientos (*slips*) por varias horas o días dependiendo del tipo de reloj.

Puede comunicarse con el distribuidor de reloj digital de referencias primarias local (DCD-LPR), o una fuente G.811 con señales de referencia del sistema de posicionamiento global (GPS), estaciones Loran-C que son trazables al tiempo de coordinación universal (UTC).

#### **2.18.1.5. SEC**

Fuente de señal de reloj de los equipos SDH, es una unidad centralizada que proporciona la generación y distribución de sincronismo a los elementos de red. Un elemento de red SDH requiere de sincronización para generar la sincronización necesaria e información de referencia de fase de trama. Las señales de sincronización se distribuyen a los puertos del equipo.

#### **2.18.1.6. Modos de operación**

##### **2.18.1.6.1. Amarrado (*Locked*)**

Condición de funcionamiento de un reloj subordinado en el que la señal de salida es controlada por una referencia de entrada externa de modo que la señal de salida del reloj tiene la misma frecuencia media a largo plazo, y la función de error de tiempo de salida y entrada esta limitada. Este es el modo de funcionamiento que es previsto para que funcione un reloj subordinado.

##### **2.18.1.6.2. Sostenido (*Holdover*)**

Condición de funcionamiento de un reloj que ha perdido su entrada de referencia de control y utiliza datos almacenados, adquiridos en funcionamiento enganchado, para controlar su salida. Los datos almacenados se utilizan para

controlar las variaciones de fase y de frecuencia lo que permite reproducir la condición enganchada conforme a especificaciones.

#### **2.18.1.6.3. Carrera libre (*Free runnig*)**

Condición de funcionamiento de un reloj cuya señal de salida está fuertemente influenciada por el elemento de oscilación y no controlada por técnicas de enganche de fase. En este modo, el reloj no ha tenido nunca una entrada de referencia de red, o ha perdido la referencia externa y no tiene acceso a los datos almacenados que podrían ser adquiridos de una referencia externa previamente conectada.

El funcionamiento libre comienza cuando la salida de reloj no refleja ya la influencia de una referencia externa conectada, o una transición de la misma. El funcionamiento libre termina cuando la salida de reloj se engancha a una referencia externa.

Para cumplir con las normas recomendadas por la ITU-T G.810, G.812 y G.813.

Un PLL está presente, el cual mantiene fijo el reloj del sistema al que se seleccionó como una entrada en caso de que el equipo opere en modo Amarrado (*“locked”*).

Contiene un oscilador de alta estabilidad a 10 MHz, para garantizar un modo de sostenido (“*holdover*”) o de Carrera Libre (“*free running*”) que cumple con las recomendaciones de la ITU-T.

Puede seleccionar la señal de referencia para operar entre los siguientes relojes.

- T1: reloj de 2.048 MHz que lo puede extraer de las señales STM-N
- T2: reloj de 2.048 MHz que lo puede extraer de las señales PDH procedentes de los puertos plesiócronicos de 2Mbits/s.

El numero máximo de relojes de referencia T1+T2 es 6

- T3: el reloj de 2.048 MHz proveniente de una fuente de sincronización externa de la tarjeta de servicio que inserta el algoritmo SSM.

Los relojes de T3 son dos, la selección automática de estas fuentes se logra al usar calidad (algoritmos SSM) o criterios de prioridad. La conmutación entre las referencias también depende de la condición de alarma detectada en las señales.

#### Relojes Generados

T0: es un reloj de sistema a 622.08 MHz derivado de un oscilador local.

Este se puede refijar a una de las referencias de reloj T1, T2, o T3.

Este reloj a 622 MHz se envía a todas las tarjetas de puerto.

En el caso de que el modo de operación de free running, este se puede fijar a un reloj a 10 MHz que se generó por otro oscilador local de alta estabilidad (exactitud de  $\pm 4.6$  PPM); la unidad opera en este modo cuando no están presentes señales de sincronismo válidas ni están almacenados valores de *holdover*.

Lo que se refiere a *Holdover*, la unidad tiene la última referencia válida con un cambio máximo de 1 PPM/día (o 0.37 PPM/día). Este modo de operación esta asociada con la pérdida de referencia seleccionada por el operador.

El nivel de calidad de referencia que se usa para generar T0 se inserta en el byte SSMB de las señales STM-N que transmite el equipo.

T4: Este es un reloj de sincronización a 2.048 MHz que se envía hacia el externo. Se obtiene de un PLL digital que se puede fijar a cualquier referencia T1/T2 y se puede silenciar. Este reloj se envía a la tarjeta que inserta el algoritmo SSM y genera el formato de reloj estandar que será salida del sistema.

El criterio de “*don't use*” se envía al “reloj NEi”, el cual ha suministrado la referencia de sincronización que sincroniza al proveedor NEi (*loop* de sincronización).

### **2.18.2. Tipos de osciladores**

Los osciladores que se utilizan hoy en día para los equipos de telecomunicaciones deben de tener una gran precisión. Estos osciladores son atómicos y deben de trabajar en la frecuencia de resonancia del átomo correspondiente. Y dar como resultado una frecuencia de salida muy estable. Para esto deben de ser capaces de contrarrestar los efectos de las condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura, la presión y las vibraciones.

#### **2.18.2.1. Hidrogeno**

Es un tipo de oscilador atómico trabaja a una frecuencia de resonancia del átomo de Hidrógeno  $^1\text{H}$ , que es de 1,420,405,752 Hz.

#### **2.18.2.2. Cesio**

Los osciladores de Cesio trabajan a la frecuencia de resonancia del átomo de Cesio  $^{133}\text{Cs}$ , a 9,192,631,770 Hz. Estos osciladores presentan una

frecuencia muy próxima a su frecuencia nominal y cuando se envejecen es inapreciable su deterioro.

La medida del tiempo llamada segundo, del sistema internacional de unidades SI, se mide en base a la frecuencia de resonancia del átomo de Cesio.

La Escala internacional de tiempo UTC se deriva de realizar un promedio de un conjunto de osciladores de cesio que están coordinados, de una manera especial. Este tipo de osciladores presentan un *offset* de frecuencia de  $5 \times 10^{-12}$ .

### **2.18.2.3. Rubidio**

Los osciladores de Rubidio trabajan a la frecuencia de resonancia del átomo de rubidio  $_{87}\text{Rb}$ , a 6,834,682,608 Hz. Esta frecuencia se sintetiza a partir de una inferior, generada por un oscilador de cuarzo 5MHz. Como resultado se obtiene una frecuencia muy estable, con la estabilidad que provee el cuarzo a corto plazo pero con la estabilidad a largo plazo mejorada.

La mejora de la estabilidad a largo plazo, de estos dispositivos requieren menos ajustes que los osciladores de cuarzo. Manteniendo un *offset* de frecuencia entre  $5 \times 10^{-10}$  y  $5 \times 10^{-12}$ , pudiéndose mantener en torno al valor  $1 \times 10^{-11}$  durante mucho más que el cristal de cuarzo.

#### **2.18.2.4. Cristal cuarzo**

Son sensibles a las condiciones ambientales, temperatura, humedad, presión y las vibraciones, por lo que estas variables hacen variar la frecuencia de resonancia.

Existen cuatro configuraciones de osciladores de cristal de cuarzo que se emplean frecuentemente en instrumentos electrónicos a si como fuentes de frecuencia en los equipos de telecomunicaciones.

La frecuencia de vibración depende de la forma y dimensiones del cristal, la resonancia natural es de 32,768 Hz.

##### **2.18.2.4.1. El oscilador RTXO**

Por sus siglas en inglés (*Room Temperature Crystal Oscillator*), este utiliza cristales de cuarzo que han sido concebidos para que se experimente un mínimo cambio de frecuencia sobre un rango de temperatura.

Para compensar los efectos de la temperatura existen tres tipos de osciladores de cuarzo:

#### **2.18.2.4.2. El oscilador OCXO**

Por sus siglas en inglés (*Oven-Controlled Cristal Oscillator*); el cristal y los dispositivos sensibles a la temperatura se encuentran contenidos en la cámara de temperatura controlada (*oven*).

#### **2.18.2.4.3. El oscilador TCXO**

Por sus siglas en inglés (*Temperatura-compensated cristal oscillator*) entre las características esta la incorporación de un sensor de temperatura (comúnmente un termistor o un condensador) que actúa como regulador. Esta técnica resulta más barata de fabricación que la anterior, pero menos efectiva.

#### **2.18.2.4.4. Los osciladores MCXO**

Por sus siglas en inglés (*microcomputer-compensated cristal oscillator*) emplean tecnología de computadora como lo es el microprocesador y técnicas digitales para efectuar la compensación de temperatura.

### **2.18.3. Tipos de reloj**

#### **2.18.3.1. PRC**

Este reloj se considera que es autónomo, que funciona con independencia de otras fuentes. Alternativamente se puede pensar que es un reloj no autónomo ya que es disciplinado por señales de precisión que se derivan del Tiempo Universal Coordinado (UTC), recibidas de un sistema radioeléctrico o de satélite, caso GPS.

El Reloj de Referencia Primaria (PRC) es un dispositivo típico que proporciona la señal de referencia de temporización o sincronización a otros relojes que están dentro de una red de sincronismo.

Proporciona la señal de referencia a los relojes subordinados de los elementos de red que están dentro del nodo donde está colocado el PRC.

La recomendación G.811 define la salida de este tipo de reloj, la precisión con la que debe operar a largo plazo una parte en  $10^{11}$  lo compara contra el Tiempo Universal Coordinado UTC y la estabilidad a corto plazo especificados en esta recomendación, tal es el caso de los LORAN-C, GPS y los relojes de Cesio.

### **2.18.3.2. Reloj de nodo**

Es un reloj que funciona de manera subordinada ya que recibe su referencia de otro reloj de referencia primaria. Su función es seleccionar uno de los enlaces de sincronización externa que se recibe en un nodo de telecomunicaciones como referencia de sincronización activa, atenuar su fluctuación de fase (*Jitter*) y fluctuaciones lentas de fase (*wander*) y distribuir posteriormente la diferencia al equipo de telecomunicaciones del nodo. Tal es el caso de de los SSU/SASE.

### **2.18.3.3. Relojes de elemento de red**

Son los relojes de los equipos SDH, en condiciones normales, los relojes de estos equipos contienen un reloj subordinado asociado a un reloj de referencia primaria, en general los relojes de equipos SDH tendrán múltiples entradas de referencia, dado el caso de que fallen todos los enlaces entre el reloj maestro y el reloj subordinado, los equipos deben de ser capaces de mantener el funcionamiento dentro de los límites de calidad que se prescribe en la norma G.813.

Estos deben de satisfacer los requisitos específicos para cumplir las características de fluctuación de fase de red para afluentes plesiócronicos.

Para las redes SDH se debe de distribuir jerárquicamente la temporización. La temporización no debe pasar de un reloj de equipo SDH en el modo funcionamiento libre/régimen libre a un reloj de calidad más alta porque este último no debe seguir la señal de reloj del equipo SDH durante condiciones de averías. Esto conforme a la norma G.813.

#### **2.18.4. Tipos de referencias**

##### **2.18.4.1. El reloj de referencia primaria (PRC)**

Es un dispositivo típico que proporciona la señal de referencia de temporización o sincronización a otros relojes que están dentro de una red de sincronismo. Entre las características que posee: es autónomo y de alta precisión.

##### **2.18.4.2. Los relojes subordinados**

Son subordinables a una referencia externa, poseen diferentes niveles de calidad. Entre los que se tiene El reloj subordinado TNC reloj de nodo tránsito son aquellos que reciben la señal de reloj de una fuente de referencia primaria y se enganchan a ella para distribuirla a los elementos de red de transporte. Actúan en el modo maestro subordinado.

El reloj subordinado LNC reloj de nodo local este se subordina a un reloj de distribución como lo es el TNC.

#### **2.18.5. Sistemas de posicionamiento global**

Es un sistema de posicionamiento global, uno de los objetivos que tiene es calcular la posición de un punto cualquiera en un espacio de coordenadas, utilizando el cálculo de las distancias del punto a un mínimo de tres satélites con posición conocida. La distancia entre el receptor GPS respecto al satélite se mide multiplicando el tiempo de vuelo de la señal emitida desde el satélite por su velocidad de propagación. Para poder medir el tiempo de vuelo de la señal de radio es necesario que los relojes de los satélites estén sincronizados con los receptores, pues deben generar simultáneamente el mismo código.

Estos satélites GPS se sitúan en seis órbitas elípticas (excentricidad de 0.03) semisíncronas de 11 horas 58 minutos, con cuatro satélites en cada órbita separados por  $90^\circ$ , cada órbita se encuentra a una altitud de 20,200 km sobre la tierra con una inclinación de  $55^\circ$  respecto del Ecuador, estos planos orbitales están separados por  $60^\circ$ .

Con estas ubicaciones se asegura una cobertura global de los satélites permitiendo de esta manera la visibilidad de al menos de cuatro satélites, con  $5^\circ$  de elevación sobre el horizonte.

Cuando los satélites se mueven en órbitas opuestas, estos se cruzan en la órbita de 55° de esa forma lo hacen con un ángulo de 90°.

Hay una diferencia de cuatro minutos cada 24 horas entre el tiempo de órbita del satélite respecto a la rotación de la Tierra. Los satélites se colocan en posiciones de tal forma que se tiene a la vista un mínimo de cinco para un usuario en cualquier ubicación o momento. A la vista en este contexto significa que la transmisión de un satélite se reciba por cualquier usuario equipado con un receptor adecuado, la constelación fue diseñada para asegurar una disponibilidad continua.

Ya que el requisito de cobertura debe ser global, las antenas receptoras no pueden ser demasiado directivas, la potencia de la señal llega a la superficie de la tierra a unos 30 dB por debajo de la densidad espectral de potencia del ruido ambiente que se recoge del cielo. La solución de este problema es utilizando la modulación de espectro ensanchado que permite conseguir una gran ganancia de procesamiento.

#### **2.18.6. Protocolo de tiempo en la red NTP**

Define una arquitectura para un servicio de tiempo y un protocolo para distribuir la información del tiempo sobre Internet.

Entre los objetivos principales para el diseño de NTP;

Proporcionar un servicio que permita a los clientes a lo largo de Internet estar sincronizados de forma precisa al Tiempo Universal Coordinado: NTC emplea técnicas estadísticas para el filtrado de los datos de tiempo y discrimina entre la calidad de los datos de tiempo de los diferentes servidores.

Proporcionar un servicio fiable que pueda sobrevivir a pérdidas largas de conectividad, esto se logran reconfigurando los servidores para poder continuar dando el servicio si uno de ellos llega a ser inalcanzable.

Permite a los clientes resincronizar con suficiente frecuencia para compensar las tasas de deriva encontradas en la mayoría de los computadores. Proporciona protección contra la interferencia con el servicio de tiempo, ya sea maliciosa o accidental.

Este servicio de NTP está proporcionado por una red de servidores localizados a través de Internet.

La forma en que los servidores primarios reciben la información del tiempo, es que estos están conectados directamente a una fuente de tiempo como un satélite recibiendo UTC; los servidores secundarios están sincronizados con servidores primarios. Los servidores están conectados en una jerarquía lógica llamada Subred de sincronización cuyos niveles se llaman estratos.

En el estrato uno se encuentran los servidores primarios; ellos están en la raíz. Reciben la señal de reloj de una referencia como lo es el Tiempo Universal Coordinado.

En el estrato dos se encuentran los servidores secundarios, ellos están conectados directamente con los servidores primarios de estos reciben la sincronización.

En el estrato tres se encuentran los servidores que están conectados con los del estrato dos y de estos reciben la sincronización. Los servidores de nivel más bajo (hojas) se ejecutan en las estaciones de trabajo de los usuarios.

Los relojes de los servidores con números altos de estrato tienden a ser menos fiables que los de estrato bajo, esto porque se introducen errores en cada nivel de sincronización.

Las subredes de sincronización se puede reconfigurar cuando los servidores llegan a ser inalcanzables o se producen fallos continuos.

Los modos en que se sincronizan entre si los servidores NTP:

Multidifusión, llamada a procedimiento y modo simétrico.

El modo multidifusión se utilizan en una red LAN de alta velocidad. Uno o varios servidores reparten periódicamente el tiempo a los servidores que se ejecutan en otros computadores conectados en la LAN, que fijan sus relojes suponiendo un pequeño retardo. Las precisiones que se alcanza con este método son relativamente bajas, pero para muchos otros propósitos son consideradas aceptables.

El modo de llamada a procedimiento, un servidor acepta solicitudes de otros computadores, que el procesa respondiendo con su marca de tiempo. Este modo es adecuado en donde se requiere precisiones más altas que las que se pueden conseguir con multidifusión, o donde la multidifusión no viene soportada por hardware.

El modo Simétrico está pensado para su utilización por servidores que proporcionan información de tiempo en LANs y por los niveles más altos de la subred de sincronización. Un par de servidores operando en modo simétrico intercambian mensajes llevando información del tiempo. Los datos del tiempo son retenidos como parte de una asociación entre los servidores que se mantienen con el fin de mejorar la precisión de su sincronización en el tiempo.

### **3. ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LA LEY DE TELECOMUNICACIONES**

En este capítulo se intenta analizar parte de la ley de telecomunicaciones de Guatemala que es la legislación existente. En lo concerniente a Disposiciones Generales,

Condiciones de Operación,

#### **3.1. Ley general de telecomunicaciones**

##### **3.1.1. Disposiciones generales**

Se refiere a ámbito de aplicación de la ley, los sujetos a los que se aplica la ley, así como los términos técnicos que se usan en organismos internacionales para poder ser utilizados de referencia para poder interpretar esta ley.

## **Ámbito de aplicación**

Es la parte general en donde se establece el marco legal para el desarrollo de las actividades de Telecomunicaciones, normando la explotación del espectro radioeléctrico. Fomentado la competencia entre los diferentes prestadores de servicio de telecomunicaciones, protegiendo los derechos de los usuarios y de los proveedores del servicio, apoyando el uso racional y eficiente del espectro radioeléctrico.

## **Sujetos**

Es la parte en donde se indica a quienes se le aplica la ley como lo son; usuarios y los usufructuarios del espectro radioeléctrico, a todas las personas que operan y/o comercializan el servicio de telecomunicaciones, sean estas individuales o jurídicas, nacionales o extranjeras, con participación privada, mixta o estatal independientemente de su grado de autonomía y de su régimen de constitución.

## **Términos técnicos**

Las definiciones de los términos técnicos para la interpretación y aplicación de la ley, se toman de las normas internacionales para telecomunicaciones reconocidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

### **3.1.2. Condiciones de operación**

Se refiere a la libertad de competencia, los requerimientos, la interconexión de redes, el acceso a recursos esenciales, cómo resolver los conflictos en torno a recursos esenciales.

#### **3.1.2.1. Régimen de operación**

##### **Libertad de competencia**

Es la parte en donde se le da libertad para poder realizar contratos, fijar precios para la prestación de todas las clases de servicios comerciales de telecomunicaciones entre las partes ya que no estarán sujetos a regulación ni aprobación por autoridad estatal, con la excepción a lo que se relaciona con el acceso a los recursos esenciales, ya que queda sujeto a lo prescrito en ley general de telecomunicaciones.

## **Requerimientos**

### **Registro**

Aquí se establece el registro de telecomunicaciones, para que toda red de telecomunicaciones que permita el libre acceso a sus servicios a cualquier persona individual o jurídica, a cambio del pago de una contraprestación, sea inscrita en este registro previo a proporcionar información general.

### **Información**

Información general:

- a) Si es persona individual, datos de identificación personal. Si es persona jurídica, el nombre de la entidad, los documentos legales que acreditan su constitución y los datos de inscripción registral.
- b) Lugar dentro del territorio nacional para recibir comunicaciones, citaciones y notificaciones.

Además, las personas que como los operadores de redes comerciales deberán proporcionar los siguientes datos para su registro:

- a) Características técnicas generales de la red que utiliza.

### **3.1.2.2. Interconexión de redes**

#### **Interconexión**

Se refiere a la libertad de negociación entre los operadores de redes comerciales de telecomunicaciones para poder realizar interconexión de sus redes con la salvedad que indica el acceso a los recursos esenciales. Se indica que ningún operador podrá interconectar equipo que ocasione daños a equipos en uso.

Se entiende por interconexión, la función mediante la cual se asegura la operabilidad entre redes, de tal modo que pueda cursar tráfico de telecomunicaciones entre ellas.

#### **Acceso a recursos esenciales**

Aquí se indican cuáles son los recursos esenciales, como quedan obligados todos los operadores de redes comerciales a proporcionar acceso a su red, indica cuales son los motivos que pueden propiciar la suspensión de acceso, la manera en que se solicita el acceso, la negociación entre quienes se debe realizar, se indica el plazo para llegar a acuerdos sobre precios y condiciones de acceso.

## **Recursos esenciales**

Para el propósito de la ley se establecen cuales serán los recursos esenciales.

- a) Terminación en la red de una de las partes, de telecomunicaciones originadas en cualquier otra red comercial.
- b) Transferencia de telecomunicaciones originadas en la red de una de las partes a cualquier otra red comercial de telecomunicaciones seleccionada por el usuario final, implícita o explícitamente.
- c) Señalización
- d) Datos necesarios para la facturación de los servicios prestados
- e) Derecho de publicación de datos y registro de usuarios en las páginas blancas de todo directorio telefónico.
- f) Derecho de acceso a las bases de datos de los directorios públicos de los clientes de otras empresas de servicios de telecomunicaciones, con la única finalidad de su publicación en las páginas blancas de su directorio telefónico.
- g) Traspaso de identificación automática del número de identificación del usuario que origina la comunicación.

