RECIBE

Revista electrónica

DE COMPUTACIÓN, INFORMÁTICA, BIOMÉDICA Y ELECTRÓNICA

Vol.3 No.3 | Jun-Nov 2014

Índice

Computación e Informática

Electrónica

ReCIBE, Año 3 No.3, Noviembre 2014

Las implementaciones de las normas de seguridad de la información: estudio de caso la Sociedad de Lucha Contra el Cáncer del Ecuador

Marcos Caiza-Acero
Facultad de Sistemas, Telecomunicaciones y Electrónica
Universidad Espíritu Santo - Ecuador
mcaiza@uees.edu.ec

Francisco Bolaños-Burgos
Facultad de Sistemas, Telecomunicaciones y Electrónica
Universidad Espíritu Santo - Ecuador
fcobolanos@uees.edu.ec

Resumen: El presente artículo muestra el análisis y la justificación de selección de una de las Normas de seguridad de la información: ISO 27002, COBIT e ITIL para ser implementada en el departamento de sistemas de la Sociedad de Lucha Contra el Cáncer del Ecuador (S.O.L.C.A). El dominio que se analizará es el físico y refleja que el hospital tiene un alto porcentaje de incumplimiento en los controles de protección contra amenzas externas y del medio ambiente así como el de seguridad en la reutilización o eliminación de equipos. Debido a esto, se propone un presupuesto para que se cumplan dichos controles. Finalmente se hacen recomendaciones para que la norma sea implementada en su totalidad en el departamento y luego en la institución.

Palabras claves: SOLCA, normas de seguridad, norma ISO 27002.

The implementations of information security standards: a study of case the Sociedad de Lucha Contra el Cáncer del Ecuador

Abstract: **This article shows the analysis and the justification for the selection of one of the information security standards: ISO 27002, COBIT e ITIL to be implemented in the IT department of la Sociedad de Lucha Contra el Cáncer del Ecuador (S.O.L.C.A). The domain to be analyzed is the physical and portrays that the hospital has a high non compliance porcentaje in the controls of protection against external threats and the enviroment as well as the security in the reuse or disposal of equiments. Due to this, a budget is presented in order to comply with this controls. Finally recommendations are given for the implementation of the standard on its overview in the department and later in the institution.**

Keywords: **SOLCA, information seurity standards, standardISO 27002.**

1. Introducción

En la actualidad las tecnologías de la información (TI) han evolucionado a lo largo de la sociedad ecuatoriana, generando múltiples beneficios para grandes y pequeñas organizaciones. Uno de los sectores que se ha beneficiado es el hospitalario, ya que con las TI se ha podido ayudar a muchos pacientes a combatir los tipos de enfermedades que existen en la actualidad. Por tal motivo la seguridad física de los recursos tecnológicos es importante, ya que ayuda a que las historias clínicas de los pacientes estén disponibles en el momento que se requiera y se pueda realizar el respectivo tratamiento (Vidal, García, & Cazes, 2009).

En el caso particular del Hospital de SOLCA, los recursos tecnológicos son una herramienta fundamental para el trabajo diario, porque se necesita visualizar la información de los pacientes y así poder determinar un tratamiento oncológico específico. (Huayamabe, 2014).

Por lo antes mencionado, es de vital de importancia que el centro hospitalario cuente con la implementación de una norma de seguridad de la información ya que en la actualidad no posee ningún estándar en esta área. Por lo tanto, el objetivo de este paper es mostrar el grado de cumplimiento de la norma seleccionada referente al dominio de la seguridad física. Para luego proponer estrategias con el fin de disminuir el grado de incumplimiento encontrado. Por razones de confidencialidad no se mostrará los antecedentes de la unidad de análisis.

El presente artículo está estructurado de la siguiente manera: La sección 2 es el marco teórico, el cual describe y define las generalidades del tema, la seguridad de la información, la seguridad física y las normas de seguridad. La sección 3 trata el análisis de la caracterización de las metodologías de las normas ISO 27002, COBIT e ITIL y luego justifica la selección de una de ellas. La sección 4 modela la propuesta de implementación que muestra paso a paso la implementación de los controles del dominio físico. La sección 5 cubre el análisis de cumplimiento, donde se propone el presupuesto y un análisis general del cumplimiento de los controles con base en la propuesta de implementación y finalmente en la sección 6 detalla las conclusiones, limitaciones y trabajos futuros.

