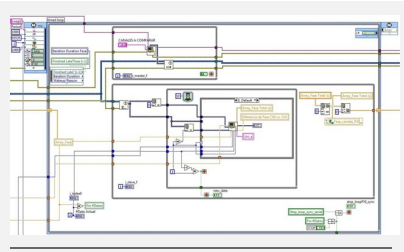


Comparador de Fase de Hasta Ocho Señales de Reloj (frecuencia) Simultáneas



Esquema modular del proceso de adquisición de datos

"Las especificaciones propuestas en el reto han sido completadas satisfactoriamente, con las plataformas de desarrollo NI-PXI y LabVIEW Real-Time Module. "

- Ing. Carlos Andrés Quevedo Fernández, Responsable Laboratorio de Tiempo y Frecuencia

El Reto:

Desarrollar un sistema automático de medición sincronizado a la hora legal colombiana que permita obtener los valores de error, estabilidad e incertidumbre en la calibración de osciladores patrón (señales de frecuencia).

La Solución:

Implementar una aplicación desarrollada en LabVIEW Real-Time haciendo uso de un controlador NI PXI-8195 y un digitalizador NI PXI-5105 de ocho (8) canales a una velocidad de 60 MS/s, en la que se procesen en tiempo real las señales de frecuencia de los osciladores conectados y que permita el cálculo de diferencia de fase (tiempo) con respecto a una señal de referencia (frecuencia patrón).

Autor(es):

Ing. Carlos Andrés Quevedo Fernández - Responsable Laboratorio de Tiempo y Frecuencia

Ing. Liz Catherine Hernández Forero - Profesional de automatización asociada al Laboratorio de Tiempo y Frecuencia

Introducción

El laboratorio de Tiempo y Frecuencia de la División de Metrología de la Superintendencia de Industria y Comercio tiene como funciones mantener, coordinar, dar la hora legal colombiana y prestar servicios de calibración en las magnitudes de tiempo y frecuencia. Actualmente, la primera función se logra por medio de la interacción de un servidor de tiempo comandado por un patrón primario (oscilador de Cesio); por otra parte, el laboratorio cuenta con otro patrón de Cesio y patrones de referencia (osciladores de Rubidio) como respaldo continuo a la difusión de la hora legal y a la prestación de los servicios de calibración en el país. La calibración de equipos de frecuencia (osciladores, contadores, generadores, etc.) es realizada por medio de la medición de intervalos de tiempo (comparación de fase); para tal efecto, se requiere un contador de intervalos de tiempo o comparador de fase que determine la diferencia de fase existente en unidades de tiempo (segundo – s –) entre la señal de frecuencia patrón y la señal de frecuencia a calibrar. De acuerdo con lo anterior se adquirió un controlador NI PXI-8195 y un digitalizador NI PXI-5105 de 8 canales a una velocidad de muestreo de 60 MS/s que permite bajo el software LabVIEW Real-Time Module la comparación de fase de hasta 8 señales de frecuencia entre sí, de forma simultánea y a diferentes intervalos de tiempo, permitiendo determinar de esta forma las tres características primordiales de las fuentes de frecuencia (osciladores): estabilidad, reproducibilidad y error.

Descripción de la Aplicación

Teniendo en cuenta las especificaciones del reto, la aplicación se define bajo tres (3) tareas concretas: la primera es la adquisición simultánea de las señales de frecuencia de los osciladores conectados al digitalizador en tiempo real; la segunda es efectuar dicha adquisición de forma sincronizada con la hora legal colombiana y la tercera consistente inicialmente en el procesamiento de las señales de frecuencia comparadas para obtener la diferencia de fase entre éstas y luego realizar un procesamiento matemático que permite obtener los valores de error y estabilidad en frecuencia de cada una de las señales comparadas, datos que son registrados y presentados en sus correspondientes informes.