## **Acceso**

Se hace referencia a que todos los operadores de redes comerciales de telecomunicaciones deben proporcionar acceso con calidad y a los nodos solicitados siempre y cuando sea técnicamente factible. Lo anterior mediante pago correspondiente.

Habla de los derechos a condiciones contractuales similares que tengas otros operadores con el operador que lo otorgue y que estén en vigencia.

## **Suspensión del acceso**

Se refiere a las excepciones que puede utilizar un operador para suspender el acceso a los recursos esenciales como lo son vencimiento de cláusulas de contrato respectivas, incumplimiento de contrato, o por casos fortuito o de fuerza mayor.

## **Solicitud**

Se refiere a la forma en que se deben presentar la solicitud por escrito de este recurso por parte del operador que lo requiera al operador que corresponda u presentar la constancia de recepción a la superintendencia.

## **Negociación**

Se refiere a que las partes interesadas deben de negociar los precios y condiciones de acceso a cualquier recurso esencial.

## **Plazo**

Se refiere a que se tiene un plazo de cuarenta (40) días contados a partir del día siguiente de recibida la solicitud, este plazo puede ser ampliado de mutuo acuerdo. Este plazo es para llegar a un acuerdo sobre los precios y condiciones del acceso a cualquier recurso esencial.

### **3.1.2.3. Procedimiento para resolver conflictos en torno al acceso a recursos esenciales**

## **Discordia**

Se refiere a la manera en que se puede resolver las discordia producida por no llegarse a un acuerdo entre las parte en relación al acceso a los recurso esenciales, se indica la manera en que se debe encaminar el trámite y la documentación ante la superintendencia de telecomunicaciones una vez que haya transcurrido el plazo señalado por la ley o su prórroga.

## **Nombramiento del perito**

Se indican las acciones que la superintendencia toma para poder resolver la controversia con la contratación y el nombramiento del perito así como los requisitos para ser acreditado e incluido en la lista de peritos así como las causas que pueden impedirlo.

## **Pagos**

Se indican los plazos para pagos del perito seleccionado, quien lo contratará y quien le pagará, la sanción económica que la superintendencia aplicará por cada día de atraso en el cumplimiento de pago.

## **Plazo para emitir opinión**

Se le asigna un plazo para emitir opinión a partir de la fecha de su contratación para que emita opinión sobre la manera más apropiada para resolver los puntos en discordia, se indican los plazos de prórroga y su justificación, así como las responsabilidades en que incurre el perito al no emitir opinión.

## **Criterios**

En la preparación del dictamen, se indican los criterios que se deben tomar en cuenta para fundamentarse; tanto económicos, técnicos, en relación del tráfico internacional, la tasa contable del tráfico internacional.

## **Resolución**

Se indica el plazo en días que tiene la superintendencia para emitir una resolución luego que el perito entregue el dictamen completo a satisfacción de la superintendencia, así como las sanciones administrativas que se aplicarán.

## **Falta de prestación de dictamen**

Se indican los casos en los cuales se aplicará a falta de prestación de dictamen la aplicación de multas y las aplicará la superintendencia, así como la manera en la que el perito se puede liberar de ese pago.

## **Cálculo de costos**

Se indican los criterios o parámetros en los cuales se basa el perito para el cálculo de costos.

### **3.2. Estrategias básicas**

Debido a que el mercado de las telecomunicaciones esta en constante cambios, crecimiento, se debe de tener en cuenta que actuales y futuros operadores se interconectan entre si de forma digital en conexión extremo a extremo. La calidad de los servicios que se prestan actualmente por los diferentes operadores puede ser afectada si se tiene una tasa de deslizamiento mayor a lo que se prescribe en las recomendaciones de los organismos internacionales tales como la UIT-T. Razón por la que se pretende que se distribuya la tasa de deslizamiento de acuerdo a circuito de referencia, que tome en cuenta la interconexión entre los operadores. Para que todos los operadores puedan cumplir con los valores de deslizamientos correspondientes a sus redes.

Hoy en día están surgiendo nuevos servicios y las exigencias de la tasas de deslizamiento deben de ser mayores. Para que los operadores puedan ofrecer una calidad conforme a las normas internacionales, se deben de especificar los objetivos sobre la tasa de deslizamiento y establecer los requerimientos mínimos de sincronismo en la interconexión.

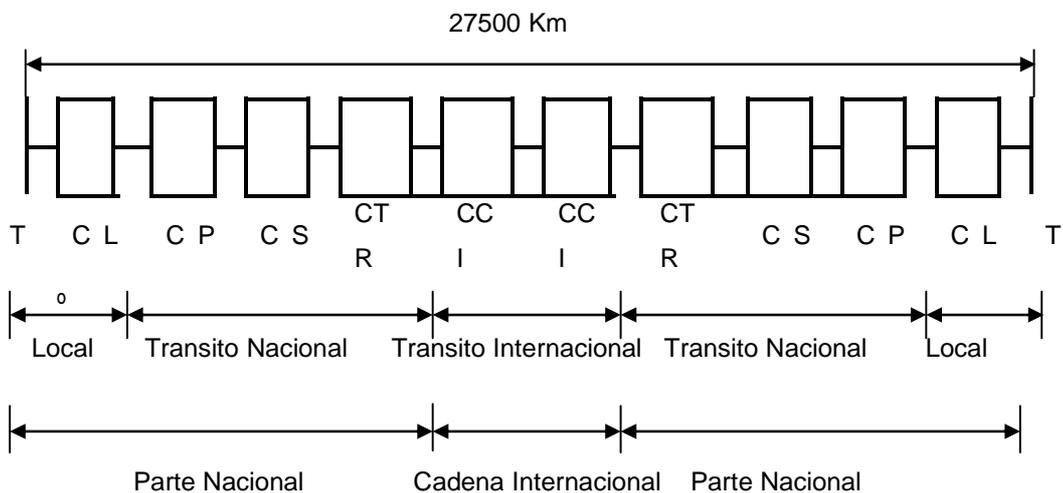
Por la existencia de la variedad de métodos y nuevas tecnologías de sincronismo, se debe de dejar en libertad para que los diferentes operadores de redes de telecomunicaciones diseñen sus propias redes de sincronismo con los métodos y tecnologías que se ajusten a sus necesidades, pero deben de ser exigidos en el cumplimiento de los objetivos de deslizamiento.

### **3.2.1. Sobre el modelo de referencia de sincronismo a aplicarse en Guatemala**

El modelo de circuito de referencia de transmisión que se utilizará es el que se encuentra en la recomendación UIT-T G.801.

Se utiliza el modelo de Conexión Ficticia de Referencia (XFR), en el que se pueden realizar estudios relativos a la calidad de funcionamiento global, facilitando de esta manera la formulación de normas y objetivos para los puntos de medición Recomendación UIT-T G.822.

**Figura 28. Conexión ficticia de referencia (XFR) de un circuito internacional**



Donde:

T: Equipo Terminal

CL: Central Local

CP: Central Primaria

CS: Central Secundaria

CTR: Central Terciaria

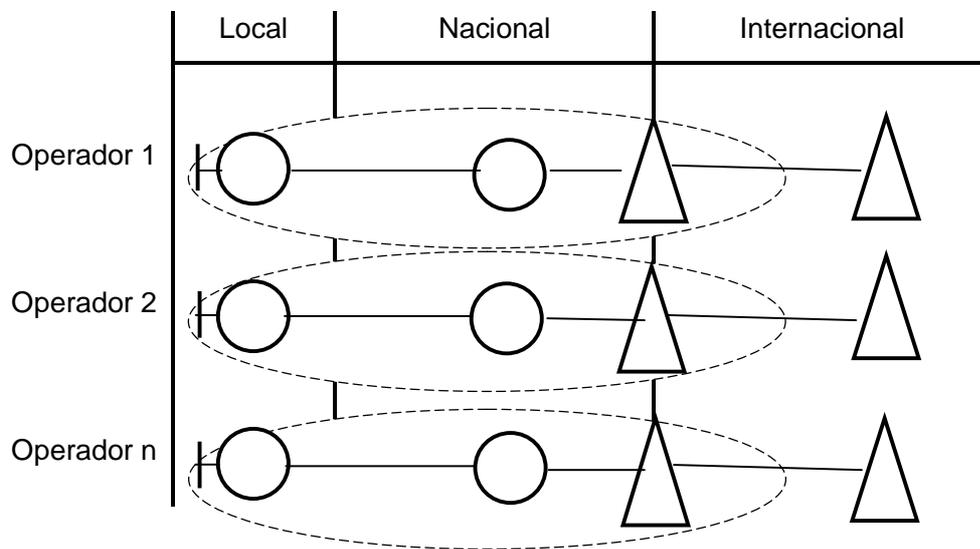
CCI: Central de Conmutación Internacional

Fuente: Recomendación del CCITT *Modelos de transmisión digital*, Tomo III, Rec. G.801, cuadro 1/G.801.

La configuración básica está formada por una conexión extremo a extremo con terminales y redes de acceso conectadas mediante redes de tránsito nacional e internacional. Actualmente, estas redes son gestionadas por diferentes operadores.

El modelo para ser aplicado a Guatemala se describe a continuación:

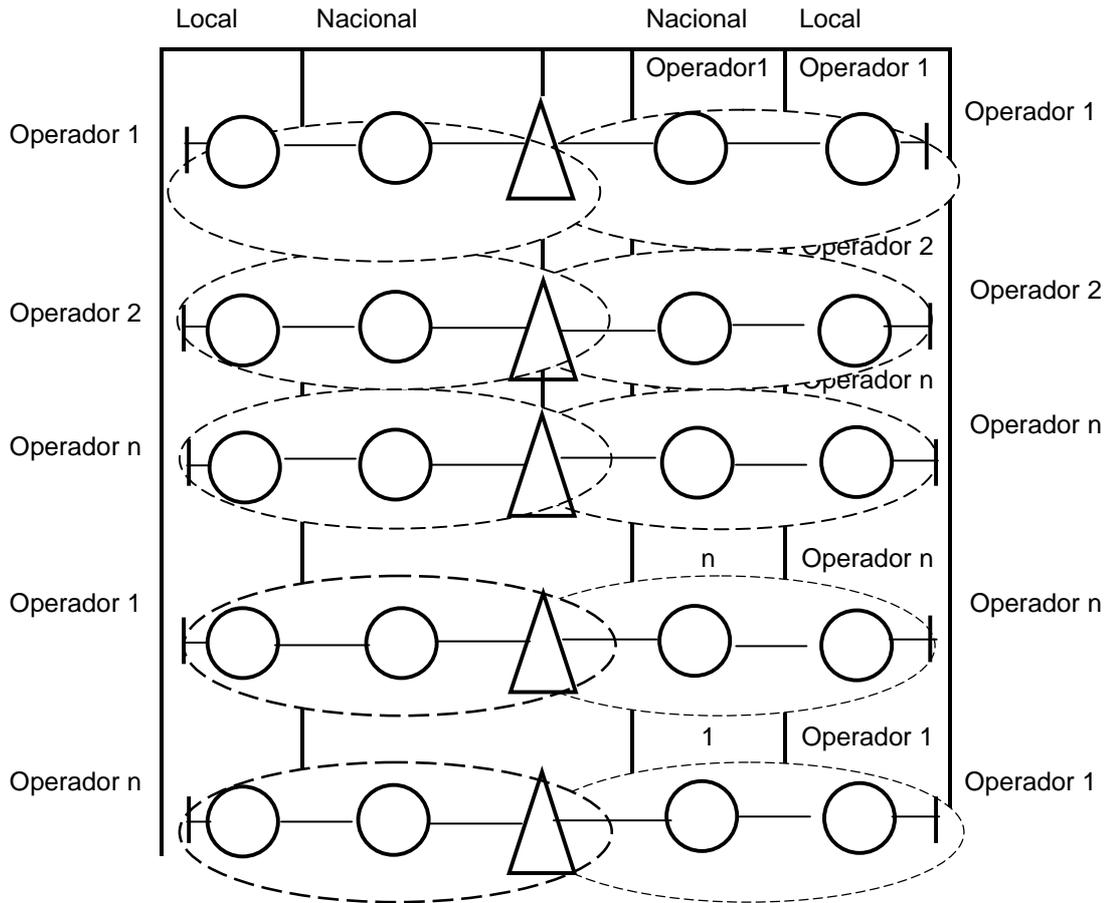
**Figura 29. Circuito referencia internacional**



Cada operador gestiona su red de acceso.

Circuito de referencia para la conexión internacional.

**Figura 30. Circuito referencia nacional**



Circuito de referencia para la conexión nacional.

### **3.2.2. Objetivo de la tasa de deslizamiento y distribución**

Los objetivos de la tasa de deslizamiento controlados en una conexión internacional o canal portador a 64 Kbits/s de extremo a extremo se estipulan en relación con la conexión ficticia de referencia XFR digital normalizada de 27,500 Km. Como se establece en la recomendación G.801. En los centros de conmutación internacionales que funcionan plesiócronamente, utilizan relojes con exactitudes que se especifican en la recomendación G.811.

La tasa teórica de deslizamientos máximos resultante entre centrales en 70 días es de un (1) deslizamiento, esto es si se tiene en cuenta las inexactitudes de reloj indicadas en la recomendación G.811. Al suponer que las características de transmisión y de conmutación permanezcan dentro de sus límites de diseño.

La degradación digital es resultado de los deslizamientos. En el siguiente cuadro se exponen los objetivos de la tasa de deslizamientos de octetos en una conexión internacional de 27,500 Km. de longitud.

**Tabla II. Cuadro 1/G.822 Característica de deslizamientos controlados en una conexión internacional o canal portador a 64 kbit/s**

<b>Categoría de Calidad</b>	<b>Tasa media de deslizamientos</b>	<b>Proporción de tiempo (nota 1)</b>
a) Nota 2	≤ 5 deslizamientos en 24 horas	> 98.9 %
b)	> 5 deslizamientos en 24 horas y ≤ 30 deslizamientos en 1 hora	< 1.0 %
c)	> deslizamientos en 1 hora	< 0.1 %

**Fuente: Recomendación UIT-T G.822, fascículo III.5, cuadro 1/G.822.**

Nota 1 – Tiempo total ≥ 1 año.

Nota 2 – Se prevé que la característica nominal de deslizamientos debida solamente a la explotación plesiócrona no excederá de 1 deslizamiento en 5.8 días.

### **3.2.2.1. Distribución general de los objetivos de calidad de funcionamiento en materia de deslizamientos controlados**

El procedimiento de distribución incluye la asignación de límites más estrictos a los deslizamientos detectados en las centrales de tránsito internacionales y nacionales y límites menos estrictos en las centrales locales pequeñas.

El procedimiento de distribución recomendado se basa en la subdivisión de los porcentajes constitutivos de los objetivos de tiempo para las categorías de calidad b) y c) Tabla II. Estos objetivos se atribuyen a las diversas secciones de la XFR como se indica en la Tabla III.

**Tabla III. Cuadro 2/G.822, Repartición de los objetivos de calidad de funcionamiento en materia de deslizamientos controlados**

Sección según:	XFR	Proporción atribuida de: Cada objetivo del cuadro 1	Objetivos Como Proporción del tiempo Total (Nota 1)	
			b)	c)
Parte de tránsito internacional		8.0 %	0.08%	0.008%
Cada Parte de Tránsito Nacional		6.0%	0.06%	0.006%
Cada Parte Local		40.0%	0.40%	0.040%

**Fuente: Recomendación UIT-T G.822, fascículo III.5, cuadro 1/G.822.**

Nota 1 – Tiempo total  $\geq 1$  año.

Objetivo de tasa de deslizamiento atribuible a cada segmento del modelo para la categoría de calidad a)

Los valores de tasa de deslizamiento  $\leq 5$  deslizamientos en 24 horas.

**Tabla IV. Objetivo de tasa de deslizamiento por segmento.**

Segmento del Modelo	Proporción atribuida	Objetivo de la tasa de deslizamiento.
Cada parte del Tránsito	4%	$\leq 0.2$ deslizamientos en 24 horas
Cada parte de Tránsito nacional	6%	$\leq 0.3$ deslizamientos en 24 horas
Cada parte local	40%	$\leq 2$ deslizamientos en 24 horas

**Fuente: Recomendación UIT-T G.822, fascículo III.5, cuadro 1/G.822.**

Distribución de los objetivos como proporción del tiempo total para las categorías de calidad a) y b)

Basada en la subdivisión de los porcentajes consecutivos de los objetivos de tiempo.

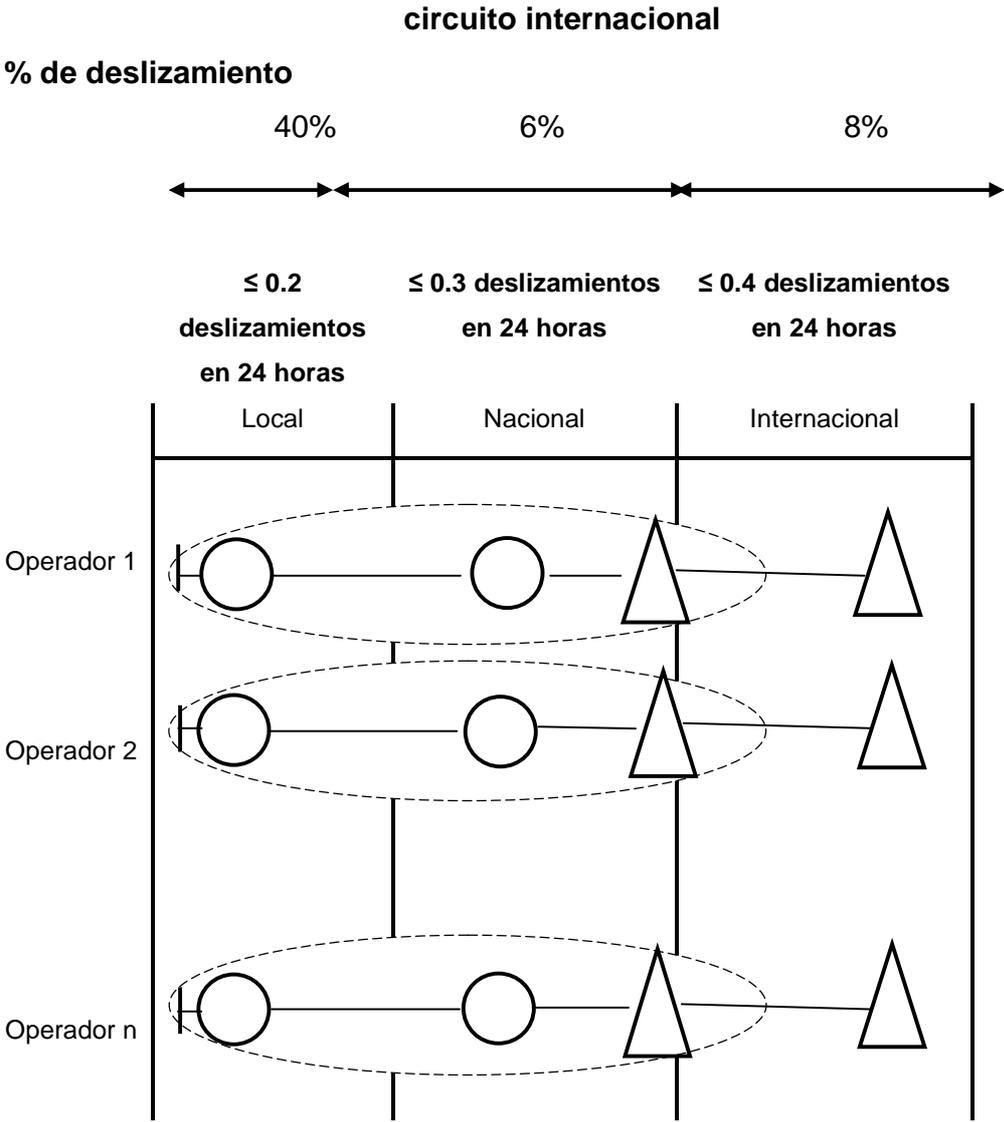
**Tabla V. Objetivos con proporción de tiempo total.**

Sección según:	XFR	Proporción atribuida	Objetivos Como Proporción del tiempo Total (Nota 1)	
			b)	c)
Cada parte de tránsito internacional		4.0 %	0.04%	0.004%
Cada Parte de Tránsito Nacional		6.0%	0.06%	0.006%
Cada Parte Local		40.0%	0.40%	0.040%

**Fuente: Recomendación UIT-T G.822, fascículo III.5, cuadro 1/G.822.**

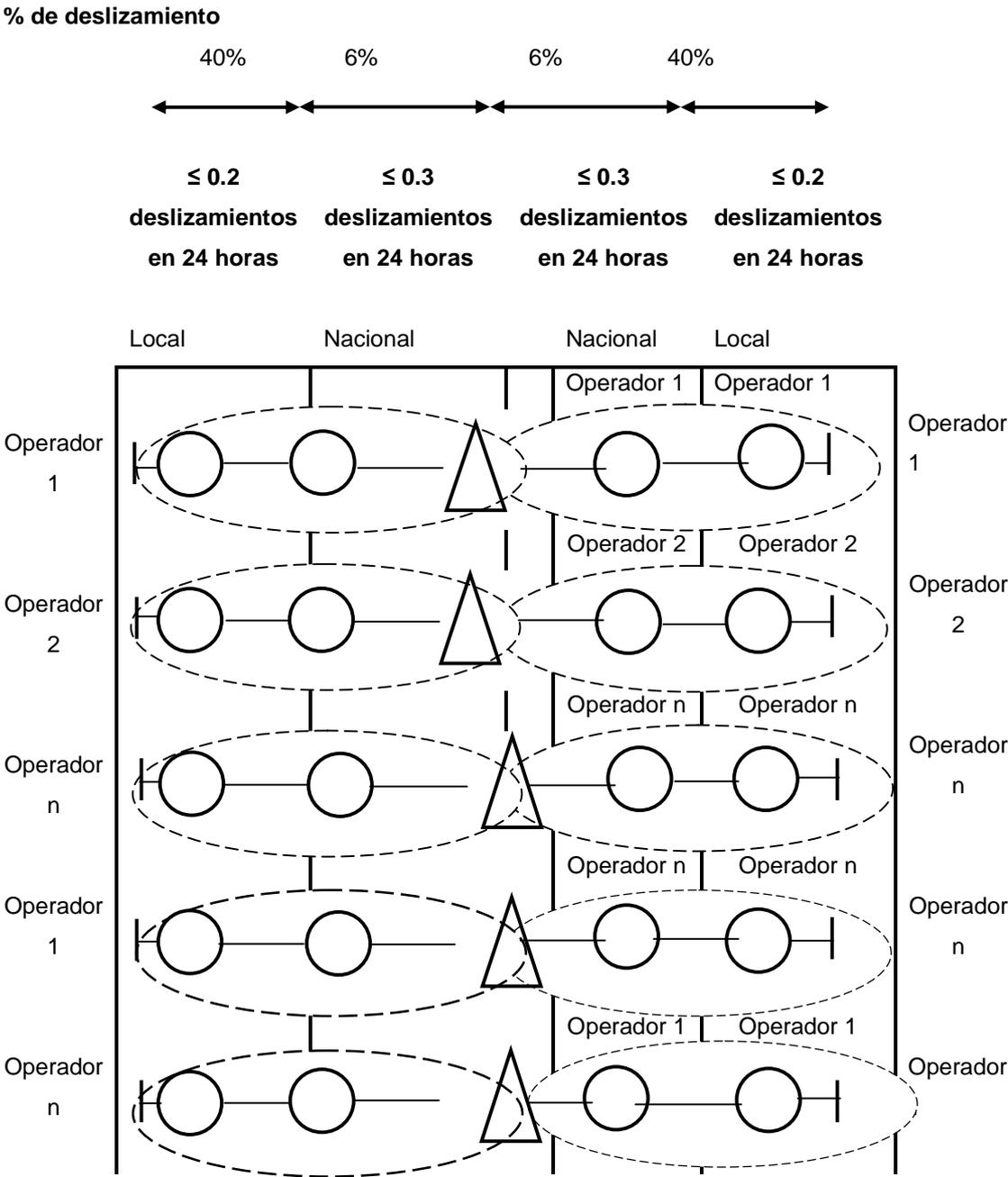
Nota 1 – Tiempo total  $\geq$  1 año.