2. Marco Teórico

2.1 Generalidades

En la actualidad las organizaciones tienen la necesidad de valerse de los sistemas de información, los mismos que son utilizados para almacenar, procesar y distribuir la información, con la finalidad de apoyar a la alta gerencia a la toma de decisiones. Según Tovar (2009) la información es un conjunto de datos organizados de tal modo que adquiere un valor adicional más allá del propio.

Es por eso que esta se ha convertido en uno de los principales recursos para las compañías, ya sean estas públicas o privadas. Por tal motivo, se enfrenta a una gran variedad de riesgos e inseguridades en los sistemas de información poniendo en peligro la continuidad del negocio. Ante éste escenario es importante que las organizaciones evalúen los riesgos y constituyan estándares y controles adecuados para asegurar la protección de la información. (Areitio, 2008).

Por otro lado es importante tener en cuenta lo fundamental que es la información para las organizaciones y en muchos casos no se le presta la atención necesaria a diferentes sucesos que puedan ocurrir con la información sensible del negocio. Además la globalización de la economía conduce a que esta sea considerada un activo no cuantificado, ya que el intercambio de la misma entre empleados, clientes y proveedores es fundamental para el funcionamiento del negocio. (Carvajal, 2013).

2.2 Seguridad de la Información

La seguridad de la información tiene como objetivo proteger la información de una organización, en cualquier lugar que se encuentre localizada. (Mifsud, 2012) La seguridad de la información tiene cuatro principios fundamentales que son:

Confidencialidad: Previene la divulgación de información no autorizada a personas o sistemas de información. Un ejemplo son los mecanismos

criptográficos, que sirven para cifrar o encriptar la información, para que no esté comprensible a aquellos usuarios que no tienen autorización.

Integridad: Garantiza que la información no sea alterada. Un ejemplo son los controles implantados en el software que impiden la duplicidad de la historia clínica de los pacientes.

Disponibilidad: Asegura que el servicio no sea interrumpido. Un ejemplo son los sitios web.

Registro: Crea una evidencia física de los eventos que se dan en un medio informático. Un ejemplo es un log de un firewall.

2.3 Seguridad Física

Lawrence & Butterworth (1997) mencionan que la seguridad física es la "aplicación de barreras físicas y procedimientos de control, como medidas de prevención y contramedidas ante amenazas a los recursos e información confidencial". Entre las principales amenazas de un sistema informático están los incendios, terremotos, inundaciones los cuales conllevan a consecuencias catastróficas para la institución. También se presentan amenazas que son ocasionadas por el hombre y estas pueden ser sabotajes internos o externos

La seguridad física también se enfoca en la aplicación de procedimientos de control y barreras físicas, la cual está relacionada con todo el hardware que está siendo utilizado por la institución para el manejo de la información, lo que incluye a los dispositivos conocidos de almacenamiento y medios de acceso remoto. Además otras medidas de seguridad deberán ser evaluadas para su posible implementación de controles de seguridad física de TI para las compañías. (27002, Controles de ISO/IEC, s.f.).

La siguiente figura muestra los parámetros a considerar en la seguridad física de TI según la empresa Business Solutions, compañía líder en integraciones de seguridad.

Figura 1. *Descripción de la Seguridad Física de TI*

Fuente: Monterrey, N.L., México. Soluciones de Tecnología de Información. Global Business Solution empresa especializada en la integración de soluciones de seguridad.

2.4 Normas de seguridad

Según Martinez (2010) las normas son un conjunto de reglas, lineamientos, controles y recomendaciones con el propósito de apoyar los objetivos y políticas de seguridad que son establecidas por la organización. Las normas previenen los riesgos en los accidentes de trabajo mediante órdenes, instrucciones y consignas, que educan al personal que labora en una empresa sobre los diferentes incidentes que pueden suscitarse en el desarrollo de alguna tarea y la manera de prevenir estas situaciones.

Las normas no deben suplantar las diferentes medidas preventivas prioritarias, ya que deben ser un complemento para dichas medidas. Las normas de seguridad se clasifican en dos las cuales son: Normas generales que tienen el objetivo de establecer mecanismos de control para el cumplimiento de objetivos y metas. Normas específicas que tienen el objetivo de establecer mecanismos a alguna operación específica.

3. Análisis de las metodologías.

3.1 ISO 27002

La norma ISO 27002 es un código de buenas prácticas donde se encuentran detallados una serie de controles para la seguridad de la información, además es considerada como una guía para la implementación para un Sistema de Gestión de Seguridad de la Información SGSI. (Instituto Nacional de la Normalización, 2009)

Los dominios que propone ISO 27002 son 11, dentro de esos dominios se encuentran 39 objetivos de control, los mismos que contienen 133 controles. En la Tabla 1 se muestran los dominios de control.