Teniendo como partida un controlador embebido PXI como hardware y Real-Time LabVIEW como software, se opta por realizar la programación con base en la estructura denominada "Timed Loop" (ver Fig. 1), ya que ésta estructura permite el desarrollo de una aplicación que se ejecuta en un periodo de tiempo especificado, con capacidad de multitarea, tiempo exacto y retroalimentación en cada ciclo de iteración, entre otros. Lo más relevante radica en el hecho de que este conjunto de hardware y software brinda la posibilidad de diseñar una aplicación caracterizada por constituirse como un sistema determinístico, robusto y compacto cuya aplicación principal opera de forma embebida en el controlador PXI, y la interfaz aplicación – usuario es ejecutada desde un PC con el propósito de monitorear las variables de interés y generar el procesamiento matemático mencionado anteriormente.

La programación para las dos primeras tareas (adquisición de señales de frecuencia y sincronización), se efectúa bajo un esquema de diseño Maestro/Esclavo (ver Fig. 1). Cada tarea se implementa con un diseño Maestro/Esclavo dentro de una estructura Timed Loop independiente. Cabe mencionar que los timed loops se sincronizan en el inicio de la ejecución de la aplicación. La ventaja de programar con una estructura Maestro/Esclavo radica en que inmediatamente después de adquirir las señales de frecuencia y la señal de hora legal, se envía la notificación de iniciar el procesamiento de estos datos, obteniendo la respectiva comparación de fase sincronizada (ver Fig. 2), así como la construcción de las variables compartidas de dicha comparación, que posteriormente se procesan matemáticamente en el PC, determinando las características (error y estabilidad) de los osciladores patrón (ver Fig. 3).

En tiempo real se monitorea el comportamiento de las señales de frecuencia en cuanto a la diferencia de fase con respecto a una señal patrón de referencia, tal y como se visualiza en la Fig. 2, los valores de las variables del panel frontal (#Dato Actual, Diferencia de Fase) se actualizan de forma sincronizada con la actualización de la hora legal (Hora adquisición en el panel frontal). Los datos anteriores se configuran como variables compartidas (Shared Variable), con lo que se saca provecho de esta opción del Modulo de Real-Time Targets dentro de la programación; es así que la comparación de fase y su respectiva estampilla de tiempo se comparten por un lado para ser leídas y escritas entre los VIs del programa embebido, y otra para ser exclusivamente leídas y procesadas por el PC de monitoreo que se encuentra conectado al PXI por medio de Ethernet.

Por otra parte, es importante mencionar que en la comparación de señales de frecuencia provenientes de osciladores patrón los valores de medición que se obtienen con el comparador de fase; comúnmente corresponden a tiempos muy pequeños del orden de nanosegundos (ns) o hasta picosegundos (ps).