**Figura 31. Circuito de distribución de taza de deslizamiento por operador**



Fuente: Recomendación UIT-T G.822, fascículo III.5, cuadro 1/G.822.

**Figura 32. Circuito de distribución de taza de deslizamiento por operador circuito nacional**



Fuente: Recomendación UIT-T G.822, fascículo III.5, cuadro 1/G.822.

### **3.2.3. Planificación y diseño de la red de sincronismo de cada operador**

La red de telecomunicaciones de Guatemala está conformada por las diferentes redes que pertenecen a cada uno de los operadores que prestan el servicio de telecomunicaciones, ya sea en líneas fijas y móviles. Cada operador de red debe de poseer su red de sincronismo, que se pueda interconectar a través de los nodos y enlaces de los otros operadores que actúan en forma plesiócrona.

Para el diseño de la red de sincronismo se deja la libertad a cada operador que elija con los métodos y tecnología que le convenga, pero con el especial cuidado de que cada operador no se exceda de los objetivos de deslizamiento a alcanzar, condiciones mínimas de calidad de la interconexión.

Cada operador decide en que forma va a operar su red, si decide que funcionara en el modo plesiócrona, esta red debe de poseer un PRC, con las características y precisión descritas en la recomendación G.811.

### **3.2.4. Método de sincronismo en la interconexión y calidad de los relojes**

#### **3.2.4.1. Método de sincronismo para la interconexión nacional**

En el punto en donde se interconectan dos redes de operadores, en lo que se refiere a aspectos de sincronismo se debe de optar por uno de los siguientes métodos: Plesiócrona o en forma sincrónica.

Para el caso del método Plesiócrono la red funciona en una forma independiente, en el segundo caso Sincrónica, las redes estarán sincronizada a través de los nodos de interconexión y enlaces de sincronismo aquí se utiliza el método maestro-subordinado.

Para aumentar la confiabilidad en la interconexión sincrónica, los distribuidores de la señal de temporización, se dispondrá por lo menos de dos enlaces de sincronismo, en el cual uno estará activo y el otro en espera para poder funcionar cuando el primero falle.

En los convenios de interconexión entre operadores, se debe de detallar la metodología de sincronismo a utilizar. Si se utiliza el método maestro-subordinado, se detallara y quedara en claro qué red debe subordinarse y las condiciones de los enlaces de sincronismo. En el caso de que una red tenga un PRC de menor precisión se subordinará a la que tiene un PRC de mayor precisión.

#### **3.2.4.2. La calidad de los relojes de los nodos de interconexión nacional**

Los relojes que deberán estar en los nodos de interconexión, tendrán las características similares a un PRC o como mínimo un reloj subordinado con una precisión mayor de  $1 \times 10^{-10}$  Aspectos que debe de cumplir:

- Generación de ruido
- *Wander* o Fluctuación lenta de fase
- *Jitter* o Fluctuación de fase
- Discontinuidad de fase
- Funcionamiento en régimen libre de fase
- De acuerdo a las recomendaciones UIT-T G.812

#### **3.2.4.3. Interconexión internacional**

Los centros de conmutación internacional deben de estar interconectados por enlaces internacionales que funcionan plesiócronamente y deben de cumplir con una tasa máxima de deslizamiento de uno cada 70 días.

#### **3.2.4.4. La calidad de los relojes de los nodos internacionales**

Estos relojes deberán tener una precisión mayor de  $1 \times 10^{-11}$ , Aspectos que debe cumplir:

- Generación de ruido
- *Wander* o Fluctuación lenta de fase
- *Jitter* o Fluctuación de fase
- Discontinuidad de fase
- Funcionamiento en régimen libre de fase

De acuerdo a las Recomendaciones UIT-T G.811, la salida del reloj debe de manejar por lo menos la interfaz de 2.048 Kbit/s.

#### **3.2.5. Mediciones de la calidad de la tasa de deslizamiento.**

Esta medición se debe de realizar cada seis meses y cada operador debe de tener sus respectivos reportes, en formato en que se designen conjuntamente los diferentes operadores.



## **4    ÁNÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE NORMAS INTERNACIONALES UIT**

### **4.1. Estándares sobre normas internacionales sobre sincronización**

Las normas y recomendaciones surgen para tratar de garantizar la funcionalidad, la calidad y, muy especialmente, la compatibilidad de interfaces.

La UIT es el organismo especializado de las naciones unidas en el campo de telecomunicaciones. El UIT-T (sector de normalización de las telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios, pública recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

A continuación enumeramos las normas y recomendaciones que se utilizan en la sincronización.

G.703, G.803, G.810, G.811, G.812, G.813, G.822, G.823 y G.825

## **4.2. Conceptos y descripciones**

### **4.2.1 G.703 Estructuras de trama síncrona utilizadas en los niveles Jerárquicos 1544, 6312, 2048, 8448 y 44 736 kbit/s**

Se especifican las características funcionales de las interfaces asociadas a: nodos de la red, poniendo énfasis en los equipos múltiplex digital síncrono y centrales digitales en las redes digitales integradas (RDI) para telefonía y redes de servicios integrados (RDSI), así como equipos de multiplexación MIC.

Se estudia la estructura de trama básica, la longitud, las señales de alineación de trama, los procedimientos de verificación por redundancia cíclica (CRC) y otras informaciones que son fundamentales para el funcionamiento. Especifica como van contenidos los canales a 64 kbit/s y otras velocidades binarias en la estructura de trama básica.

#### **4.2.2 G. 803 Arquitectura de redes de transporte basadas en la jerarquía digital síncrona**

Se describe la arquitectura funcional de las redes de transporte, incluidos los principios de sincronización de redes para las redes basadas en la jerarquía digital síncrona.

Se describe lo relacionado con la arquitectura de la distribución de información de temporización dentro de una red SDH, haciendo énfasis en la necesidad de que los relojes de SDH se ajusten a un reloj de mayor estrato los PRC y posean una buena característica de estabilidad a corto plazo, con el fin de ajustarse a los objetivos de calidad y la tasa genérica de deslizamiento de la Recomendación UIT-T G.822.

Se indica que si la estabilidad a corto plazo, de los relojes SDH se cumple no existen limitaciones prácticas al número de elementos de tratamiento de punteros que puedan conectarse en cascada en una red SDH. Y poder cumplir así los requisitos de fluctuación de fase de salida, en las frontera SDH/PDH.

### 4.2.3 G. 810 Definiciones y terminología para redes de sincronización

En esta recomendación se proporcionan las diferentes definiciones y abreviaturas utilizadas en las recomendaciones sobre el tema de temporización y sincronización, así como la información sobre las necesidades de limitar la variación de fase y las degradaciones en los sistemas digitales. Se describen las definiciones generales relacionadas con equipos de reloj, con redes de sincronización, con modos de funcionamiento de reloj, con la caracterización del reloj, específicas de SDH.

Se describen los componentes de variación de fase, que comúnmente se separan en tres componentes: fluctuación de fase, fluctuación lenta de fase y los efectos de las desviaciones y derivas de la frecuencia, así como las discontinuidades de fase debidas a perturbaciones transitorias, tales como reencaminamiento de la red, conmutación de protección automática, que puede ser una fuente de variación de fase. Se describen los tipos de degradaciones que son causados por la variación de fase, cómo se pueden controlar estas degradaciones. Se especifica las variaciones de fase (*jitter*), la fluctuación de fase lenta (*wander*). Se describe como se estructura las redes de sincronización, configuración de mediciones, para medir la calidad de funcionamiento de los relojes. Se describen los modelos matemáticos de señal de temporización.

#### **4.2.4 G. 811 Características de temporización de los relojes de referencia primarios**

Se presenta en esta recomendación los requisitos que deben cumplir los relojes de referencia primarios (PRC) para proporcionar la sincronización a las redes digitales.

Un PRC típico proporciona la señal de referencia para la temporización o sincronización de otros relojes dentro de una red o sección de red. El PRC puede proporcionar también la señal de referencia al reloj subordinado especificado en la recomendación G.812, dentro de los nodos de red en que está situado el PRC.

La presente recomendación define la salida del un PRC, pero no es aplicable a la salida de un reloj subordinado alimentado directamente por un PRC. La precisión a largo plazo deberá mantenerse en una parte en  $10^{11}$ , verificada con el tiempo universal coordinado (UTC). Se considera que un PRC es un reloj autónomo que funciona con independencia de otras fuentes.

Esta recomendación muestra las características de requisitos de la fluctuación lenta de fase (*Wander*) expresada en MTIE máximo error en el intervalo de tiempo, así como la fluctuación de fase (*Jitter*) las especificaciones se indican en  $UI_{PP}$ , donde la UI es la inversa de la velocidad binaria de la interfaz.

#### **4.2.5 G. 812 Requisitos de temporización de relojes subordinados adecuados para utilización como relojes de nodo en redes de sincronización**

En esta recomendación se describen los requisitos mínimos para dispositivos de temporización utilizados como relojes de nodo en redes de sincronización. La función de un reloj de nodo es seleccionar uno de los enlaces de sincronización externa que se reciben en una estación de telecomunicaciones como referencia de sincronización activa, atenuar su fluctuación de fase (*Jitter*) y fluctuación lenta de fase (*Wander*) y distribuir posteriormente la diferencia al equipo de telecomunicaciones de la estación. Las condiciones ambientales en las que se aplican estas recomendaciones son las normales para equipos de telecomunicaciones.

En esta recomendación se especifican relojes de nodo apropiados para aplicaciones en red SDH y RTPC.

El reloj de nodo tendrá en general múltiples entradas de referencia por razones de redundancia. En el caso que todos los enlaces entre el reloj o relojes maestros y el reloj de nodo fallara, éste debe poder mantener el funcionamiento dentro de los límites de calidad prescritos (modo de funcionamiento en régimen libre). Se definen los tipos y aplicaciones de relojes de nodo.

Exactitud de frecuencia se describen en esta recomendación, la gama de enganche, de retención y desenganche así como la generación de ruido, la fluctuación lenta de fase (*wander*) no enganchada, fluctuación de fase (*jitter*), la tolerancia al ruido.

#### **4.2.6 G.813 Características de temporización de relojes subordinados de equipos de la jerarquía digital síncrona**

En esta recomendación describe los requisitos de los dispositivos de temporización utilizados para sincronizar equipos de red que funcionan de acuerdo con los principios de la jerarquía digital síncrona (SDH), las condiciones ambientales deben de ser normales específicas para los equipos (SDH). En funcionamiento normal, estos equipos contienen un reloj subordinada asociados a los relojes de referencia primario. En general estos relojes de equipo SDH tendrán múltiples entradas de referencia, esto en el caso de que fallen todos los enlaces entre el reloj maestro y el reloj subordinado, los equipos deben ser capaces de mantener el funcionamiento dentro de los límites de calidad prescritos.

El reloj de los equipos SDH, cuyas funciones se especifican en la Recomendación G.783 como la fuente de temporización de equipo síncrono, deben de satisfacer requisitos específicos para cumplir las características de fluctuación de fase de red para afluentes plesiócronicos.

Esta recomendación contiene dos opciones para el reloj de equipo SDH. La opción, denominada “opción 1”, se aplica a redes SDH optimizadas para la jerarquía de 2048 kbit/s. Estas redes permiten la cadena de referencia de sincronización del caso más desfavorable. La “opción 2” se aplica a redes SDH optimizadas para la jerarquía particular de 1544 kbit/s que incluye las velocidades 1544 kbits/s, 6312 kbit/s y 44736 kbit/s.

El reloj subordinado de equipo SDH debe cumplir todos los requisitos específicos de una opción y no debe mezclar los requisitos entre las opciones 1 y 2.

Define los requisitos mínimos para los relojes en los elementos de red SDH. Sin embargo, algunos elementos de red SDH puede tener un reloj de calidad más alta.

Para estas redes SDH se recomienda la distribución jerárquica de la temporización. La temporización no debe de pasar de un reloj de equipo SDH en el modo de funcionamiento libre/régimen libre a un reloj de calidad más alta porque este último no debe seguir la señal del reloj de equipo SDH durante las condiciones de averías.

#### **4.2.7 G. 822 Objetivos de tasa de deslizamientos controlado en una conexión digital Internacional**

Trata de los objetivos de tasa de deslizamientos controlados de octetos de extremo a extremo en conexiones digitales internacionales a 64 kbit/s. Los objetivos se indican para diversas condiciones de explotación en relación con la evaluación de la calidad de la conexión.

Cuando los nodos de las redes digitales satisfacen las condiciones de diseño y se cumplen las características de transmisión definidas para el funcionamiento normal, puede dar lugar a que se produzca un número limitado de deslizamientos incluso en una red sincronizada.

En condiciones de pérdida temporal del control de la temporización en una determinada red sincronizada, pueden producirse deslizamientos adicionales, lo que se traduciría en un número mayor de deslizamientos en una conexión de extremo a extremo.

En el caso del funcionamiento plesiócrono, el número de deslizamientos en los enlaces internacionales dependerá de las capacidades de las memorias tampón y de las exactitudes y estabildades de los relojes nacionales de interconexión.

#### **4.2.8 G. 823 Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 2048 kbit/s**

Se especifican los parámetros y los valores límites que permiten controlar la magnitud de las fluctuaciones de fase y la fluctuación lenta de fase presentes en las interfaces de nodo de red (NNI, *network node interfaces*), de la jerarquía digital plesiócrona (PDH , *plesiochronous digital hierarchy*) y en las redes de sincronización basadas en la velocidad binaria jerárquica de primer nivel de 2048 kbit/s. Especifica los requisitos de la fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase de las interfaces usuario red (UNI, *user-network interfaces*) de PDH .

Estos requisitos se aplican a las interfaces con independencia del mecanismo de transporte subyacente( redes PDH, SDH o ATM).

Se indica que en una red de sincronización que utilice en los límites de red la fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase especificados en esta Recomendación UIT-T servirá para sincronizar redes de la SDH y redes telefónicas públicas conmutadas (RTPC).

Se especifica los requisitos de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase de las interfaces que utilizan estructuras de trama genéricas a velocidades de PDH, definidas en la recomendación G.823.

Se indican los criterios respecto al control de la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase en la que se basa esta recomendación:

- a) Se especifica un límite máximo de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase de la red que no deberá ser sobrepasado en ninguna interfaz.
- b) Se especifica una tolerancia mínima de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase de los equipos que deberá proporcionar cualquier interfaz.
- c) Se establece un marco coherente para la especificación de tipos particulares de equipos digitales.
- d) Proporcionan información suficiente y directrices a los organismos que se ocupen de medir y estudiar las características de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase en cualquier configuración de red.

#### **4.2.9 G. 824 Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 1544 kbit/s**

Se especifican los parámetros y los valores límites que permiten controlar la magnitud de las fluctuaciones de fase y la fluctuación lenta de fase presentes en las interfaces de nodo de red (NNI, *network mode interfaces*), de la jerarquía digital síncrona (SDH *synchronous digital hierarchy*) y de la jerarquía plesiócrona (PDH, *plesiochronous digital hierarchy*) y en las redes de sincronización basadas en la velocidad binaria jerárquica de 1544 kbit/s.

Una cantidad excesiva de fluctuación de fase y de fluctuación lenta de fase puede afectar adversamente a las señales digitales (generando errores de bit, deslizamientos no controlados), como a las señales analógicas (modulación de fase no deseada de la señal transmitida). Debido a lo anterior es necesario fijar límites a la cantidad máxima de fluctuación de fase y de fluctuación lenta de fase en las interfaces de red, con el fin de garantizar una calidad adecuada de las señales transmitidas.

El objeto de esta recomendación es definir los parámetros y sus valores adecuados para controlar eficazmente la cantidad de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase presentes en las interfaces de red de la jerarquía digital plesiócrona.

Se describen las necesidades en las que basan los principios del control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase.

- a) Tener los límites de red máximos que no deben rebasarse en ninguna interfaz jerárquica (límites de generación y de la transferencia de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase, y límites de la tolerancia a la fluctuación de fase y a la fluctuación lenta de fase).
- b) Recomendar un marco coherente para la especificación de los distintos equipos digitales.
- c) Proporcionan información suficiente y directrices a los organismos que se ocupen de medir y estudiar las características de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase en cualquier configuración de red.

#### **4.2.10 G. 825 Control de fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía digital síncrona**

En esta recomendación se definen los parámetros y valores para un control de la cantidad de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase presentes en las interfaces red-red de la jerarquía digital síncrona (SDH, *synchronous digital hierarchy*).

Los requisitos de fluctuación de fase y de fluctuación lenta de fase para la jerarquía digital plesiócrona (PDH, *plesiochronous digital hierarchy*) y las redes de sincronización se especifican en la recomendación ITU-T G.823 para redes basadas en velocidad binaria de primer nivel de 2048 kbit/s, y en la recomendación ITU-T G.824 para las redes basadas en la velocidad binaria de primer nivel de 1544 kbit/s.

Se describen las necesidades en las que se basan los principios del control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase.

- a) Recomienda un límite de red máximo que no debe rebasarse en ninguna interfaz jerárquica.

- b) Recomienda un marco coherente par la especificación de los distintos equipos digitales, (para la especificación de los requisitos relativos a la transferencia, tolerancia y generación de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase).
  
- c) Proporcionan información suficiente y directrices a los organismos que se ocupen de medir y estudiar las características de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase en cualquier configuración de red.



## **5. DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN**

El diagnóstico se realizó en los nodos de las ciudades de Quetzaltenango, Retalhuleu, Escuintla y Chimaltenango

### **5.1. Características técnicas**

Para poder realizar el diagnóstico y la evaluación de los equipos de distribuidores de sincronización (EDS) y los elementos de red que conforman la red de sincronismo se utilizaron los equipos:

- a) Que son capaces de medir las señales de sincronía como el error en el intervalo de tiempo (TIE) y el máximo error en el intervalo de tiempo (MTIE), desviación de temporización (TDEV), Desviación de Allan (ADEV), Máxima desviación (MDEV) así como;
- b) El equipo capaz de proveer una referencia de sincronía confiable para que sea utilizada como un elemento de comparación.
- c) Los resultados de las mediciones son evaluados con la ayuda de el software de análisis en que se presentan las máscaras de análisis de las normas UIT-T.