Dominios	Control
Política de seguridad.	Proporcionar orientación y apoyo a la alta gerencia para la seguridad de la información, de acuerdo con las leyes actuales.
Organización de la seguridad de información.	Gestionar la información dentro y fuera de la organización
Gestión de activos.	Proteger los activos de la organización.
Seguridad relativa a los recursos humanos.	Asegurar que empleados, contratistas o terceras personas tengan conocimiento de las políticas que tiene la organización.
Seguridad física y del ambiente.	Asegurar las instalaciones de las áreas de procesamiento de información y los recursos tecnológico de la organización.
Gestión de comunicaciones y operaciones.	Asegurar la operación correcta y segura de los medios de procesamiento de información.

Control de acceso	Controlar el acceso a la información
Adquisición, desarrollo y mantenimiento de los sistemas de información.	Asegurar los sistemas de información que tiene la organización
Gestión de incidentes en la seguridad de la información.	Establecer lineamientos para prevenir incidentes de pérdida de información.
Gestión de la continuidad del negocio.	Asegurar que existan planes de continuidad del negocio.
Cumplimiento.	Asegurar el cumplimiento de requisitos legales de seguridad.

Tabla 1. *Resumen de los dominios de control de la norma ISO 27002.*

Fuente: Elaboración propia.

3.2 COBIT

COBIT es una metodología reconocida mundialmente para el control de proyectos de tecnología, los flujos de información y riesgos. El objetivo principal de COBIT es la investigación, el desarrollo y la promoción de un marco de control de gobierno TI actualizado y aceptado a nivel mundial, para que las empresas adopten sus beneficios y sea utilizado por la alta gerencia del negocio, profesionales de TI y expertos en seguridad informática. (IT Governance Institute, 2007) En la Tabla 2 se muestra las características que menciona COBIT.

Características	**Objetivos**
Orientado a negocios.	Proporciona la información que la organización requiere para alcanzar los objetivos.
Orientado a procesos.	Ofrece un modelo de procesos y un lenguaje común para todas las personas que integran la organización.
Basado en controles.	Proveen de un conjunto de requerimientos de alto nivel, que son considerados por la alta gerencia para un efectivo control.
Impulsado por mediciones.	Comprender el estado de los sistemas de TI que tienen en la actualidad.

Tabla 2. *Caracteristicas de COBIT*

Fuente: Elaboración propia.

3.3 ITIL

ITIL V3 es una metodología ordenada al momento de plantear la prestación de servicios de TI y establece la estructura a utilizar en la mayoría de organizaciones que se identifican con las buenas prácticas de gestión de servicios. ITIL también es conocida como una recopilación de libros con base en las mejores prácticas en las organizaciones de éxito actual. (Kolthof, de Jong, & Van Bon, 2008)

En la Tabla 3 ITIL V3 plantea un enfoque de cinco fases de su ciclo de vida para la gestión de los servicios de TI.

Características	Objetivos
Estrategias de servicio.	Diseño, desarrollo e implementación se ajusten a políticas del negocio.
Diseño del servicio.	Diseñar y desarrollar los servicios que son necesarios para la organización.
Transición del servicio.	Gestionar y coordinar los sistemas, procesos y funciones que son necesarios para la creación, comprobación e implantación de los nuevos servicios del negocio.
Operaciones de servicio	Coordinar las actividades y procesos que son importantes para la gestión de servicios de los usuarios y clientes de la organización.
Mejora continua	Mejorar los servicios de manera que garantice el cumplimiento de las necesidades de la organización.

Tabla 3. *Resumen de los dominios de ITIL.*

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Selección y justificación de la metodología

La metodología a implementarse es la de la norma ISO 27002, debido a que contiene un marco teórico de trabajo para la gestión de seguridad de la información y dentro de esta existe un dominio de seguridad física y del ambiente. Además SOLCA cuenta con la certificación ISO 9001, de esta

manera se estaría siguiendo los lineamientos de certificación de la casa de salud.

A continuación se muestra en la Tabla4 un cuadro comparativo entre las metodologías COBIT 4.1, ITIL v3 e ISO 27002 que se realizó para la selección de la metodología a utilizar.