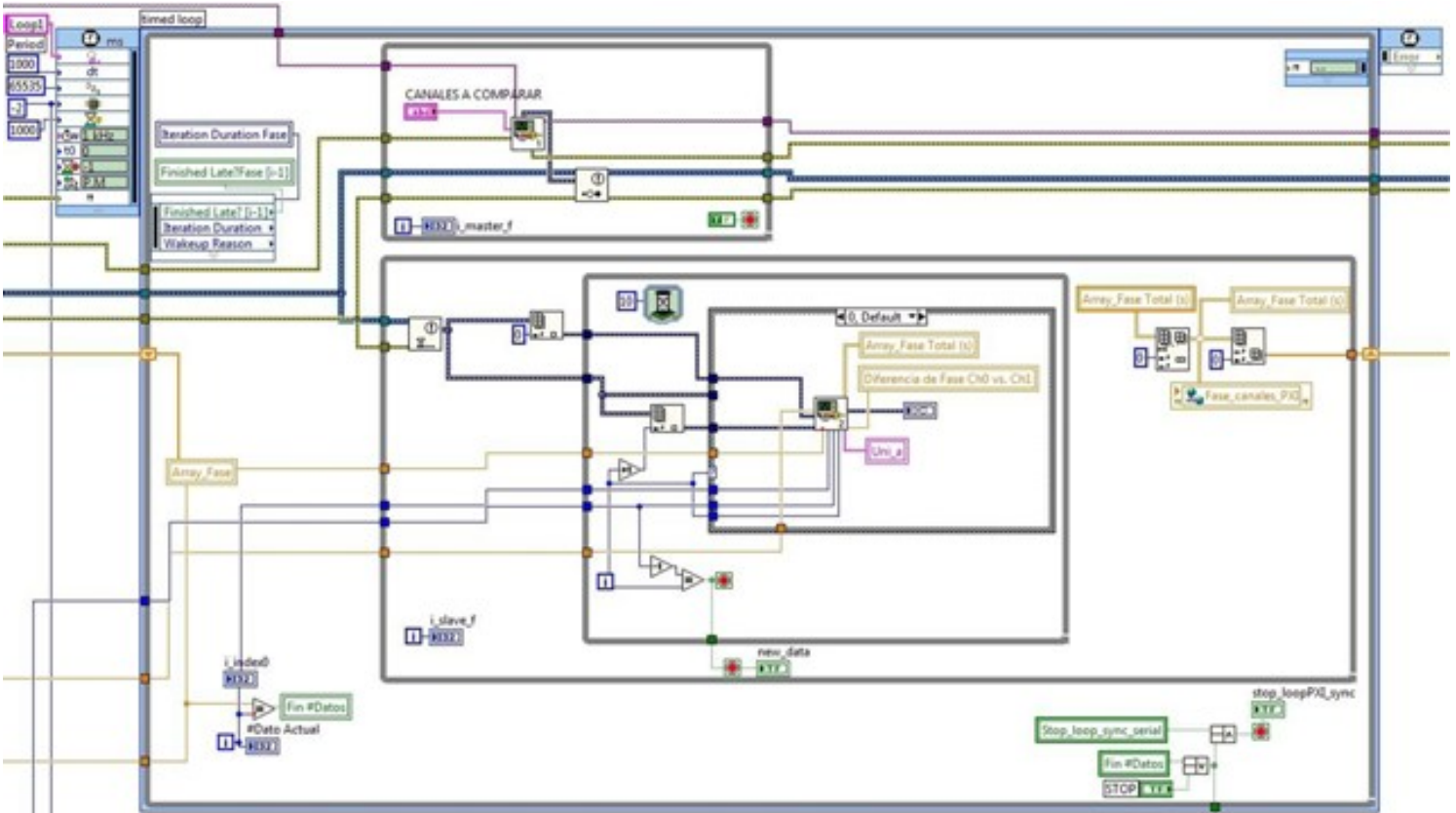
Dentro de las características que se tienen en cuenta en la interfaz con el usuario es la de configurar la hora de inicio de adquisición de datos y el intervalo de tiempo en el que se va a efectuar continuamente dicha adquisición. Finalmente, los valores de error y estabilidad obtenidos son los que se registran en los respectivos informes de calibración.

Conclusión

Las especificaciones propuestas en el reto han sido completadas satisfactoriamente, con las plataformas de desarrollo NI-PXI y LabVIEW Real-Time Module. La programación del comparador de fase simultáneo se ejecuta en tiempo real usando las herramientas, esquemas y estructuras ofrecidas por dichos productos. No obstante, el logro de la aplicación se evidencia en un análisis del alcance de los resultados que se pueden llegar a obtener. Es así, que a partir de un estudio del comparador de fase diseñado y gracias a los elementos hardware y software utilizados, se obtiene que la resolución que puede ser lograda en la medición de fase por parte del sistema es de 10 femtosegundos (fs), valor extremadamente bueno para el tipo de mediciones que en el laboratorio pueden alcanzar fácilmente partes en 10-15.