## **5.2. Equipo de medición**

El equipo de medición que se utilizó fue el analizador de tiempo como lo es el ANT-20, cuyas características son las siguientes:

Tiene capacidad de hacer mediciones para verificar la calidad de sincronización de la red mediante los parámetros de MTIE/TDEV.

El equipo que se utiliza registrar las graficas de estos parámetros en función del tiempo y los compara con las máscaras de tolerancias de las normas G.8xx establecidas en las recomendaciones del UIT-T.

Las velocidades que puede manejar el ANT-20:

El instrumento puede recibir señales de 64 kbits/s, 1,5 Mbits/s, 2 Mbits/s, 8Mbits/s, 34 Mbits/s, 45 Mbits/s, 140 Mbits/s, 155 Mbits/s, 622 Mbits/s, 2,4 Gbits/s y 10 Gbits/s.

Realiza mediciones de desempeño según las recomendaciones G.821, G.826 Y M.2100 de la UIT-T.

El intervalo de medición es variable de 1 segundo a 99 días, 23 horas, 59 minutos, 59 segundos.

El instrumento almacena todos los errores con una resolución de 1 segundo y todas las alarmas con una resolución de 100 ms como mínimo.

Los resultados de todas las mediciones se almacenan en una memoria interna ó pueden ser exportados a un computador para su procesamiento posterior (estadísticas, etc).

### **5.3. Equipo de referencia de comparación**

Se usa una referencia externa de buena calidad para poder realizar las comparaciones. El equipo de referencia que se utilizó fue el TSR-37 (*Time Sour Rubidio -37*), este está basado en un oscilador de rubidio y una antena GPS, con este equipo se asegura que se provee una señal de referencia primaria PRC.

### **5.4. Equipo de análisis**

Este equipo está compuesto básicamente de un computador al cual se le carga un software especializado de análisis en el que se calcula parámetros

como el MTIE/TDEV y los compara con máscaras que están predefinidas de acuerdo a las recomendaciones de la UIT-T.

## **5.5. Lineamientos técnicos para el desarrollo del diagnóstico.**

### **5.5.1. Puntos de muestreo**

Los puntos de muestreo fueron las salidas de los equipos de distribución de sincronismo (EDS) que son las que entregan el sincronismo a los diferentes elementos de la Red de transporte y conmutación. Estos están localizados en las ciudades de Quetzaltenango, Retalhuleu, Escuintla y Chimaltenango.

### **5.5.2. Cantidad de muestras**

Por cada localidad se realiza una medición que contiene treinta muestras cada segundo (30/s) en intervalos desde 1 ó 24 horas.

Medida a la salida del equipo de distribución de sincronismo (EDS)

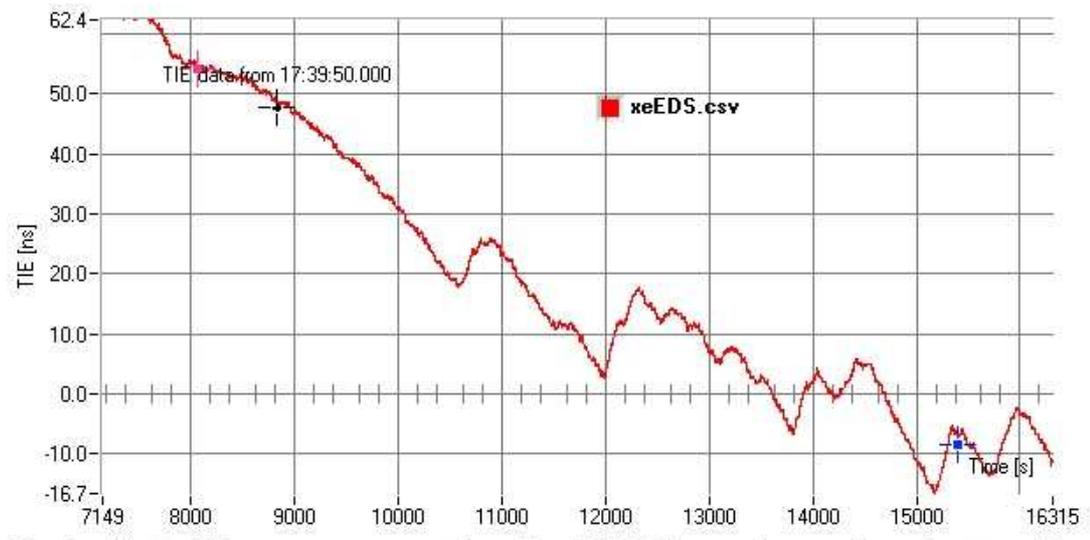
Medida a la salida de elemento de red NE

## 5.6. Análisis de las mediciones

### 5.6.1. Quetzaltenango evaluación y diagnóstico

#### 5.6.1.1. Equipo distribuidor de sincronismo xeEDS

**Figura 33. Desviación en tiempo de la señal del distribuidor de sincronismo xeEDS**



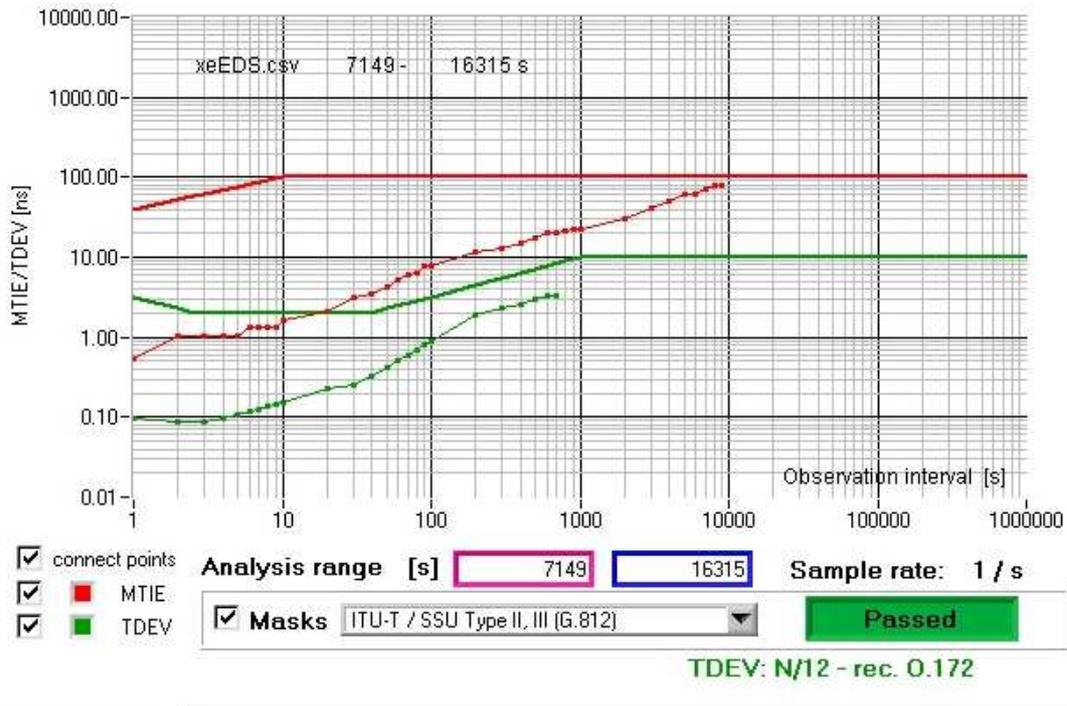
ANT-20 - O.172 *Jitter* Generador/Analizador

Inicio de la medición: 05/07/07 15:54:00.0 - Fin de la medición: 05/07/07 22:11:45.0

Referencia de frecuencia: 10000 kHz; Señal Digital 2048kb/s; Muestras por segundo:1;

*Drift* de frecuencia  $-3.3 \times 10^{-8}$  ppm/s.; *offset* de Frecuencia  $-2.6 \times 10^{-6}$  ppm.

**Figura 34. Evaluación del reloj propio del distribuidor de sincronismo xeEDS**

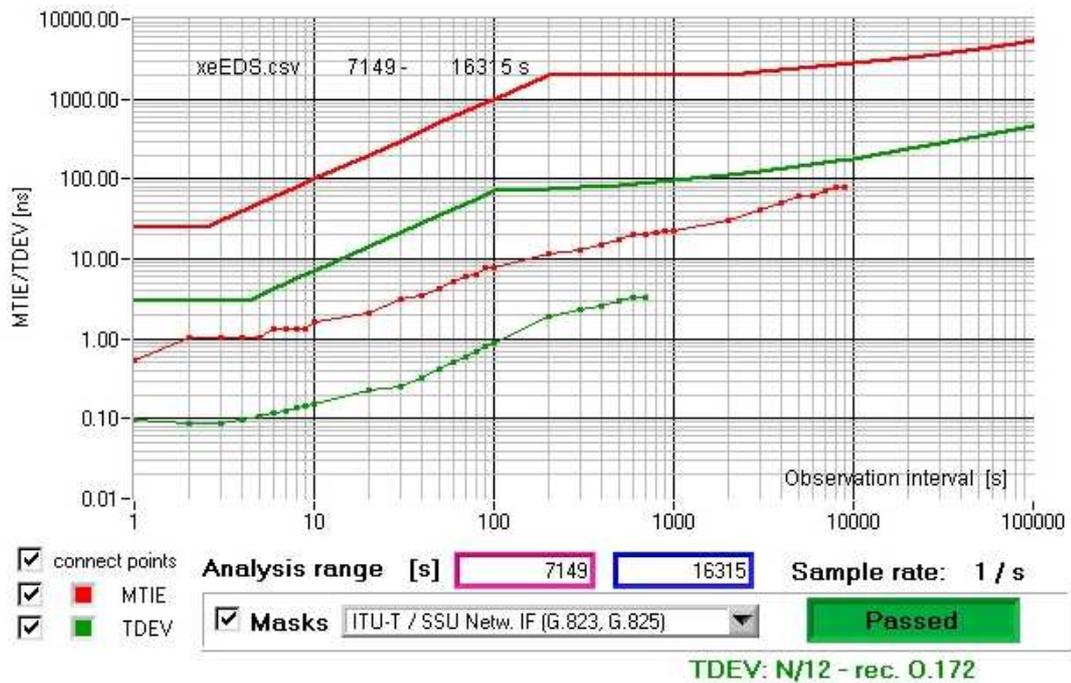


Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobrepasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobrepasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.812, indica que el reloj del EDS esta subordinado al reloj de referencia externa que recibe.

**Figura 35. Requerimiento de estabilidad para el distribuidor sincronismo xeEDS**



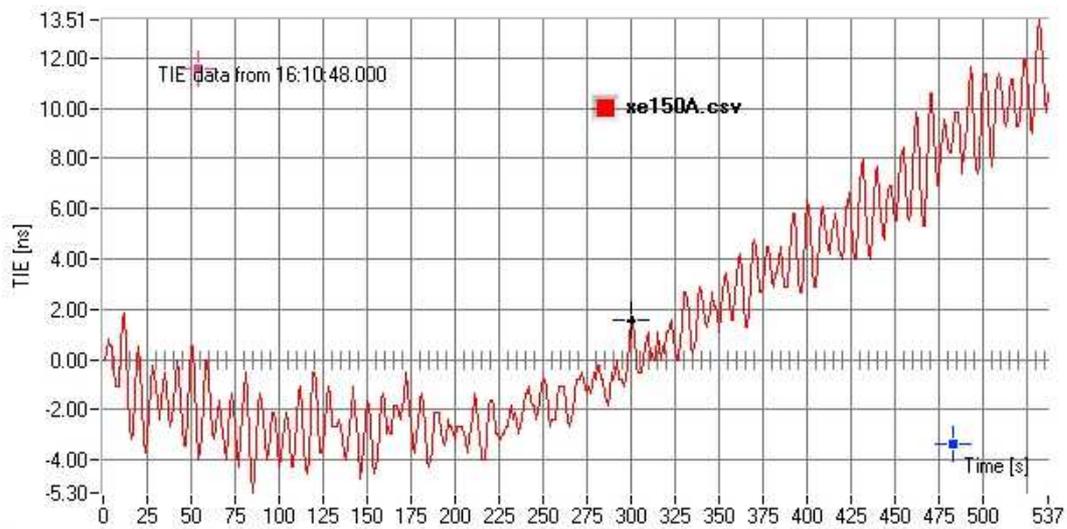
Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobrepasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobrepasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.823, G.825, indica que las señal de reloj que entrega el EDS esta dentro de los limites establecidos. Por lo que los elemento de red están recibiendo la señal correctamente.

### 5.6.1.2. Elemento de red xe150A

**Figura 36. Desviación en tiempo de la señal del elemento de red xe150A**



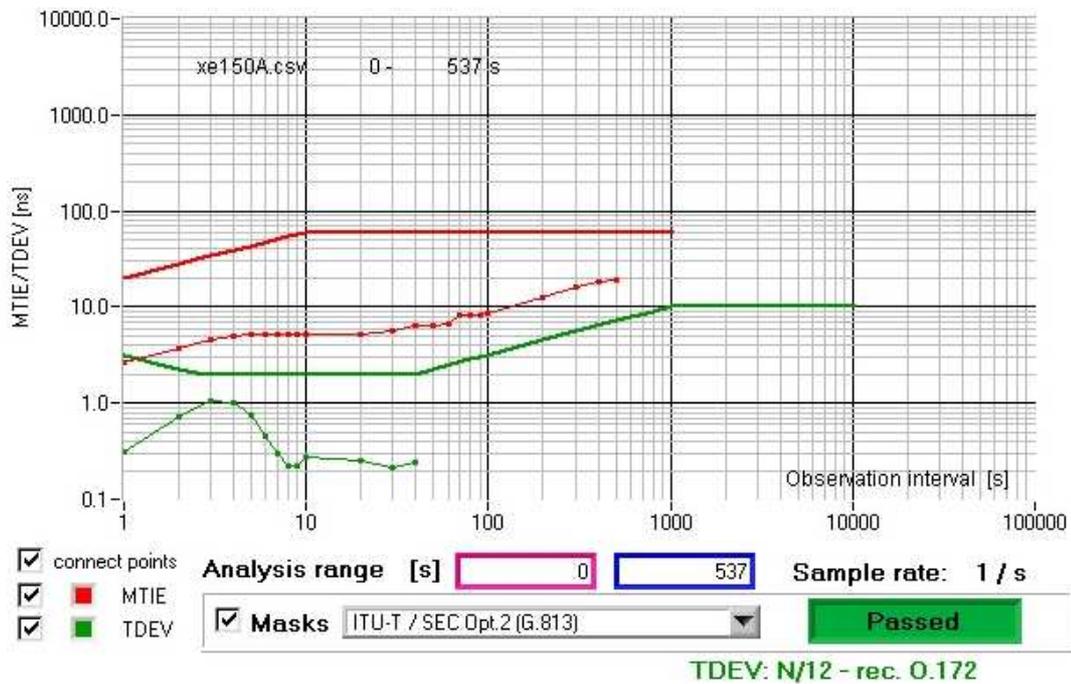
ANT-20 - O.172 *Jitter* Generador/Analizador

Inicio de la medición: 04/07/07 16:10:48.0 - Fin de la medición: 04/07/07 16:21:55.0

Referencia de frecuencia: 10000 kHz ; Señal Digital 2048kb/s; Muestras por segundo:1;

*Drift* de frecuencia  $-3.3 \times 10^{-8}$  ppm/s.; *offset* de Frecuencia  $-2.6 \times 10^{-6}$  ppm.

**Figura 37. Evaluación del reloj del elemento de red xe150A, toma la referencia externa proveniente del equipo distribuidor de sincronismo**

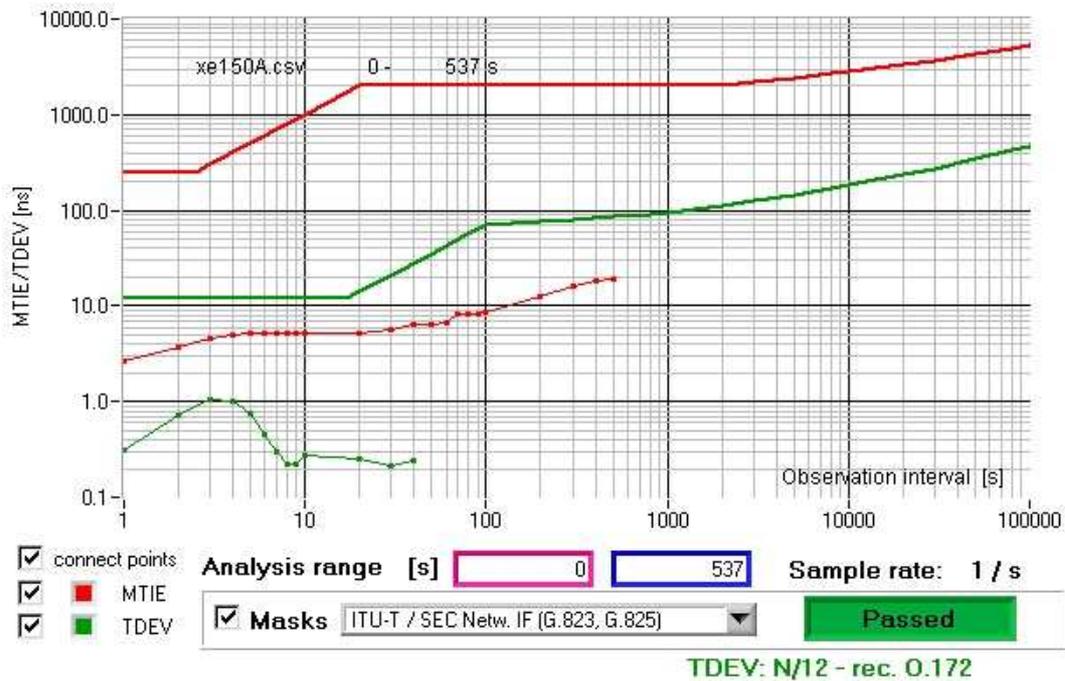


Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobre pasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.813, indica que el reloj del NE esta subordinado al reloj de referencia externa que recibe en este caso es el EDS.

**Figura 38. Requerimiento de estabilidad para el elemento de red xe150A**



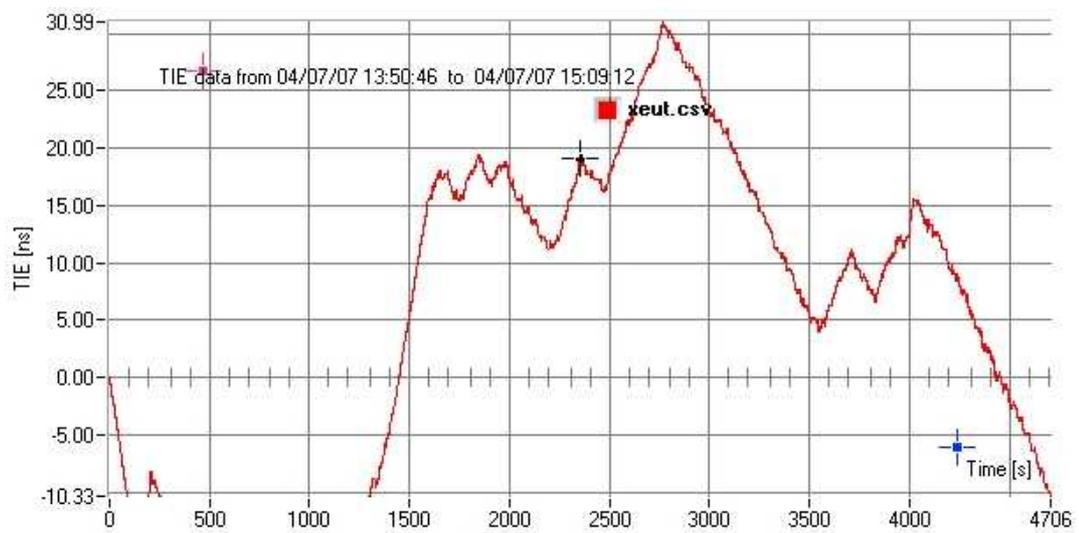
Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobre pasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.823, G.825, indica que las señal de reloj que entrega el NE esta dentro de los limites establecidos.