ÁREAS CLAVES	COBIT	ITIL	ISO 27002
FUNCIONES	Mapeo de procesos.	Mapeo de gestión de niveles de servicio de TI.	Marco de referencia de seguridad de información.
OBJETIVO	Brindar buenas prácticas a través de un marco de trabajo.	Proporcionar herramientas que mejoren la calidad de los servicios.	Proporciones mejores prácticas en la seguridad de la información.
ÁREAS	4 procesos y 34 dominios.	9 procesos.	11 dominios y 133 procesos.
CREADOR	Information systems audit and control association. (ISACA)	Office of Government Commerce. (OGC)	International Organization for Standardization. (ISO)
¿PARA QUÉ SE IMPLEMENTA?	Auditoría de sistemas de información.	Gestión de niveles de servicio.	Cumplimiento de los estándares de seguridad
¿QUIÉNES LO EVALUAN?	Compañías de contabilidad, de auditoria o de consultoría de TI.	Compañías de consultoría de TI.	Compañías de seguridad en redes, de consultoría de TI y empresas de seguridad.
BENEFICIOS	Apoyar las decisiones, alcanzar los objetivos estratégicos, optimizar los servicios y obtener los beneficios del	Satisface a usuarios, mejora comunicación entre áreas, clarifica los roles de la organización.	Brinda una metodología para la gestión de seguridad, se da confianza a clientes, ayuda a identificar y mejorar las áreas débiles.

	negocio deseado.		

Tabla 4. *Cuadro Comparativo de Metodologías COBIT 4.1, ITIL V3 e ISO 27002.*

Fuente: Elaboración propia. Asdaptado de Alineando COBIT 4.1, ITIL V3 e ISO 27002 para beneficio del negocio. (Valero, sf)

4. Propuesta de implementación de la norma ISO 27002.

El dominio de control que se aplicará es el de la seguridad física y del ambiente. Ciertos controles no se implementarán debido a que el departamento cumple con los mismos o están fuera de sus funciones. En la Figura 2 se muestra la distribución de las oficinas del centro de cómputo, donde se va a implementar los controles de seguridad física.

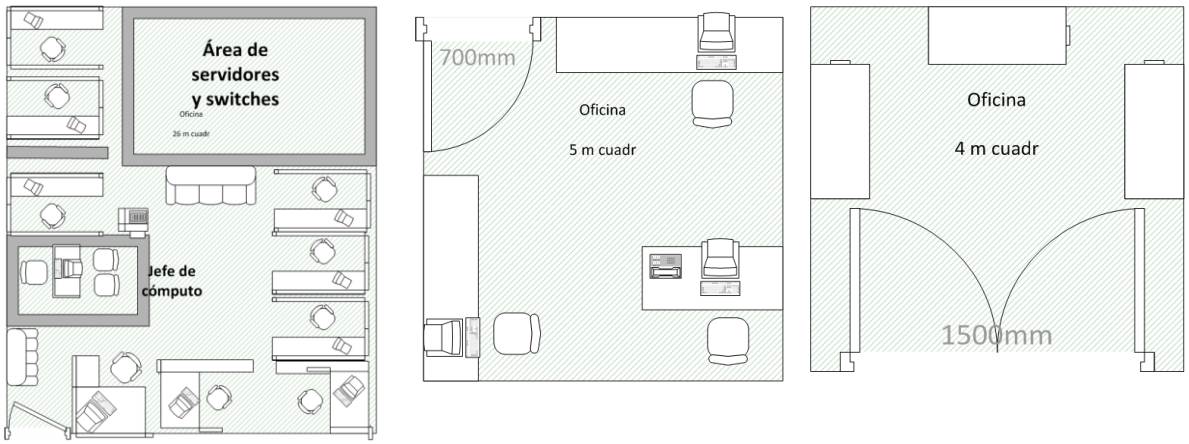

Figura 2. *Distribución del centro de cómputo.*
Fuente: Elaboración propia.

4.1 Implementación de las áreas seguras

4.1.1 Perímetro de seguridad física.

Los numerales d y e no son tomados en consideración para la implementación de éste control. Se deben de implementar las siguientes recomendaciones:

a. Se debe definir la ubicación y resistencia del perímetro de seguridad de las instalaciones del centro de cómputo.
b. Se deberá instalar tres cerraduras electromagnéticas y tres lectores de tarjetas de seguridad para las puertas de ingreso a las instalaciones del departamento de cómputo con la finalidad de controlar el acceso no autorizado de terceras personas.
c. La institución debe asignar un guardia de seguridad para controlar el acceso físico a las instalaciones del departamento de cómputo.
d. Dentro del departamento de cómputo se deberá instalar tres alarmas y tres sistemas de circuito cerrado de TV, para la detección de intrusos.
e. Las áreas médicas deben estar separadas físicamente de las instalaciones del departamento de cómputo.