La adquisición y procesamiento de las señales de frecuencia por medio de la aplicación desarrollada son la base primordial para iniciar un proyecto de gran importancia e impacto a nivel de investigación metrológica en Colombia, el cual consiste en el desarrollo de una escala de tiempo atómica TAI(SIC) que pueda contribuir a la generación del UTC (Coordinated Universal Time) coordinado por el BIPM (Bureau Internacional de Pesas y Medidas). Este nuevo proyecto requiere otras dos (2) etapas para obtener la escala de tiempo mencionada, una es el desarrollo de un algoritmo de predicción (basado en técnicas de clustering evolutivo) que permita generar un reloj virtual resultante de la comparación de las señales de frecuencia de forma simultánea y en tiempo real (aplicación ya desarrollada y descrita en éste artículo) de n relojes de alta exactitud (Cesios o Máseres de Hidrógeno), de manera que las características de error y estabilidad de la escala de tiempo sean mejores que las de cualquier reloj individual que hace parte de la misma. La otra etapa es el control automático de un AOG (Auxiliary Output Generator), equipo capaz de corregir tanto en fase como en error en frecuencia hasta en partes en 10⁻¹⁹ la señal del reloj primario establecido como referencia para la escala de tiempo. De acuerdo con lo anterior y utilizando la aplicación descrita en el presente artículo se puede desarrollar una escala de tiempo atómica TAI(SIC) mediante la comparación de hasta 8 patrones primarios (relojes); cuyos valores de comparación se traducen en las variables de entrada del algoritmo de predicción mencionado, para que luego el valor resultante de la predicción sea corregido por el AOG. Es así como se evidencia la importancia de la presente aplicación como el punto de partida para alcanzar el gran objetivo de desarrollar la escala de tiempo para Colombia.

Información del Autor:
 Ing. Carlos Andrés Quevedo Fernández
 Responsable Laboratorio de Tiempo y Frecuencia
 Tel: + 57 1-5737070 - Extensión 3303
cquevedo@correo.sic.gov.co