### 5.6.1.3. Elemento de red central conmutación xeUt

Figura 39. Desviación en tiempo de la señal del elemento de red xeut



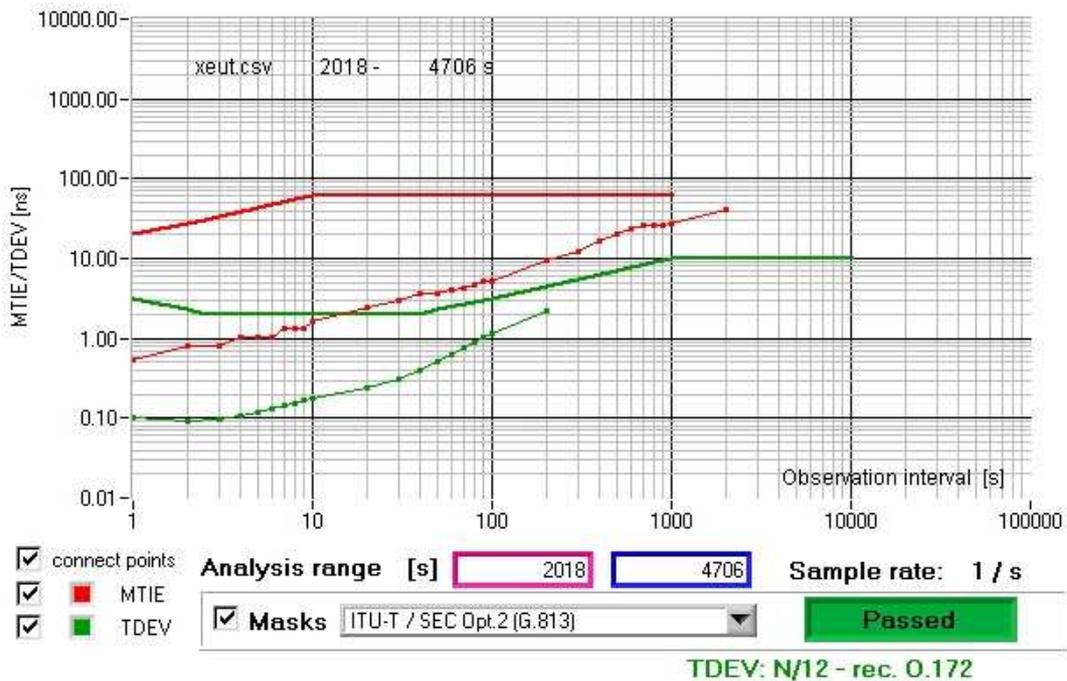
ANT-20 - O.172 *Jitter* Generador/Analizador

Inicio de la medición: 04/07/07 13:50:46.0 - Fin de la medición: 04/07/07 15:09:12.0

Referencia de frecuencia: 10000 kHz; Señal Digital 2048kb/s; Muestras por segundo: 1;

*Drift* de frecuencia  $-1.1 \times 10^{-8}$  ppm/s.; *offset* de Frecuencia  $-5.8 \times 10^{-6}$  ppm.

**Figura 40. Evaluación del reloj del elemento de red xeut, toma la referencia externa proveniente del equipo distribuidor de sincronismo**

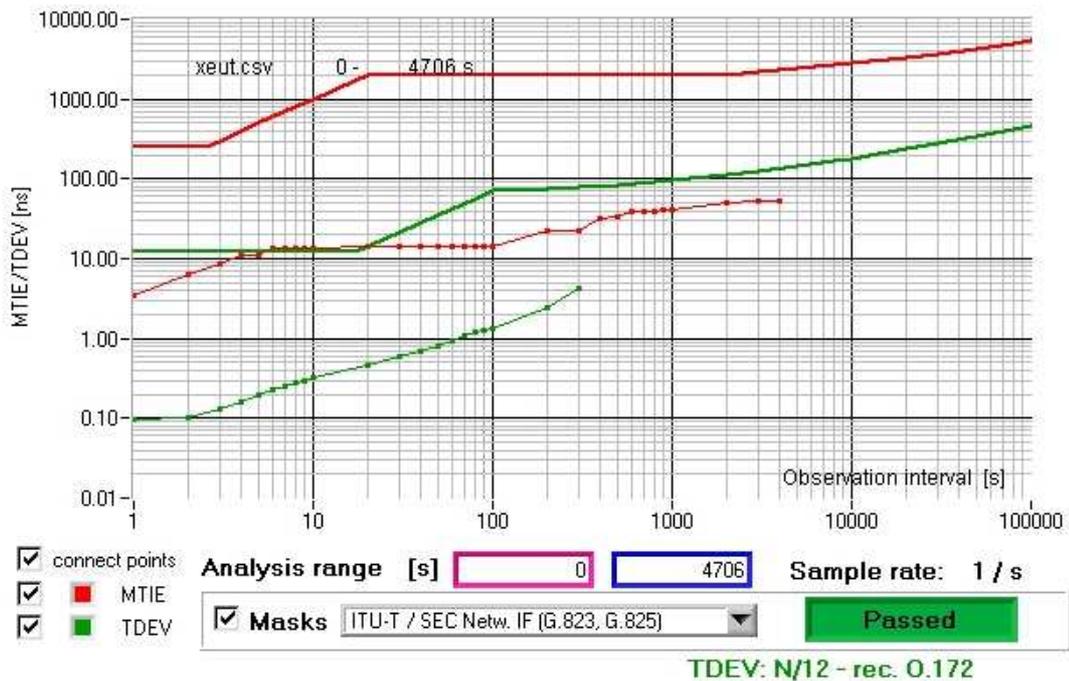


Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobre pasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.813, indica que el reloj del NE esta subordinado al reloj de referencia externa que recibe en este caso es el EDS.

Figura 41. Requerimiento de estabilidad para el elemento de red xeut



Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobre pasa la máscara establecida por la norma.

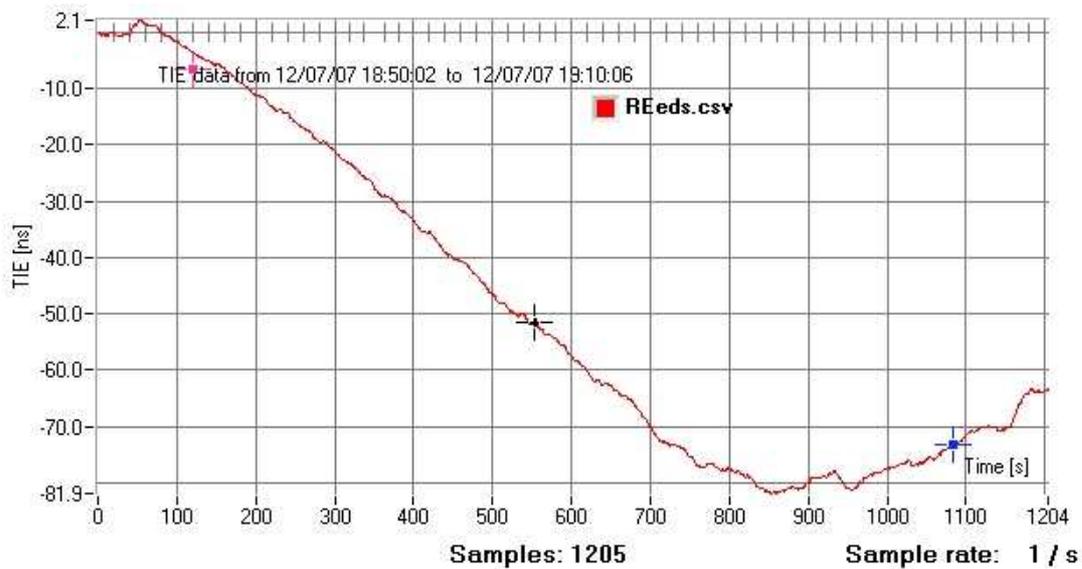
Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.823, G.825, indica que las señal de reloj que entrega el EN esta dentro de los limites establecidos.

## 5.6.2. Retalhuleu evaluación y diagnóstico

### 5.6.2.1. Equipo distribuidor de sincronismo REeds

Figura 42. Desviación en tiempo de la señal del distribuidor de sincronismo REeds



ANT-20 - O.172 Jitter Generador/Analizador

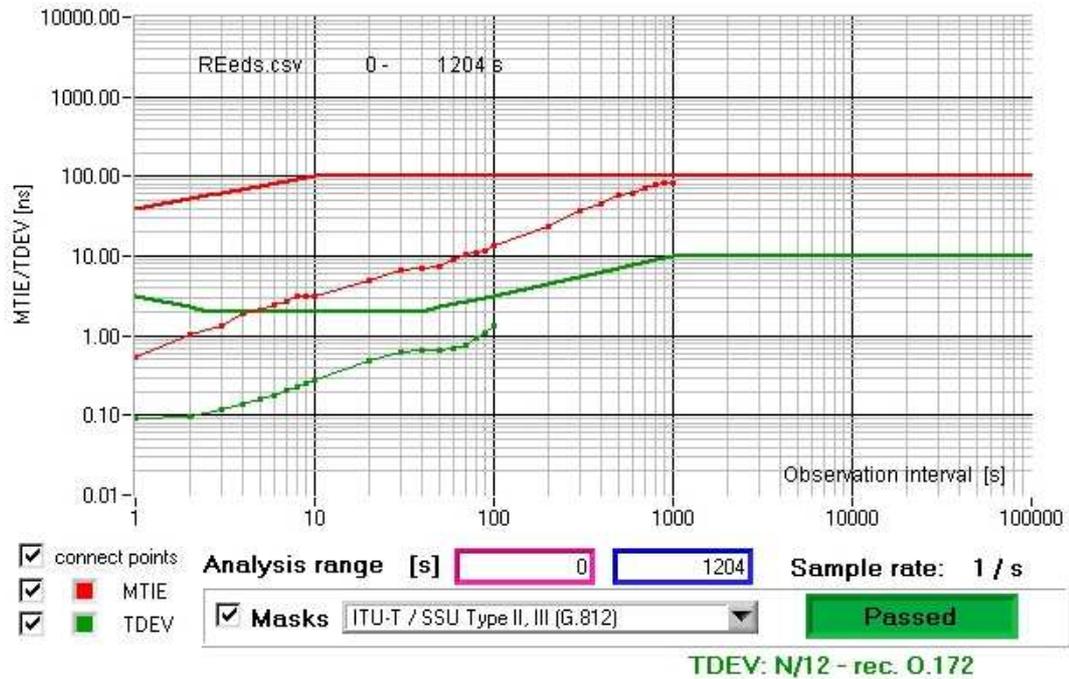
Inicio de la medición: 12/07/07 18:50:02.0- Fin de la medición: 12/07/07 19:10:06.0

Referencia de frecuencia: 10000 kHz; Señal Digital 2048kb/s; Muestras por segundo: 1;

Drift de frecuencia  $1.7 \times 10^{-7}$  ppm/s.; offset de Frecuencia  $-7.6 \times 10^{-5}$  ppm.

Figura 43. Evaluación del reloj propio del distribuidor de sincronismo

### REeds

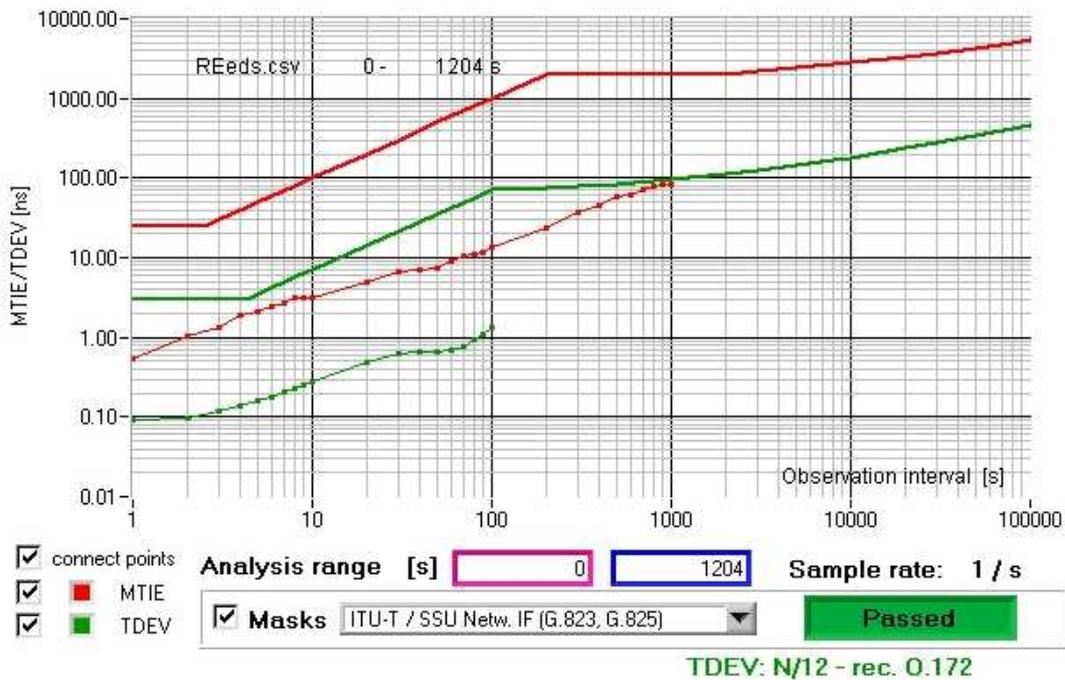


Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobrepasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobrepasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.812, indica que el reloj del EDS esta subordinado al reloj de referencia externa que recibe.

**Figura 44. Requerimiento de estabilidad para el distribuidor de sincronismo REeds**



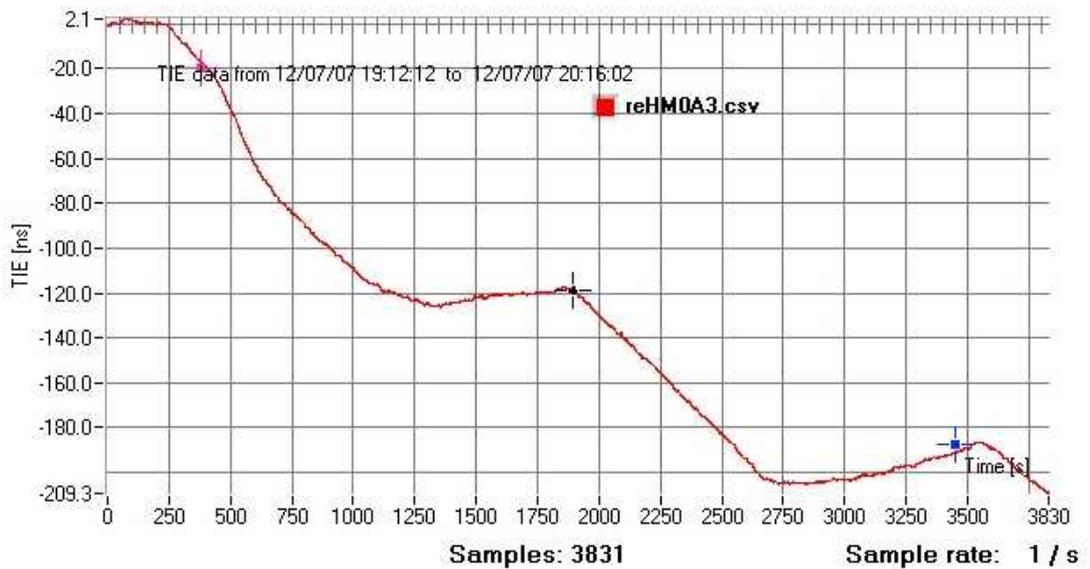
Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobrepasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobrepasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.823, G.825, indica que las señal de reloj que entrega el EDS esta dentro de los limites establecidos. Por lo que los elemento de red esta recibiendo la señal correctamente.

### 5.6.2.2. Elemento de Red NE reHMOA3

Figura 45. Desviación en tiempo de la señal del elemento de red reHMOA3



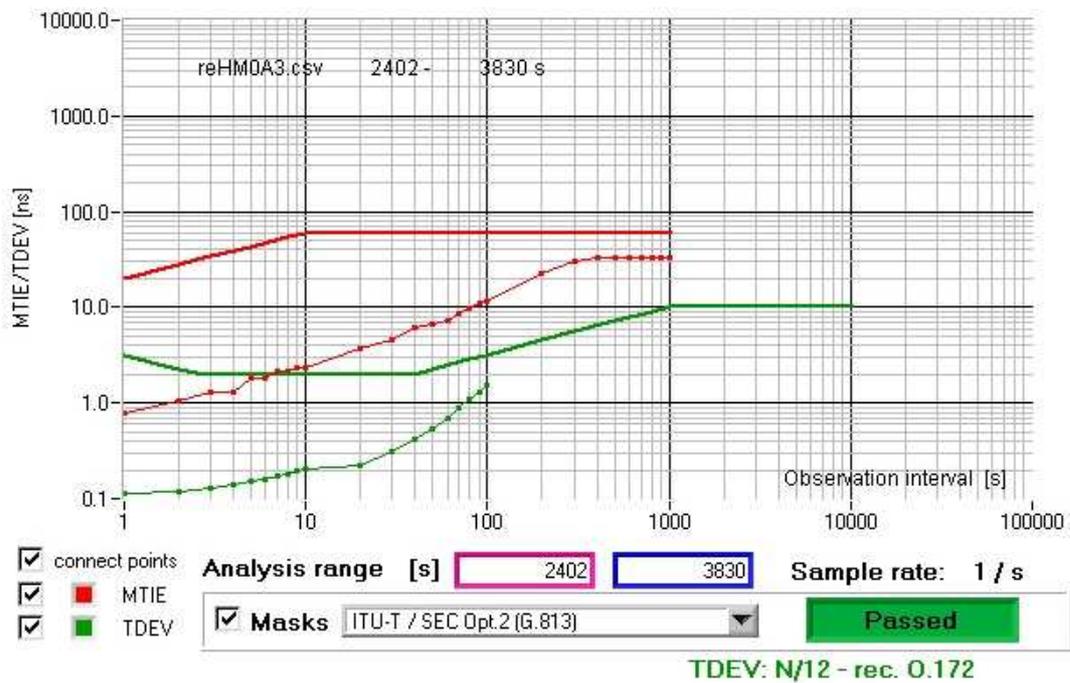
ANT-20 - O.172 Jitter Generador/Analizador

Inicio de la medición: 12/07/07 19:12:12.0- Fin de la medición: 12/07/07 20:16:02.0

Referencia de frecuencia: 10000 kHz ; Señal Digital 2048kb/s; Muestras por segundo:1;

Drift de frecuencia  $3.0 \times 10^{-8}$  ppm/s.; offset de Frecuencia  $-5.4 \times 10^{-5}$  ppm.

**Figura 46. Evaluación del reloj del elemento de red reHMOA3, toma la referencia externa proveniente del equipo distribuidor de sincronismo**

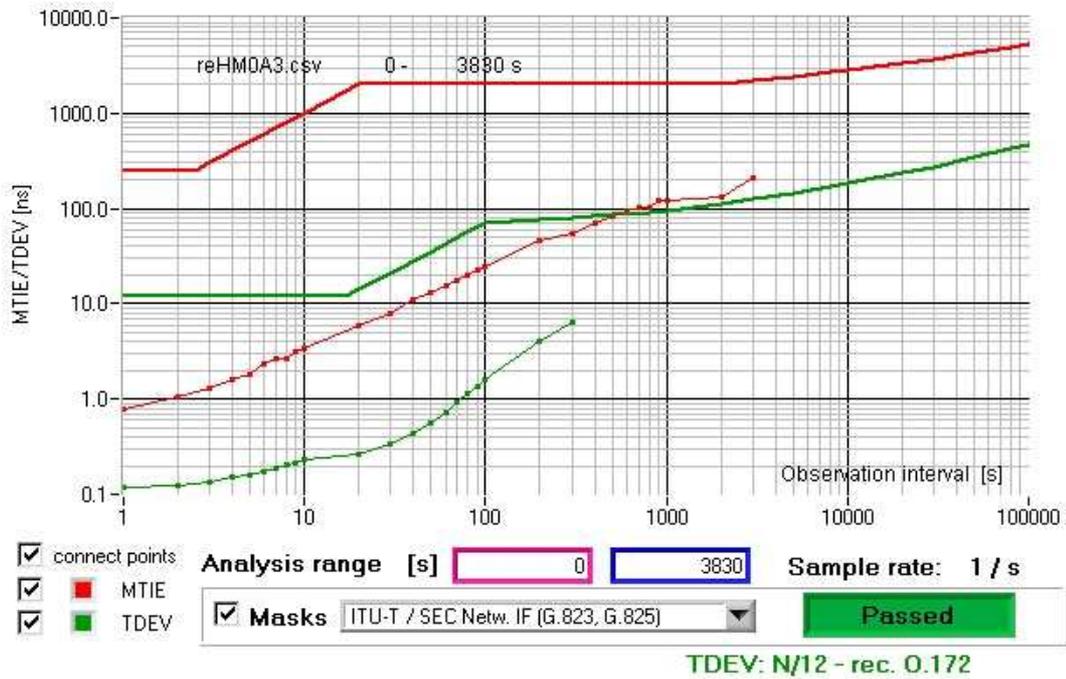


Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobre pasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.813, indica que el reloj del NE esta subordinado al reloj de referencia externa que recibe en este caso es el EDS.

**Figura 47. Requerimiento de estabilidad para el elemento de reHMOA3**



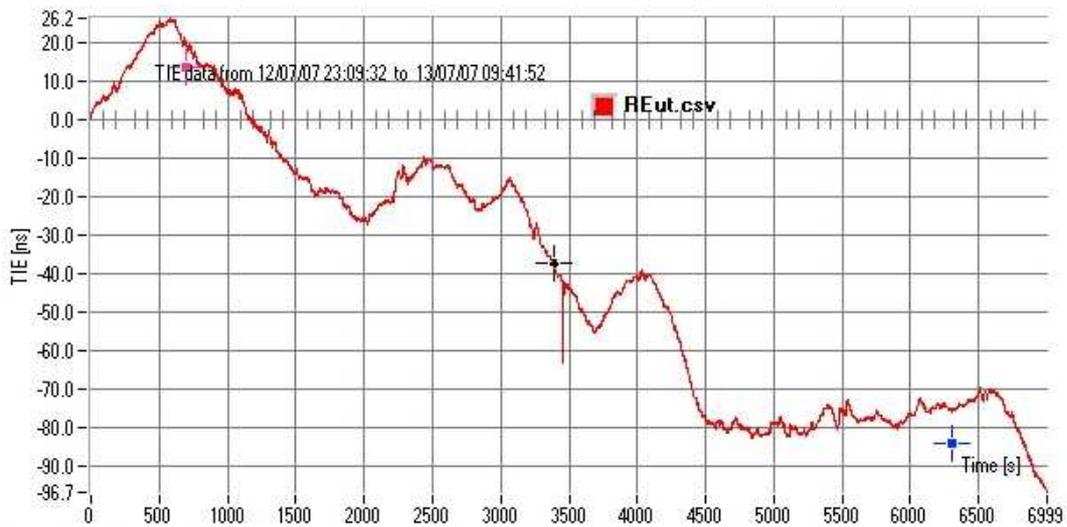
Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobre pasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.823, G.825, indica que las señal de reloj que entrega el EN esta dentro de los limites establecidos.