4.1.2 Controles de acceso físico.

El numeral e no se considera en la implementación de este control. Se deben de implementar las siguientes recomendaciones:

a. El guardia de seguridad debe registrar la hora y fecha de entrada de visitantes, contratistas o cualquier personal que no pertenezca al área y que estén debidamente autorizado el ingreso a las instalaciones del departamento de cómputo.
b. Se deberá instalar una cerradura biométrica para acceder al área de servidores.
c. La institución debe de proveer al guardia de seguridad de diez tarjetas de identificación para visitantes y contratistas, los mismos que deben presentar una identificación al momento de ingresar a las instalaciones del departamento de cómputo.
d. Se deberá llevar un registro de fecha, hora y quién autoriza el ingreso para todo personal ya sea interno y/o externo al área de servidores. Este registro lo debe hacer una persona del área de Producción o alguien que sea asignado por el jefe de cómputo.

4.1.3 Seguridad de oficinas, despachos e instalaciones.

Los numerales b, c y d no son tomados en consideración para la implementación de éste control. Se debe implementar la siguiente recomendación:

a. El departamento de cómputo debe considerar las regulaciones y procedimientos que proporciona el ministerio de relaciones laborales en referencia al reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente del trabajo. (Ministerio de Relaciones Laborales, 2012)

4.1.4 Protección contra amenazas externas y del ambiente

Todos los numerales de éste control son considerados para la implementación del control. Se deben de implementar las siguientes recomendaciones:

a. Se deberá almacenar en la bodega de cómputo los recursos tecnológicos y suministros de oficina.
b. La institución deberá asignar una nueva área para la creación de un departamento de cómputo alterno.
c. Se deberá instalar tres equipos apropiados contra incendio y su respectiva señalización para las instalaciones del departamento de cómputo.

4.1.5 El trabajo en las áreas seguras.

Los numerales a, b y c no son tomados en consideración para la implementación de éste control. Se deben de implementar las siguientes recomendaciones:

d. Se deberá prohibir el uso de equipos de fotografía, audio y video dentro de las áreas del departamento de cómputo, salvo alguna autorización de la alta gerencia o del jefe de cómputo.

4.1.6 Áreas de acceso público, de entrega y de carga

Este control no será implementado, debido a que no corresponde a las funciones del centro de cómputo.

4.2 Implementación de la seguridad del equipamiento

4.2.1 Ubicación y protección del equipamiento.

Los numerales a, b, c, d y i no son tomados en consideración para la implementación de éste control. Se deben de implementar las siguientes recomendaciones:

e. Se deberá pegar tres juegos de afiches en lugares estratégicos para la prohibición de comer, fumar y beber dentro de las instalaciones del departamento de cómputo.
f. Se deberá adquirir un equipo para la medición de temperatura y humedad dentro de las instalaciones del departamento de cómputo.
g. Se deberá instalar un pararrayo en el edificio donde se encuentra ubicado las instalaciones del departamento de cómputo.
h. Se deberá adquirir trece paquetes de cobertores para todo el equipamiento de TI que se encuentre dentro de las instalaciones del departamento de cómputo.

4.2.2 Elementos de soporte.

Este control no será implementado, debido a que no corresponde a las funciones del centro de cómputo.

4.2.3 Seguridad en el cableado.

Los numerales a, b, c, d, e y f cumplen con los objetivos de implementación de éste control.

4.2.4 Mantenimiento del equipo.

El numeral b no es tomado en consideración para la implementación de éste control. Se deben realizar las siguientes consideraciones para el mantenimiento de equipo:

a. Los suministros de las impresoras deben ser originales, tal como lo recomienda el proveedor.
c. Se deberá desarrollar un módulo dentro del sistema para el registro de todas las fallas de los equipos de TI, así como el mantenimiento correctivo y preventivo de las instalaciones del departamento de cómputo.
d. Se deberá elaborar un acta de consentimiento al momento de retirar y entregar el equipamiento de TI, a fin de evitar la pérdida de información o mal uso del activo.
e. Se debe cumplir con las condiciones que imponen las de pólizas de seguros para los equipos de TI de las instalaciones del departamento de cómputo.