Esquema modular del proceso de adquisición de datos

COMPARACIÓN DE FASE

Laboratorio Tiempo y Frecuencia

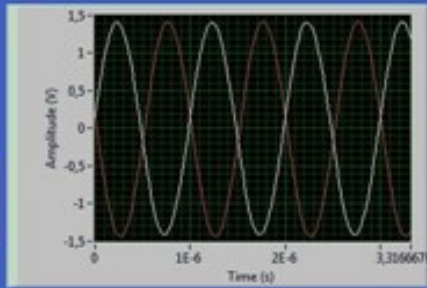
CONFIGURACIÓN SINCRONIZACIÓN **ADQUISICIÓN** ADQUISICIÓN 1

#Dato
Actual

21

Diferencia de Fase
Ch0 vs. Ch1

-46,5016 ns

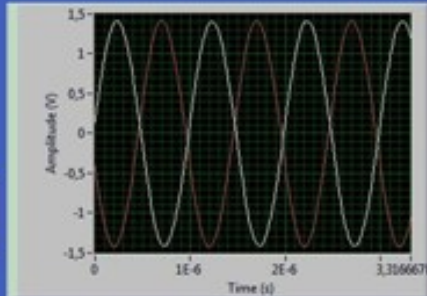


HORA ADQUISICIÓN

21:14:15

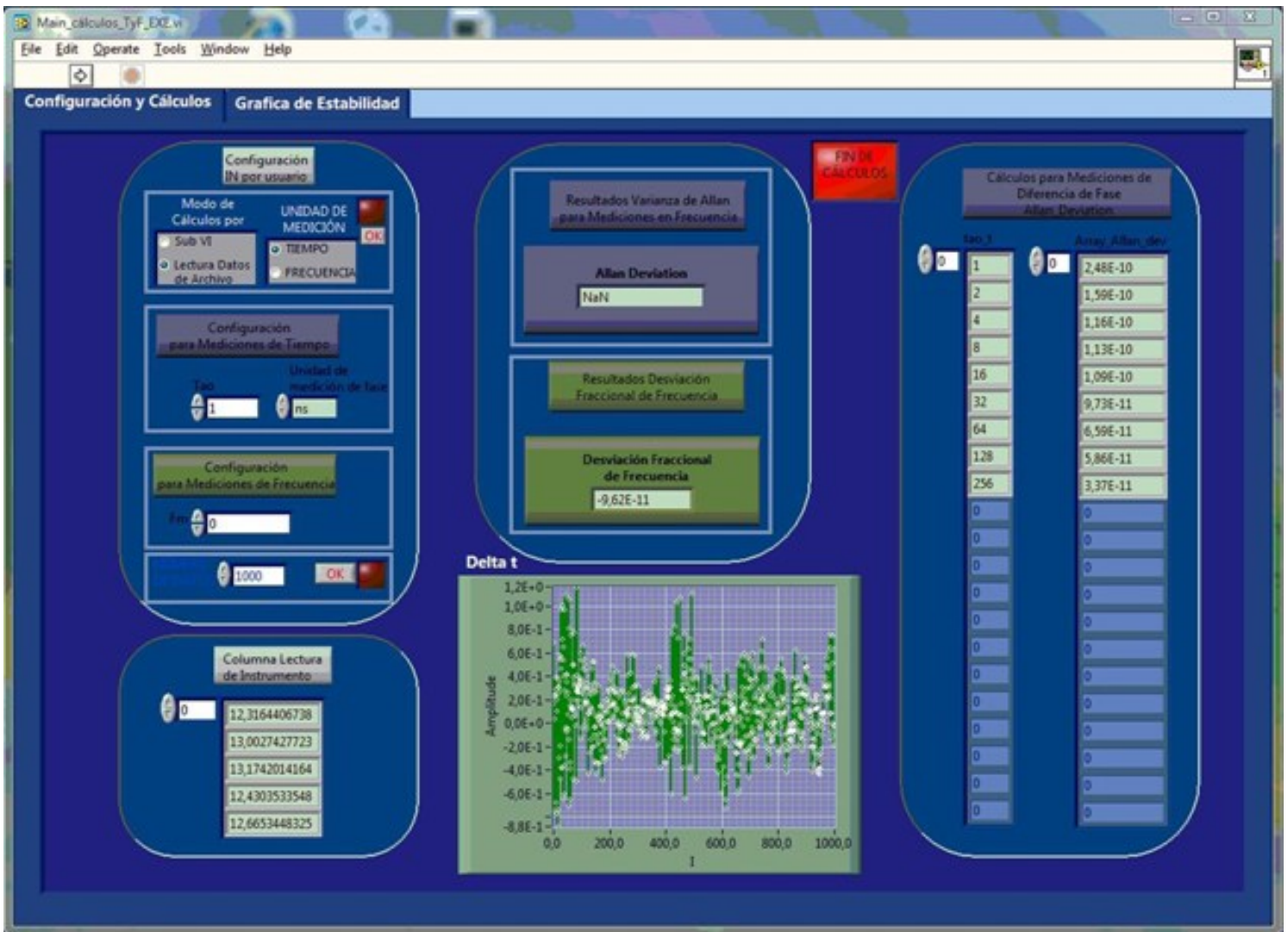
Diferencia de Fase
Ch0 vs. Ch2

47,3196 ns



STOP

Detalle del panel para monitoreo en tiempo real de la aplicación



Diseño de la aplicación de procesamiento matemático posterior

Legal

Este caso de estudio (este "caso de estudio") fue desarrollado por un cliente de National Instruments ("NI"). ESTE CASO DE ESTUDIO ES PROPORCIONADO "COMO ES" SIN GARANTÍA DE NINGUN TIPO Y SUJETO A CIERTAS RESTRICCIONES QUE SE EXPONEN EN LOS TÉRMINOS DE USO EN NI.COM.