### 5.6.2.3. Elemento de red central de conmutación REut

Figura 48. Desviación en tiempo de la señal del elemento de red REut



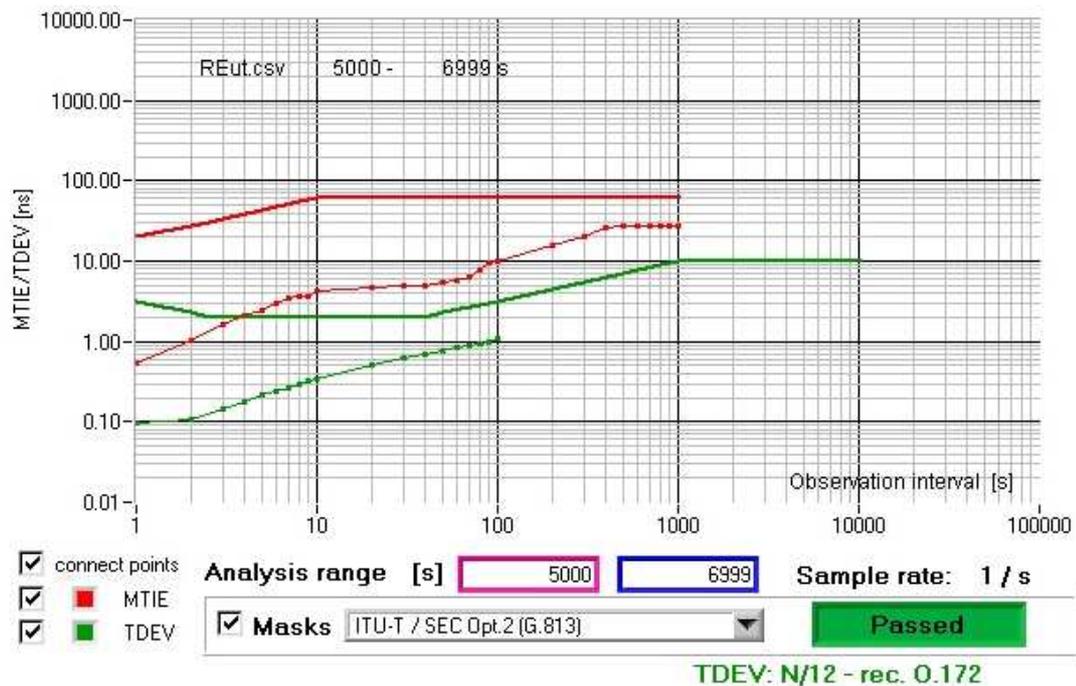
ANT-20 - O.172 Jitter Generador/Analizador

Inicio de la medición: 12/07/07 23:09:32.0 - Fin de la medición: 0413/07/07 09:41:52.0

Referencia de frecuencia: 10000 kHz; Señal Digital 2048kb/s; Muestras por segundo:1;

Drift de frecuencia  $1.9 \times 10^{-8}$  ppm/s.; offset de Frecuencia  $-5.4 \times 10^{-5}$  ppm.

**Figura 49. Evaluación del reloj del elemento de red REut, toma la referencia externa proveniente del equipo distribuidor de sincronismo**

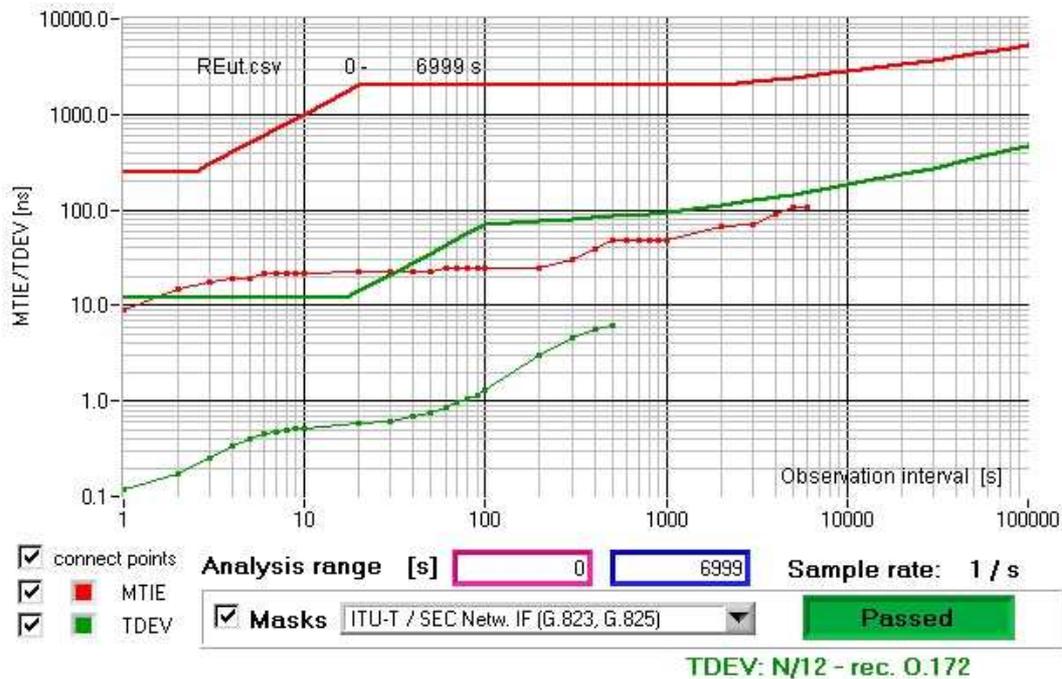


Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobre pasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.813, indica que el reloj del NE esta subordinado al reloj de referencia externa que recibe en este caso es el EDS.

**Figura 50. Requerimiento de estabilidad para el elemento de red REut**



Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobre pasa la máscara establecida por la norma.

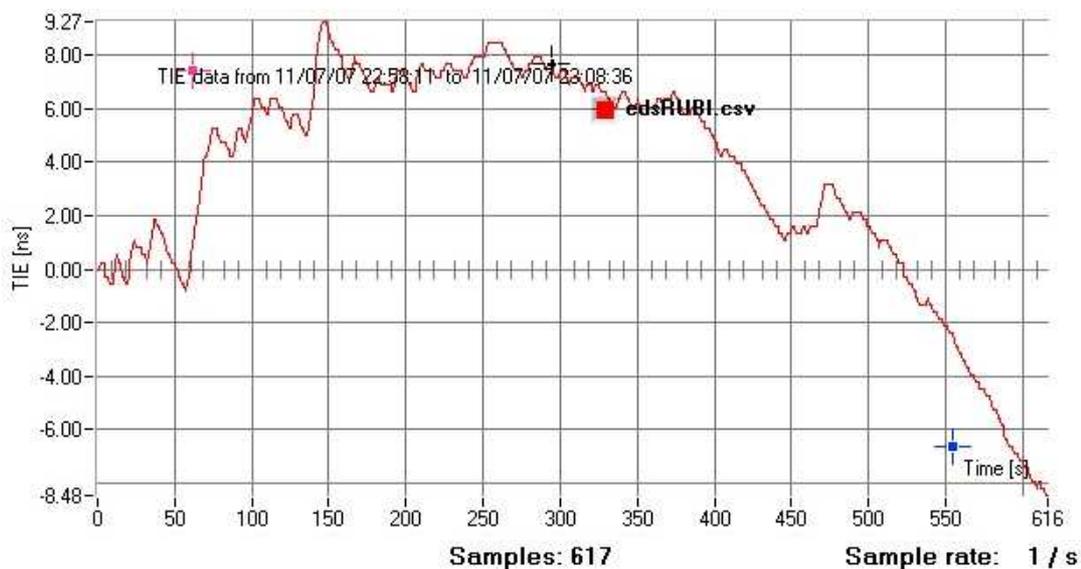
Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.823, G.825, indica que las señal de reloj que entrega el EN esta dentro de los limites establecidos.

### 5.6.3. Escuintla evaluación y diagnóstico

#### 5.6.3.1. Equipo distribuidor de sincronismo edsRUB

**Figura 51. Desviación en tiempo de la señal del distribuidor de sincronismo edsRUB**



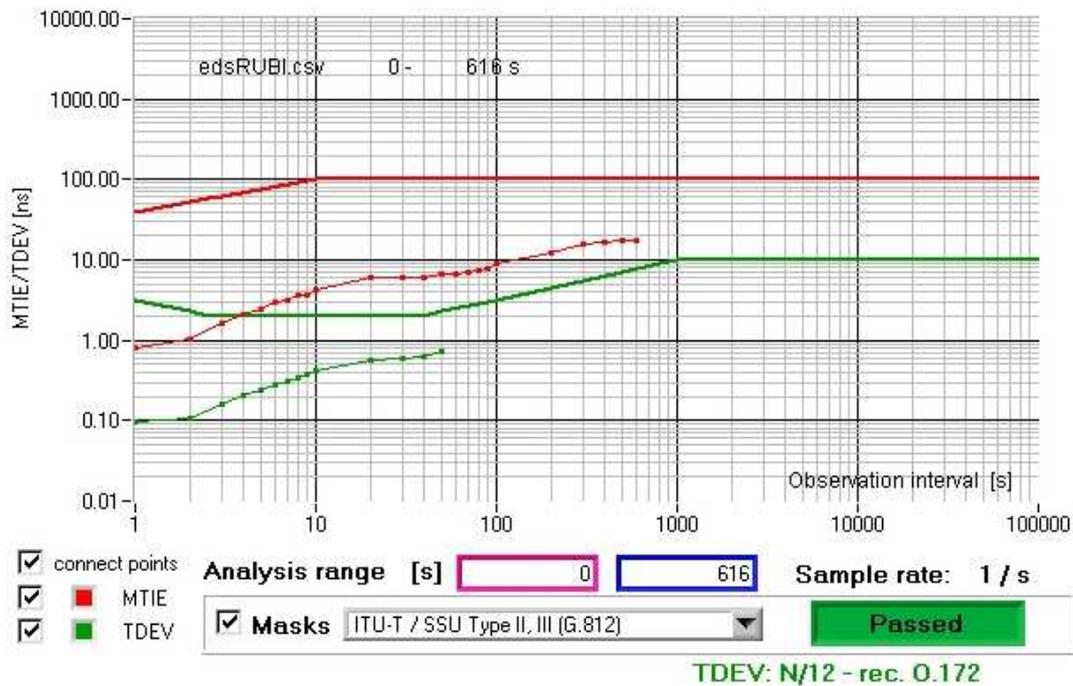
ANT-20 - O.172 *Jitter* Generador/Analizador

Inicio de la medición: 11/07/07 22:58:11.0 - Fin de la medición: 11/07/07 23:08:36.0

Referencia de frecuencia: 10000 kHz; Señal Digital 2048kb/s; Muestras por segundo: 1;

*Drift* de frecuencia  $-2.5 \times 10^{-7}$  ppm/s; *offset* de Frecuencia  $-1.2 \times 10^{-5}$  ppm.

**Figura 52. Evaluación del reloj propio del distribuidor de sincronismo edsRUBI**

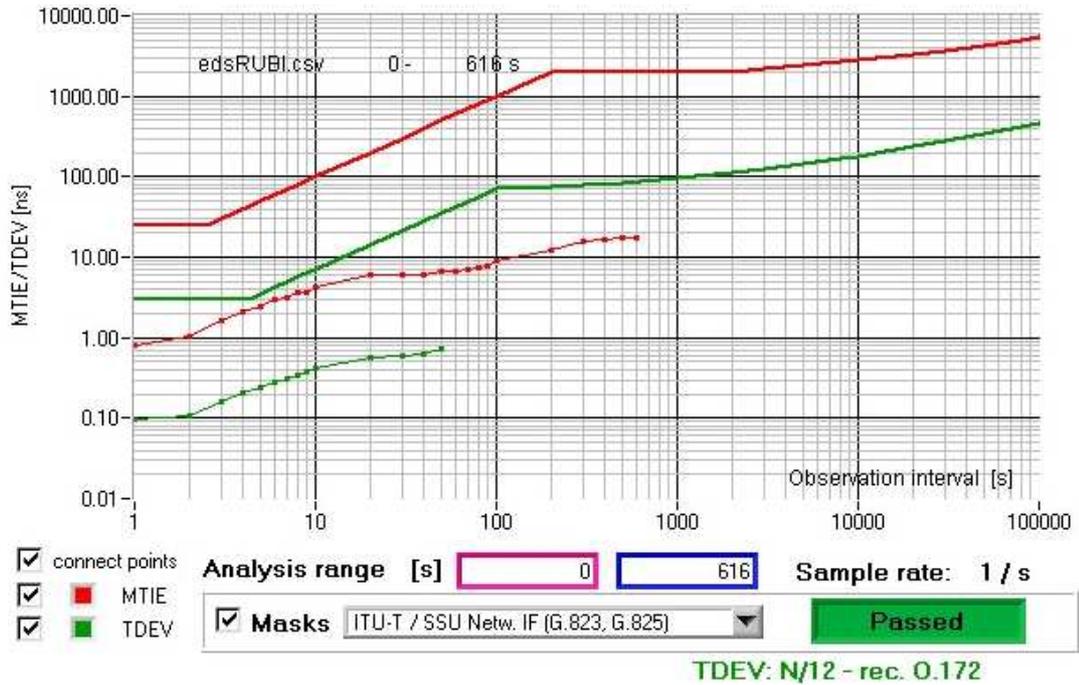


Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobrepasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobrepasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.812, indica que el reloj del EDS esta subordinado al reloj de referencia externa que recibe.

**Figura 53. Requerimiento de estabilidad para el distribuidor de sincronismo edsRUBI**



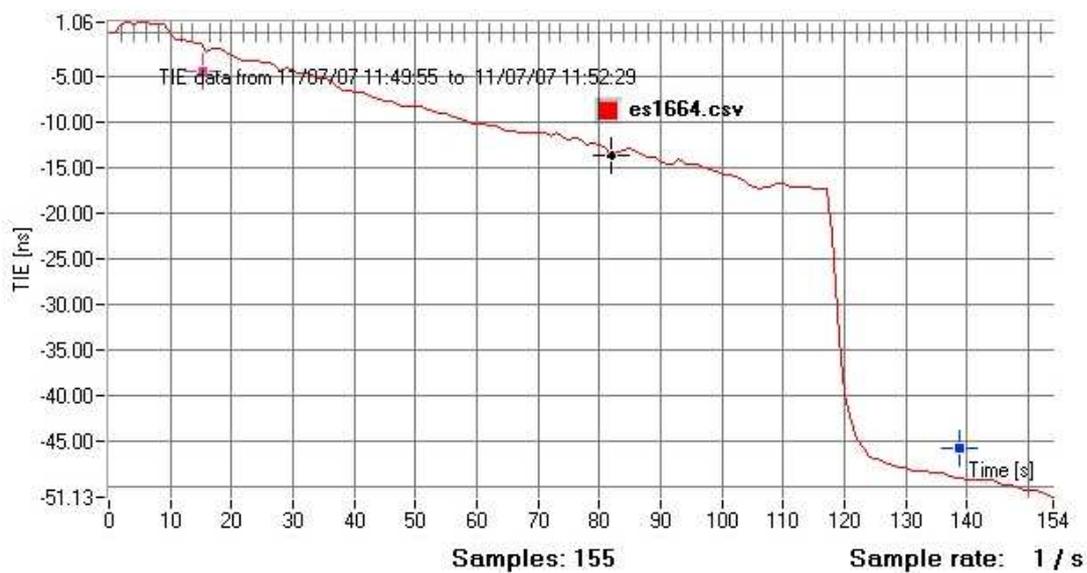
Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobrepasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobrepasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.823, G.825, indica que las señal de reloj que entrega el EDS esta dentro de los limites establecidos. Por lo que los elemento de red estan recibiendo la señal correctamente.

### 5.6.3.2. Elemento de red NE es1664

Figura 54. Desviación en tiempo de la señal del elemento de red es1664



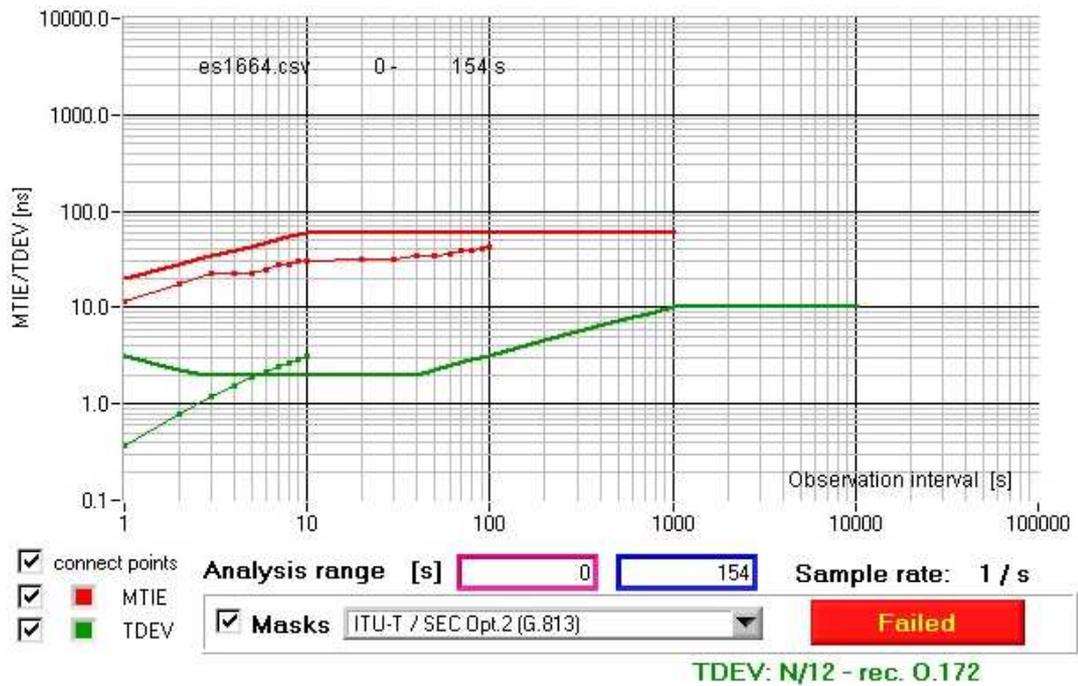
ANT-20 - O.172 *Jitter* Generador/Analizador

Inicio de la medición: 11/07/07 11:49:55.0- Fin de la medición: 11/07/07 11:52:29.0

Referencia de frecuencia: 10000 kHz; Señal Digital 2048kb/s; Muestras por segundo:1;

*Drift* de frecuencia  $-6.1 \times 10^{-6}$  ppm/s.; *offset* de Frecuencia  $-3.5 \times 10^{-4}$  ppm.

**Figura 55. Evaluación del reloj del elemento de red es1664, toma la referencia externa proveniente del equipo distribuidor de sincronismo**

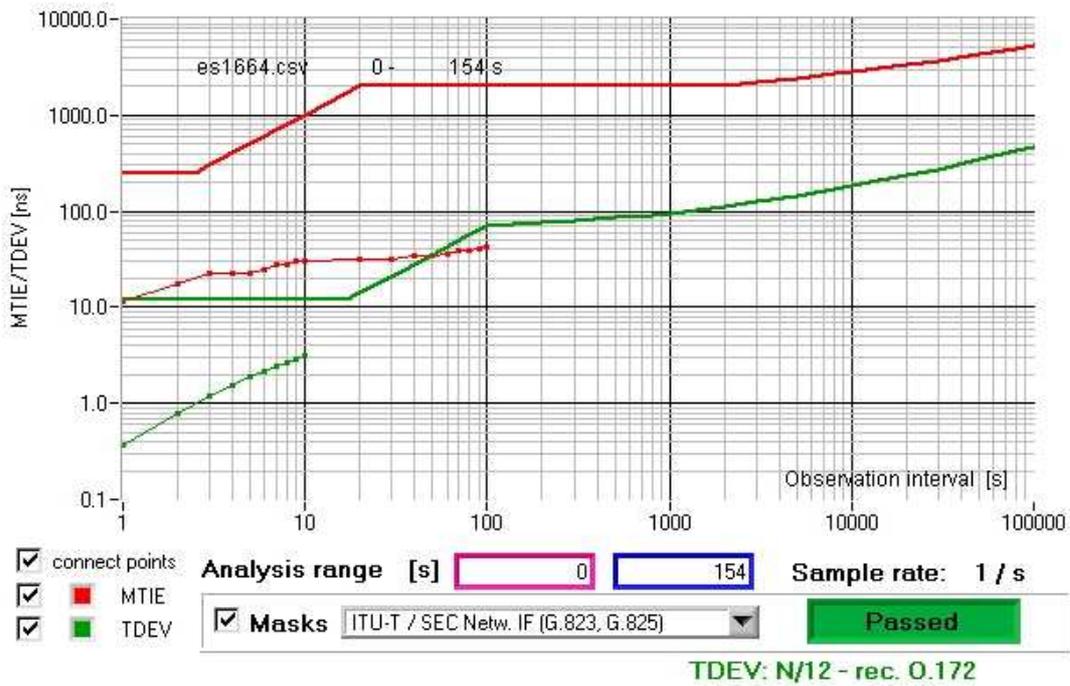


Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobre pasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, si sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.813, indica que el reloj del NE no esta subordinado al reloj de referencia externa que recibe en este caso es el EDS.