4.2.5 Seguridad del equipamiento fuera de las instalaciones de la organización.

Los numerales a, b y c, no son tomados en consideración para la implementación de éste control. Se deben de implementar la siguiente recomendación:

d. Se deberá adquirir una póliza de seguro para los equipos de TI que se consideren necesarios para las instalaciones del departamento de cómputo.

4.2.6 Seguridad en la reutilización o eliminación de los equipos.

Se deben de implementar la siguiente recomendación:

a. Se deberá adquirir un software para asegurar la correcta eliminación de la información.

Existen software gratuito que realiza la función de eliminación segura de la información.

4.2.7 Retiro de bienes.

Los numerales a, b y d, no son tomados en consideración para la implementación de éste control. Se deben de implementar la siguiente recomendación:

c. Se deberá agregar un reporte en el sistema de retiro de equipamiento, para controlar el tiempo que lleva fuera de las instalaciones y comprobar el cumplimento de su regreso.

5. Análisis del cumplimiento de la implementación de la norma ISO 27002.

5.1 Presupuesto

Una vez concluida la implementación de controles para la seguridad física de los recursos tecnológicos del departamento de cómputo del hospital de SOLCA, se procede a dar a conocer los costos referenciales, tomando en consideración que se trata de una institución privada sin fines de lucro. En la Tabla 5 se considera todos los rubros que son utilizados para mejorar la

seguridad en la institución con base en la implementación de la norma ISO 27002.

N ° DE CONTROL	DESCRIPCIÓN DEL CONTROL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Servicio profesional de la propuesta de implementación	1	3000	3000
2	Cerraduras electromagnéticas.	3	150	450
3	Cerradura biométrica.	1	340	340
4	Tarjetas de seguridad.	180	540	
5	Alarma contra intrusos.	3	200	600
6	Circuito cerrado de TV.	3	500	1500
7	Guardia de seguridad.	1	600	600
8	Tarjetas de identificación visitantes.	10	5	50
9	Cuadernos de registros.	2	5	10
10	Construcción de un centro de cómputo alterno.	1	12000	12000
11	Equipos contra incendio.	3	300	900
12	Cableado de equipo contra incendio.	1	350	350
13	Señalización de lo que está prohibido.	3	50	150
14	Equipos de medición de temperatura y humedad.	3	50	150
15	Pararrayo	1	600	600
16	Cobertores de equipos de TI.	13	10	130
17	Póliza de seguros para los recursos tecnológicos.	1	700	700
			TOTAL	$22,070

Tabla 5. *Costo Referencial de la Implementación en dólares Estado Unidenses.*

Fuente: Elaboración propia. Asdaptado de Alineando COBIT 4.1, ITIL V3 e ISO 27002 para beneficio del negocio. (Valero, sf)

5.2 Análisis de la seguridad física actual con base en la implementación de la norma.

En éste punto se puede concluir que la situación actual del departamento de cómputo con relación a la seguridad física, no cumple con algunos procedimientos de control de seguridad que establece la norma ISO 27002 y es necesario implementarlos, para que satisfagan las necesidades de la institución, ya que su costo no es muy elevado en comparación de lo que se perdería si llegase a ocurrir algún tipo de incidente dentro de las instalaciones del centro de cómputo. (Calder, 2009)

En la Figura 3 se muestra el cumplimiento de cada control del dominio de seguridad física que menciona la norma sobre la situación actual de la institución.