**Figura 56. Requerimiento de estabilidad para el elemento de red es1664**



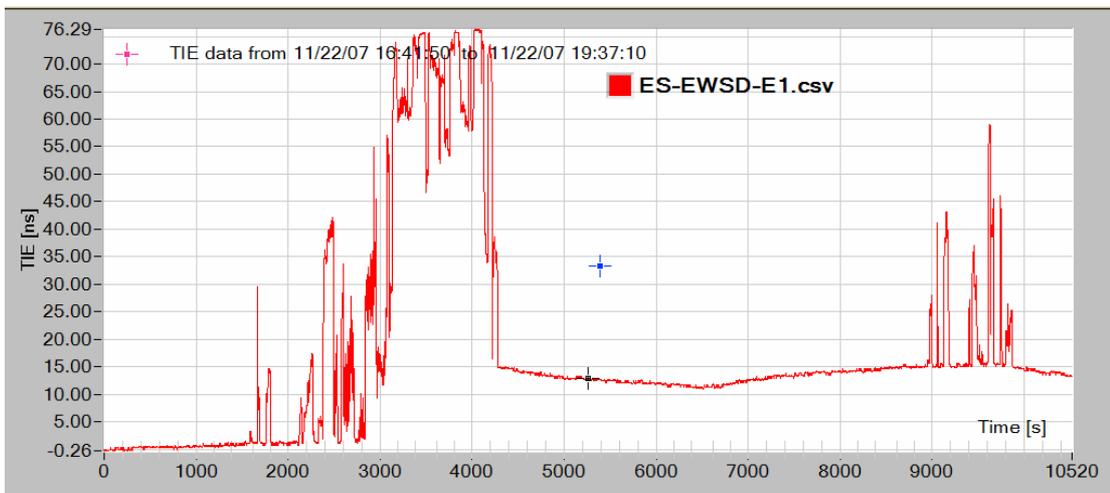
Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobre pasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.823, G.825, indica que las señal de reloj que entrega el EN esta dentro de los limites establecidos.

### 5.6.3.3. Elemento de red central de conmutación EWSD

**Figura 57. Desviación en tiempo de la señal del elemento de red ES-EWSD-E1**



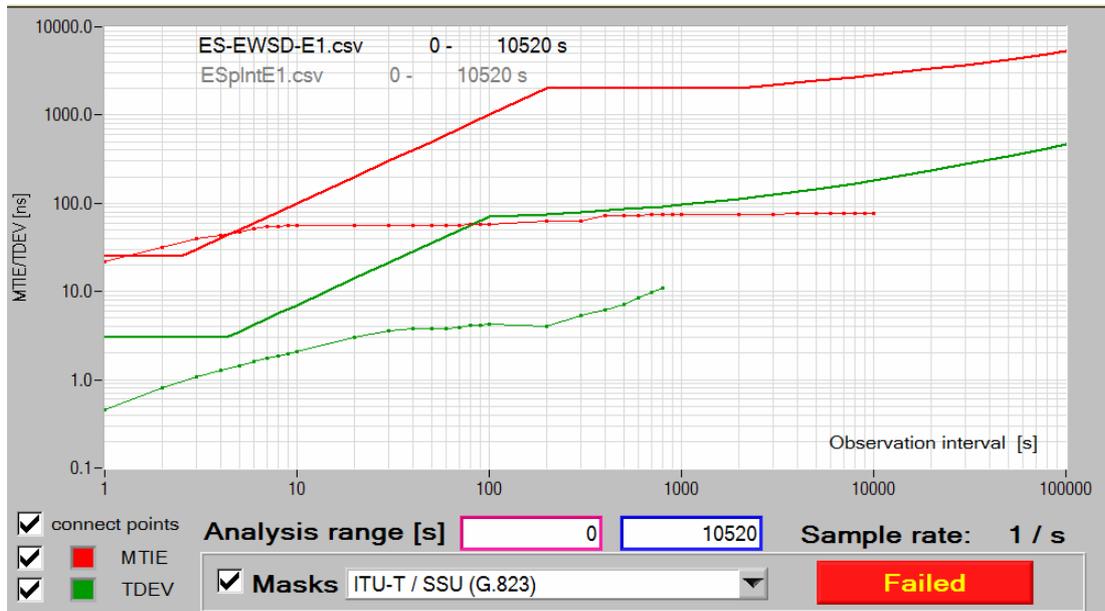
ANT-20 - O.172 *Jitter* Generador/Analizador

Inicio de la medición: 22/11/07 16:41:50.0 - Fin de la medición: 22/11/07 19:37:10.0

Referencia de frecuencia: 10000 kHz ; Señal Digital 2048kb/s; Muestras por segundo:1;

*Drift* de frecuencia  $-1.6 \times 10^{-9}$  ppm/s.; *offset* de Frecuencia  $-4.6 \times 10^{-7}$  ppm.

**Figura 58. Requerimiento de estabilidad para el elemento de red ES-EWSD-E1**



Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, si sobre pasa la máscara establecida por la norma.

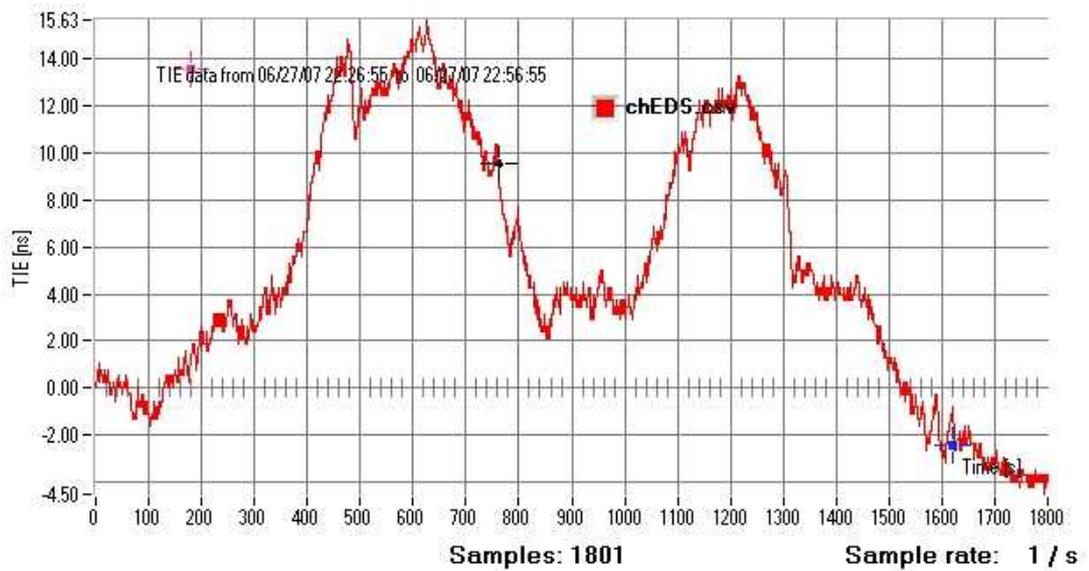
Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.823, indica que las señal de reloj que entrega el EN no esta dentro de los limites establecidos.

## 5.6.4. Chimaltenango evaluación y diagnóstico

### 5.6.4.1. Equipo distribuidor de sincronismo chEDS

**Figura 59. Desviación en tiempo de la señal del distribuidor de sincronismo chEDS**



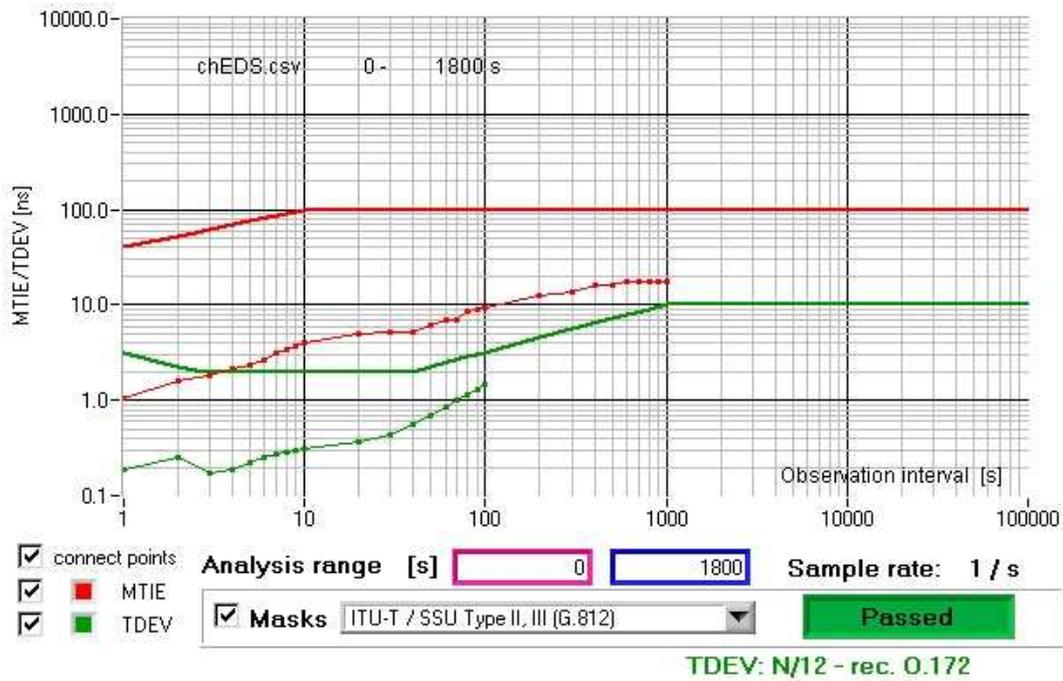
ANT-20 - O.172 *Jitter* Generador/Analizador

Inicio de la medición: 06/27/07 22:26:55.0 - Fin de la medición: 06/27/07 22:56:55.0

Referencia de frecuencia: 10000 kHz ; Señal Digital 2048kb/s; Muestras por segundo:1;

*Drift* de frecuencia  $-3.3 \times 10^{-8}$  ppm/s.; *offset* de Frecuencia  $-2.6 \times 10^{-6}$  ppm.

**Figura 60. Evaluación del reloj propio del distribuidor de sincronismo chEDS**

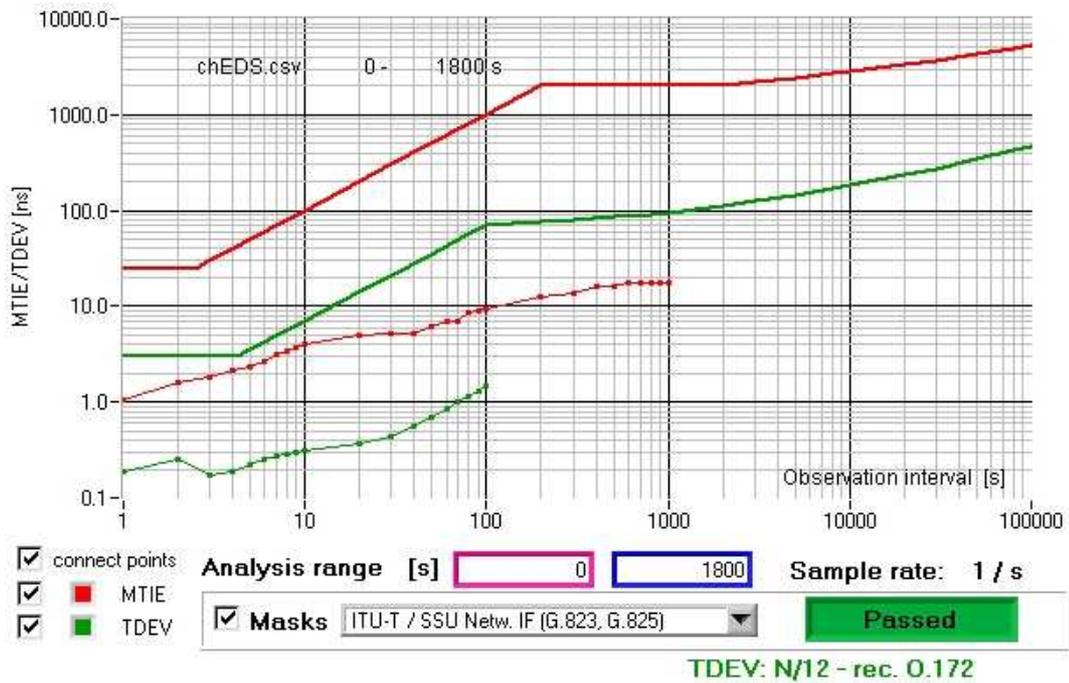


Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobrepasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobrepasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.812, indica que el reloj del EDS esta subordinado al reloj de referencia externa que recibe.

**Figura 61. Requerimiento de estabilidad para el distribuidor de sincronismo chEDS**



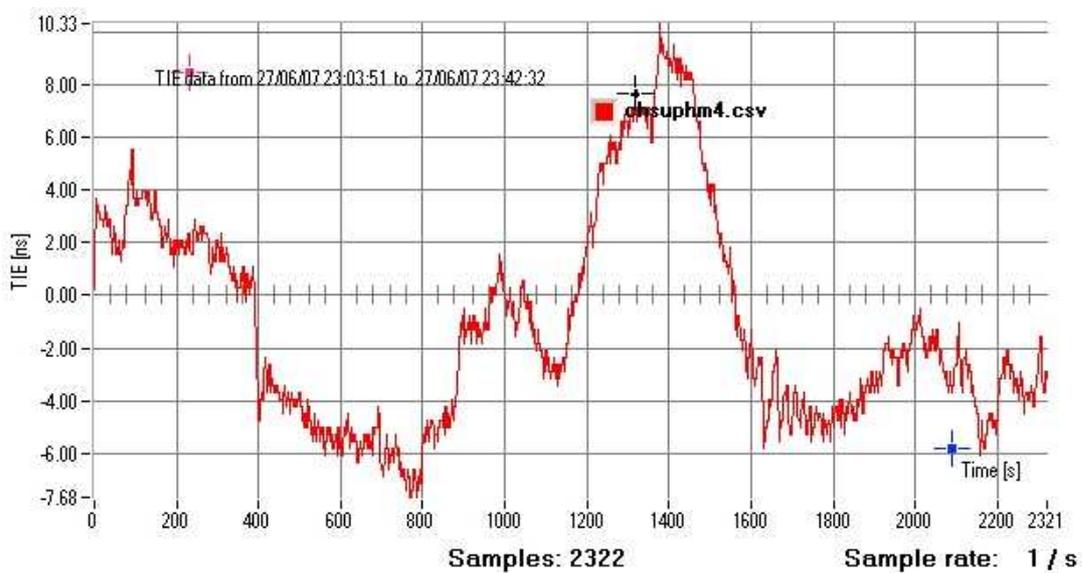
Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobrepasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.823, G.825, indica que las señal de reloj que entrega el EDS esta dentro de los limites establecidos. Por lo que los elemento de red esta recibiendo la señal correctamente.

### 5.6.4.2. Elemento de red chsuphm4.

Figura 62. Desviación en tiempo de la señal del elemento de red chsuphm4



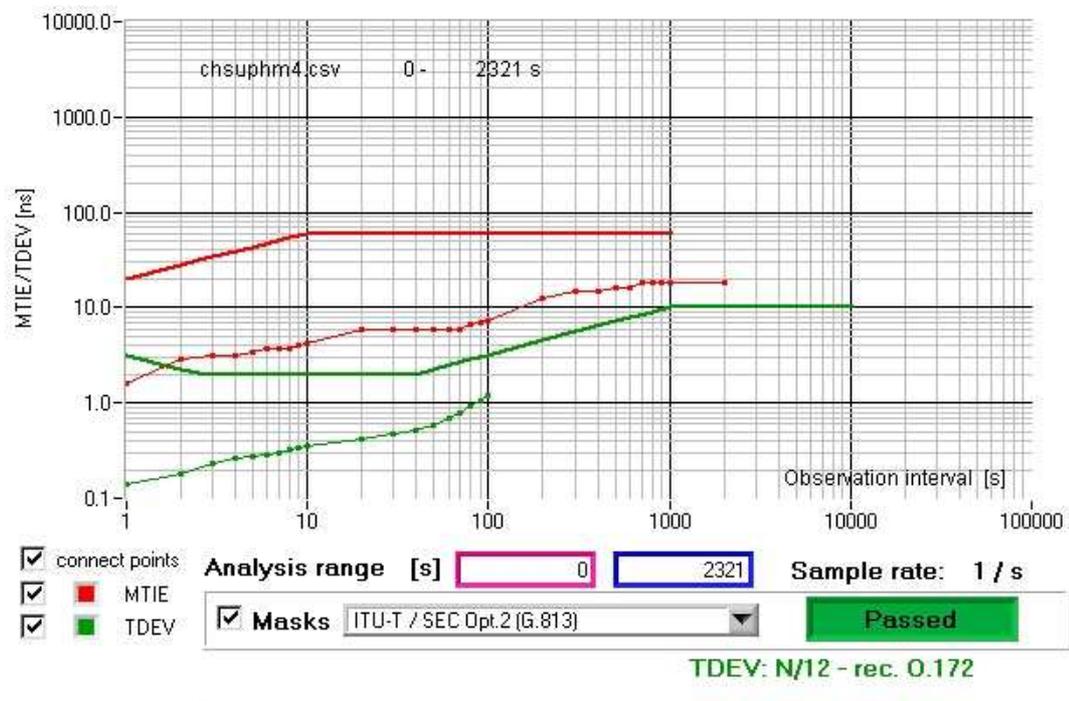
ANT-20 - O.172 *Jitter* Generador/Analizador

Inicio de la medición: 27/06/07 23:03:51.0 - Fin de la medición: 27/06/07 23:42:32.0

Referencia de frecuencia: 10000 kHz ; Señal Digital 2048kb/s; Muestras por segundo:1;

*Drift* de frecuencia  $-1.1 \times 10^{-6}$  ppm/s.; *offset* de Frecuencia  $-1.4 \times 10^{-6}$  ppm.

**Figura 63. Evaluación del reloj del elemento de red chsuphm4, toma la referencia externa proveniente del equipo distribuidor de sincronismo**

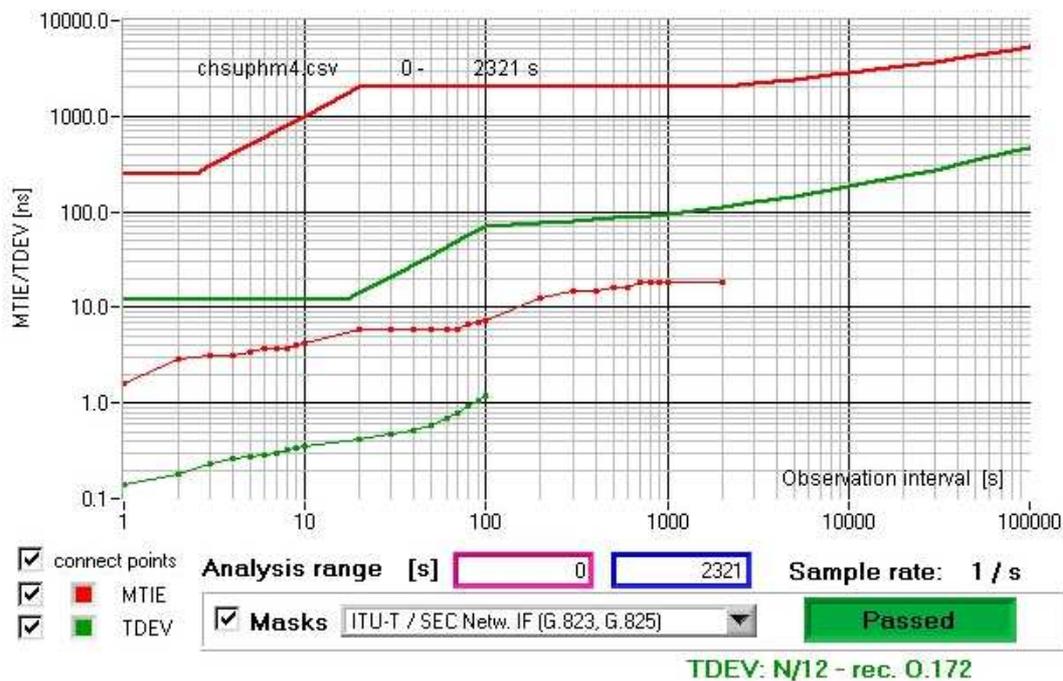


Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobre pasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del *wander* permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.813, indica que el reloj del NE esta subordinado al reloj de referencia externa que recibe en este caso es el EDS.