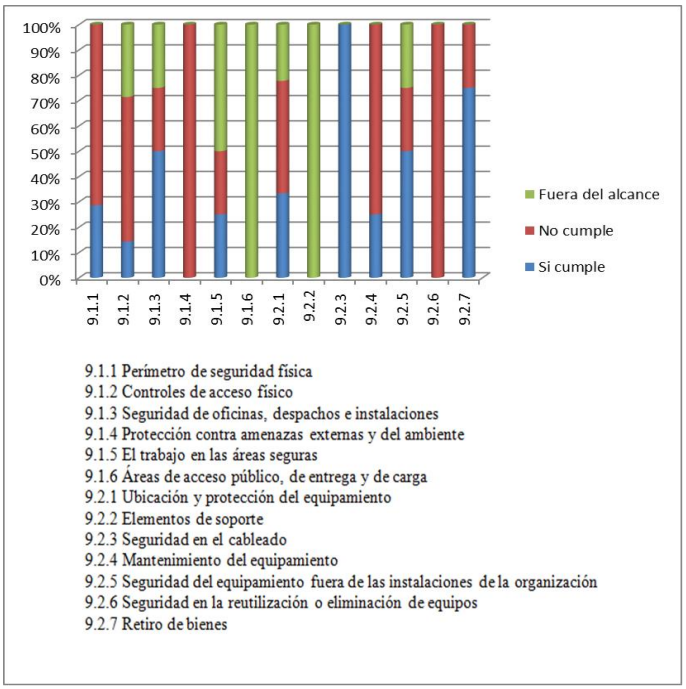

Figura 3. *Cumplimiento del dominio de seguridad física y del ambiente.*

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la figura anterior se puede concluir que los controles que no implementan ningún tipo de medida de seguridad son: el de protección contra amenzas externas y del medio ambiente así como el de seguridad en la reutilización o eliminación de equipos. Otros controles que muestran un alto porcentaje de no cumplimiento con relación a la norma son: el perímetro de seguridad fisica, el control de acceso, la ubicación y protección de equipamiento y el mantenimiento del equipo.

6. Conclusiones

En la sección anterior se puede apreciar el grado de cumplimiento de los dominios de la norma ISO 27002. Por lo tanto los tipos de amenazas a los que están expuestos los recursos informáticos son: instalaciones inadecuadas para el equipamiento de TI, ausencia de equipos para combatir incendios, robos, accidentes laborales, destrucción intencional o desastres naturales y la ausencia de mecanismos para la identificación del personal interno o externo al departamento. Con esto se evidencia la necesidad de implementar el estándar a la brevedad posible debido a la información sensible que la casa de salud maneja.

El presente trabajo tiene las siguientes limitaciones: La implementación de la norma en su totalidad ya que falta analizar los otros 10 dominios descritos en la Tabla #1. La carencia de un espacio físico para reubicar al departamento de sistemas ya que en la actualidad se encuentra cerca de una zona que no recomienda la norma. Y por último la falta de roles y de personal en el departamento de cómputo.

Los trabajos futuros con base en este estudio son: Aplicar los demás dominios de control que menciona la norma ISO 27002 al departamento de sistemas ya que así se contará con la implementación de la misma en su totalidad, garantizando la protección de la información en todas las áreas y obteniendo la

certificación pertinente. Implementar el mismo dominio en los departamentos de laboratorio clínico, anatomía patológica, emergencia, consulta externa, preadmisión, radio oncología, oncología clínica y radiología teniendo como guía el procedimiento usado aplicando las variantes respectivas. Por último definir un plan y el comité de contingencias ya que def esta manera se pueda establecer de forma clara los procedimientos a seguir y las responsabilidades de cada miembro ante posibles desastres en el departamento de cómputo.

Bibliografía

Areitio, J. (2008). Seguridad de la información. Redes, informática y sistemas de información. Paraninfo.

Calder, A. (2009). Implementing Information Security Based on ISO 27001/ISO 27002.

Carvajal, A. (2013). Fundamentos de la inseguridad de la información. Académia Española.

Huayamabe, M. (04 de 2014). Seguridad física del centro de cómputo. (M. Caiza, Entrevistador)

Instituto Nacional de la Normalización. (2009). Tecnología de la información - Código de prácticas para la gestión de la seguridad de la información .

IT Governance Institute. (2007). COBIT 4.1. Obtenido de http://www.isaca.org/Knowledge-Center/cobit/Pages/Downloads.aspx

IT Governance Institute. (s.f.). Alineando Cobit 4.1, Itil V3 e ISO/IEC 27002 en beneficio del negocio. Recuperado el 20 de mayo de 2013, de http://www.isaca.org/Knowledge-Center/Research/Documents/Alineando-COBIT-4-1-ITIL-v3-y-ISO-27002-en-beneficio-de-la-empresa_res_Spa_0108.pdf

Kolthof, A., de Jong, A., & Van Bon, J. (2008). Fundamentos de la Gestión de Servicios de IT Basada en ITIL®V3.

Lawrence , F., & Butterworth, H. (1997). Effective Physical Security.

Martinez, A. (2010). Manual de normas y politicas de seguridad informatica aplicado a la Universidad de Oriente.

Mifsud, E. (2012). Introducción a la seguridad informática. Obtenido de http://files.formatv.webnode.es/200000063-1ac031cb4d/SEGURIDAD%20INFORMATIVA.pdf

Ministerio de Relaciones Laborales. (2012). REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO. Obtenido de http://www.relacioneslaborales.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/12/Reglamento-de-Seguridad-y-Salud-de-los-Trabajadores-y-Mejoramiento-del-Medio-Ambiente-de-Trabajo-Decreto-Ejecutivo-2393.pdf

Paucar, E. (29 de 07 de 2011). Los pacientes saturan las salas de Solca.