**Figura 64. Requerimiento de estabilidad para el elemento de red chsuphm4**



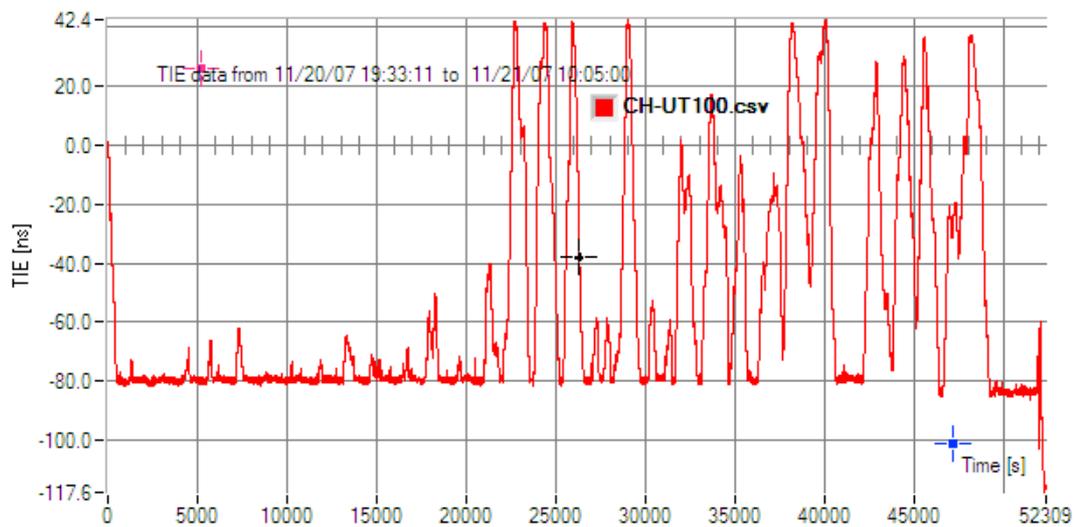
Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobre pasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del wander permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.823, G.825, indica que las señal de reloj que entrega el EN esta dentro de los limites establecidos.

### 5.6.4.3. Elemento de red central de conmutación CH-UT100.

**Figura 65. Desviación en tiempo de la señal del elemento de red CH-UT100**



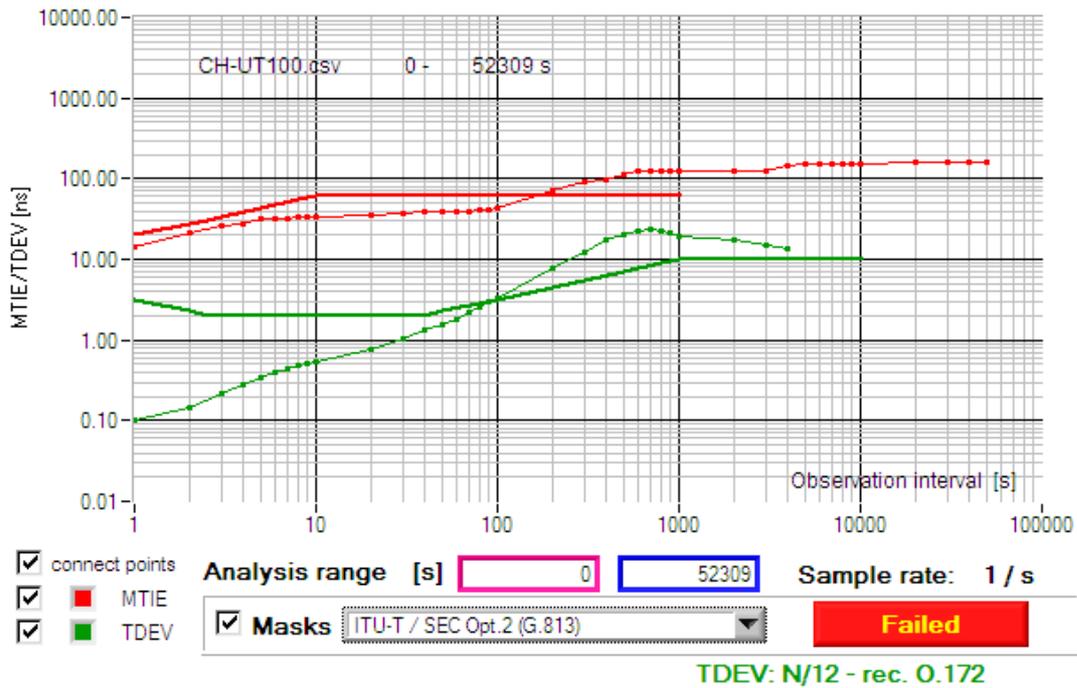
ANT-20 - O.172 *Jitter* Generador/Analizador

Inicio de la medición: 20/11/07 19:33:11.0 - Fin de la medición: 21/11/07 10:05:00.0

Referencia de frecuencia: 10000 kHz ; Señal Digital 2048kb/s; Muestras por segundo:1;

*Drift* de frecuencia  $-6.4 \times 10^{-11}$  ppm/s.; *offset* de Frecuencia  $-9.6 \times 10^{-7}$  ppm.

**Figura 66. Evaluación del reloj del elemento de red CH-UT100, toma la referencia externa proveniente del Equipo Distribuidor de Sincronismo**

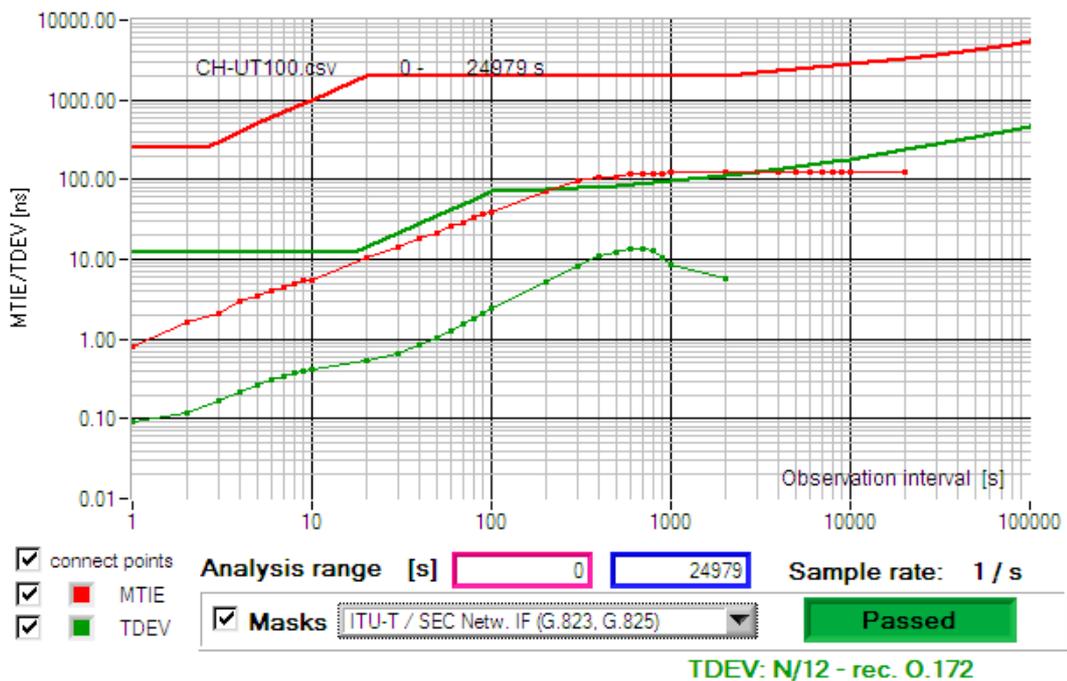


Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, si sobre pasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, si sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del wander permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.813, indica que el reloj del NE no esta subordinado al reloj de referencia externa que recibe en este caso es el EDS.

**Figura 67. Requerimiento de estabilidad para el elemento de red chut**



Para el MTIE, Máximo Error en el Intervalo del Tiempo, que es una medida del ruido relativo, no sobre pasa la máscara establecida por la norma.

Para el TDEV, Desviación Temporal, que es una medida de la desviación del valor de la frecuencia del reloj respecto a la referencia, no sobre pasa la máscara establecida por la norma. (Contenido espectral del wander permitido)

De acuerdo a lo establecido en la normas G.823, G.825, indica que las señal de reloj que entrega el EN esta dentro de los limites establecidos.



## **6 REALIZACIÓN Y DOCUMENTACIÓN DEL PLAN DE OPTIMIZACIÓN DE LA SINCRONIZACIÓN DE LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES**

Se inicia la realización del plan de optimización de la sincronización de las redes de telecomunicaciones, con la ingeniería de la red de la sincronización que consiste básicamente en:

### **6.1. Definición de las fases de la ingeniería de red**

#### **6.1.1. Definición**

Se evaluó la red en base a mediciones y se definió los requerimientos de sincronización, para la realización de este trabajo tenemos que optimizar los distribuidores de sincronismo EDS, los elementos de red NE, las centrales telefónicas que presentan deslizamientos.

### **6.1.2. Diseño de red**

- De acuerdo a los pasos de diseño,
  - Se determinaron las áreas de optimización de la sincronización
  - Se determinaron la localización de los EDS
  - Se interconectaron los PRC a los EDS y los SEC
  - Se diseño la distribución intranodal

### **6.1.3. Validación del diseño**

Se realizó la validación con la medición de los elementos de la red de sincronismo como lo es EDS y los SEC.

### **6.1.4. Implementación**

Se inicia la implementación de este plan de sincronismo con:

- Optimización de los distribuidores de Sincronismo.
  - Optimización de Tarjeta de Reloj.
    - Cuarzo por Rubidio
  - Optimización de Módulo de Referencia de Entrada.
    - Módulo de 2 entradas por 4 entradas
  - Optimización de Modalidad de Protección de tarjetas de Salida.

### **6.1.5. Mantenimiento**

Se deja el mantenimiento de la red de sincronismo a la parte de operaciones, no sin antes crear el grupo especializado de sincronismo y proveerles de equipo de medición.

### **6.2. Distribución nodal de las fuentes de referencia de reloj en la red.**

En los diferentes lugares en donde se desarrollo la optimización se utilizó la topología en estrella, todos los elementos de red poseen relojes que tienen osciladores de Cuarzo y están situados dentro de la estación se les proporciono temporización del Equipo Distribuidor de Sincronismo que posee, después de la optimización, relojes con osciladores de Rubidio,

### **6.3. Propagación de las señales de reloj en la red, a través del medio de transporte**

En el plan de optimización de sincronismo para la red de telecomunicaciones se considero la optimización de cableados desde distribuidor de sincronismo para los diferentes elementos de red de transporte ADM (STM-1), MUX/DMUX, DXD, WICHS.

Se realizó una distribución redundante en los diferentes elementos de la red de transporte dejando dos cables, que salen de puertos ubicados en tarjetas de salida diferentes del EDS. Todos estos elementos de la red de transporte se encargaran de diseminar el sincronismo para toda la red.

#### **6.4. Temporización de los elementos de red en cada nodo**

Tomando en cuenta los diferentes equipos que componen la red de sincronismo se realizó la Programación de los diferentes parámetros en los elementos de red. A continuación se describen las características:

Se programa el reloj del sistema EDS y la salida del reloj al exterior, esto por separado.

En las entradas del EDS se programa las prioridades, la selección por el voto mayoritario.

En los elementos de red se programa que la selección sea automática en el caso de falla.

Se programa en los elementos de red las distintas prioridades para la operación, indicando en que puerto de entrada va a recibir la señal, la calidad, el tipo de señal si es MHz, Mbit, STM-1, el puerto de la fuente, el puerto de salida.

Se programa la conmutación de fuente de sincronismo debe ser reversible (retorno a fuente primaria).

Se programa el *Byte S1* (identifica la calidad de la fuente de sincronismo extremo del equipo corresponsal) para la reconfiguración en caso de falla.

### **6.5. Sincronización internodal**

En todos los lugares en donde se desarrollo este ejercicio se optimizo los equipos de distribución de sincronismo que realiza las funciones de recuperación, limpieza y composición de una referencia secundaria (conocido como reloj maestro de estación) que tiene como respaldo su propio oscilador.

Esto se logro al optimizar la tarjeta que contiene los osciladores, en esta optimización se cambio el reloj que tiene como oscilador el Cuarzo y se colocaron dos relojes que tienen como osciladores el rubidio.

Entre sitios distintos, garantiza que las centrales transmitan y reciban a la misma velocidad binaria.

## **6.6. Cuanto cuesta la optimización de los elementos de red de Sincronismo**

Para poder conocer el costos de la optimización a continuación el desarrollo matemático elemental para calcular el costo.

Los principales elementos de la red de sincronismo que se consideran para la cuantización son los que a continuación se describen:

- Equipo de distribución de sincronismo (EDS)
- Equipo de medición (ANT-20)
- Equipo utilizado como fuente de tiempo referencia de comparación (RST)
- Equipo de gestión de sincronismo (EGS)
- Profesional de la ingeniería (ING)
- Profesional de consultoría (CON)
- Calibración de las centrales telefónicas
- Los costos totales de inversión para lograr la optimización de la red de sincronismo se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$C_{\text{OPT-RED-SINC}} = C_{\text{OPT-EDS}} * \# \text{EDS} + C_{\text{ANT-20}} * \# \text{ANT-20} + C_{\text{RST}} * \# \text{RST} + C_{\text{EGS}} * \# \text{EGS} + C_{\text{ING}} * \# \text{ING} + C_{\text{CON}} * \# \text{CON}$$

$C_{\text{OPT-RED-SINC}}$	Costo total optimización red de sincronismo
$C_{\text{OPT-EDS}}$	Costo por unidad de optimización de equipo de sincronia
$\# \text{EDS}$	Numero de equipos de sincronia optimizado
$C_{\text{ANT-20}}$	Costo por unidad de optimización de equipo de medición de sincronia ANT-20
$\# \text{ANT-20}$	Número de equipos de medicion ANT-20
$C_{\text{RST}}$	Costo por unidad de optimización equipo utilizado como fuente de tiempo referencia de comparación RST
$\# \text{RST}$	Número de equipos tiempo referencia de comparación RST
$C_{\text{EGS}}$	Costo por unidad de equipo de gestión de sincronismo (EGS)
$\# \text{EGS}$	Numero de equipo de gestión de sincronismo (EGS)
$C_{\text{ING}}$	Costo por hora profesional de la ingeniería (ING)
$\# \text{ING}$	Número de horas de trabajo profesional de la ingeniería (ING)
$C_{\text{CON}}$	Costo por hora profesional profesional de consultoría (CON)
$\# \text{CON}$	Número de horas de trabajo profesional de consultoría (CON)
$C_{\text{CCT}}$	Costo por unidad de central telefónica calibrada
$\# \text{CT}$	Número de centrales telefónicas



## CONCLUSIONES

1. En las ciudades de Quetzaltenango, Retalhuleu, Escuintla y Chimaltenango, se intervino el elemento principal de sincronismo; equipo distribuidor; se optimizaron los módulos de entrada y los relojes, así como los módulos de los puertos de salida. Hoy posee dos tarjetas de entrada para cuatro referencias externas por tarjeta. Su reloj contiene dos osciladores de Rubidio, lo que lo coloca como un equipo de estrato dos (2) y las salidas poseen hoy 16 puertos de salida. La señal de sincronismo de estrato uno (1) llega por medio de la red transporte de los nodos principales que están ubicados en la ciudad de Guatemala.
2. Las mediciones realizadas al evaluar los elementos de red de los nodos de las ciudades de Quetzaltenango, Retalhuleu, no superan los límites permitidos de acuerdo a las normas que recomienda la UIT. Todos los elementos de la red de sincronismo se subordinan y se estabilizan a las señales de reloj que reciben así como los elementos de la red de transporte y los equipos de conmutación.
3. Las mediciones realizadas al evaluar los elementos de red del nodo de la ciudad de Escuintla, no superan los límites permitidos de acuerdo a las normas que recomienda la UIT. Los elementos de la red de sincronismo se subordinan y se estabilizan a las señales de reloj que reciben así como los elementos de la red de transporte. No así el elemento de red los equipos de conmutación ya que este

supera los límites permitidos de acuerdo a las normas que recomienda la UIT.

4. Las mediciones realizadas al evaluar los elementos de red del nodo de la ciudad de Chimaltenango, no superan los límites permitidos de acuerdo a las normas que recomienda la UIT. Los elementos de la red de sincronismo se subordinan y se estabilizan a las señales de reloj que reciben así como los elementos de la red de transporte. No así el elemento de red los equipos de conmutación ya que este supera los límites permitidos de acuerdo a las normas que recomienda la UIT.
5. En las centrales de conmutación se determina que la señal de sincronismo interno que distribuye a las diferentes partes que lo conforma esta fuera de rango. Se calibran las centrales de conmutación de las ciudades de Quetzaltenango, Retalhuleu, Chimaltenango, Escuintla.
6. El tema de la sincronía es desconocido por una gran mayoría de estudiantes, técnicos y profesionales de la ingeniería eléctrica, aun dentro de las empresas de telecomunicaciones así como el público en general.
7. En el ambiente liberalizado de telecomunicaciones que priva en el país, en lo referente a la sincronización de las redes que operan actualmente, no se encuentra legislado por parte de la superintendencia de telecomunicaciones en lo referente a los deslizamientos permitidos en la interconexión entre operadores nacionales.

## RECOMENDACIONES

1. Optimizar el elemento de red principal de sincronismo implementando en los nodos de las ciudades de Quetzaltenango y Retalhuleu, por ser éstos los lugares donde converge los anillos nacionales e internacionales y por la importancia de los sistemas que en él están interconectados se debe incorporar referencias primarias como equipo GPS para tener las referencia de estrato uno (1).
2. En los elementos de red que no se subordinan, deben de realizarse evaluaciones más a detalle, mediciones que duren un poco más de tiempo para poder determinar adecuadamente las causas que hacen que no se subordinen.
3. Desarrollar el plan para la calibración de las centrales telefónicas que están ubicadas en estos lugares en donde se realizó el presente trabajo. Calibrar los relojes con una periodicidad de por lo menos una vez por año.
4. La formación del grupo calificado sobre este tema tanto a nivel de ingenieros en la planificación, mantenimiento, operaciones y en la legislación de este tipo de redes.

5. Crear un plan integral de mediciones para poder establecer como esta operando la red de sincronismo y mantenerla en óptimas condiciones.
  
6. Se debe Certificar las redes de telecomunicaciones con base a los estándares internacionales.
  
7. Promover la legislación que regule y exija el cumplimiento en la cantidad de deslizamientos permitidos entre operadores interconectados para evitar la degradación digital en las comunicaciones a través de la creación de un Plan Técnico Fundamental para nuestro país Guatemala, promovido por la Universidad de San Carlos de Guatemala o la Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala.

## REFERENCIAS

1. AUDOIN Claude, Guinot Bernard, **The Measurement of Time, Time, frequency and the Atomic Clock**, Cambridge, Paris 1933.
2. Inttelgua, **Análisis y Evaluación de Temporización en Redes de Telecomunicaciones**, Editorial Inttelgua, Guatemala ,2007.
3. Inttelgua, **Multiplexores Digitales de Alto Orden (PDH)**, Editorial Inttelgua, Guatemala ,2000.
4. Inttelgua, **Técnicas PCM Primer Orden**, Editorial Inttelgua, Guatemala, 2002.
5. Skoog, West, **et. al.**, **Fundamentos de Química Analítica**, 8va edición, Thomson, México 2005.
6. SYMMETRICOM, **SYNC Professional Development Class**, 82.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BREGNI, STEFANO. **Synchronization of Digital Telecommunication Networks**, Jon Wiley & Sons LTD, USA.
2. CONATEL, SENATEL, **Plan Técnico Fundamental de Sincronización (PTSFI)**, Ecuador, 2006, 16pp.
3. DEGEM SYSTEMS, **Curso DIGICOM Teoría y Practica Moderna de las Comunicaciones Digitales**, 2da Edición, DEGEM SYSTEMS,, 1991,279pp.
4. HEWLETT-PACKARD, **Seminario SDH**, HEWLETT-PACKARD MEXICO, 1995,81pp.
5. J. P. VAN ETTEN, **“El Sistema LORAN C y sus Desarrollo”**, Comunicaciones Eléctricas ,1970.
6. MILLAMAN, J. HALKIAS C., **Electronica Integrada**, 4 ta edición, Hispana Europea, S.A., España, 1981.
7. MORRIS MANO, **Diseño Digital**, Prentice Hall Hispanoamérica S.A., 1988.
8. OSES PUCHKOV, Sergio, **“Estudios Sobre Sistemas de Posicionamiento”**, tesis, Ingeniería Eléctrica, universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, 2005, 104pp.

9. PALLARES, GONZÁLES, et. al., **Sistemas para el Estudio de la Acción Conjunta de los Diversos Tipos de Ruido Sobre la Estabilidad de Osciladores de Presión en Sistemas Eléctricos**, España, 10pp.
10. BOYLESTAD Robert L. , **Análisis Introductorio de Circuitos**. Trillas.1987.
11. SAPAG CHANIN R. J., **Preparación y Evaluación de Proyectos**, 3ª Edición, McGraw-Hill Interamericana, S. A., México, 1997.
12. STREMLER Ferrel G., **Sistemas de Comunicación**, Alfaomega, México, 1989.
13. SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES DE LA REPÚBLICA DE BOLIVIA, SITTEL, **Plan Técnico Fundamental de Sincronización**, Bolivia, 2000, 86pp.
14. SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES, **Ley General de Telecomunicaciones**, Republica de Guatemala 1998.
15. TOCCI, RONALD J., **Sistemas Digitales Principios y Aplicaciones**, 5ta. Edición, México I Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., 1993, 822pp.
16. UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT), **Sector de Normalización de las telecomunicaciones**, 2002; [www.itu/home.com.org](http://www.itu/home.com.org).