SOCIEDAD DE LUCHA CONTRA EL CANCER DEL ECUADOR. (s.f.). Recuperado el 20 de 11 de 2013, de www.solca.med.ec

Tovar, M. (2009). Las tecnológias de la información y las comunicación para la documentación. Obtenido de http://www.ugr.es/~eues/webgrupo/Docencia/TovarDiaz/SistemasInformaticos/tema1Sist.pdf

Valero, F. (sf). Alineando CobiT 4.1, ITIL V3 e ISO 27002 para beneficio del negocio. Obtenido de http://www.binaryti.com/2011/12/alineando-cobit-41-itil-v3-e-iso-27002.html

Vidal, L., García, L., & Cazes, T. (14 de 12 de 2009). Seguridad, Información y Salud. Obtenido de http://www.rcim.sld.cu/revista_7/articulo_htm/segurinfsalud.

Notas biográficas:

Marcos Caiza Acero Ingeniero en Sistemas con concentración en Consultoría de Sistemas por la Universidad de Especialidades Espíritu Santo (Ecuador, 2014). Actualmente labora en la Sociedad de Lucha Contra el Cáncer del Ecuador en el Departamento de Cómputo.

Francisco Bolaños Burgos Ingeniero en Computación Especialización Sistemas de Información y Magíster en Seguridad Informática Aplicada de la

Escuela Superior Politécnica del Litoral. Profesor a tiempo completo en la Facultad de Sistemas Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad de Especialidades Espíritu Santo. Cátedras impartidas: Sistemas operativos, sistemas distribuidos, Ethical hacking, seguridad de redes, ecommerce y new technologies. Área de investigación: computación forense, criptografía y comercio electrónico.

ReCIBE, Año 3 No.3, Noviembre 2014

Depth of field simulation for still digital images using a 3D camera

Omar Alejandro Rodríguez Rosas
Asistente de Investigación en Universidad de Guadalajara Guadalajara, México
omar.alejandro.rodriguez@gmail.com

Abstract: In a world where digital photography is almost ubiquitous, the size of image capturing devices and their lenses limit their capabilities to achieve shallower depths of field for aesthetic purposes. This work proposes a novel approach to simulate this effect using the color and depth images from a 3D camera. Comparative tests yielded results similar to those of a regular lens.

Keywords: bokeh; depth of field; simulation.

Profundidad de simulación de campo para imágenes fijas digitales utilizando una cámara 3D

Resumen: En un mundo donde la fotografía digital es casi omnipresente, el tamaño de los dispositivos de captura de imagen y sus lentes limitan sus capacidades para alcanzar profundidades menores de campo para fines estéticos. Este trabajo propone un enfoque novedoso para simular este efecto usando el color e imágenes profundas de una cámara 3D. Las pruebas comparativas dieron resultados similares a los de una lente regular.

Palabras clave: bokeh; profundidad de campo; simulación.

1. Introduction

Since the release of the first commercial camera in the early 1990s, digital photography has stopped being perceived as a luxury reserved for the wealthiest and progressively became inherent to our daily lives. The new semiconductor technologies and manufacturing techniques allow vendors to attach digital cameras to a huge variety of appliances from mobile phones and tablets to medical equipment and wearable devices by progressively reducing their cost and physical dimensions.

Nevertheless, these reductions have compromised to some extent the quality of the captured images: by allowing them to adjust to the increasingly tighter size constraints of the market, some features from high-end cameras like flexible depths of field and the lens *bokeh* need to be sacrificed.

Depth of field, in optics, is defined as the distance at which objects in front or behind the focal plane appear acceptably sharp. Other points in the scene outside this area render themselves as blurry spots shaped as the camera's diaphragm whose diameter contract gradually as its distance approaches the focal plane (see figure 1). The maximum diameter of one of these spots that is indistinguishable from a focused point is called maximum permissible circle of confusion or simply circle of confusion. The appearance of these unfocused areas, that is, how pleasant or unpleasant they are, will depend on a number of factors including size, shape and number of blades of the camera's diaphragm and optical aberrations of the lens. The Japanese term bokeh is often employed as a subjective measure to describe the aesthetic quality of the out-of-focus areas in the final picture (Buhler & Dan, 2002).

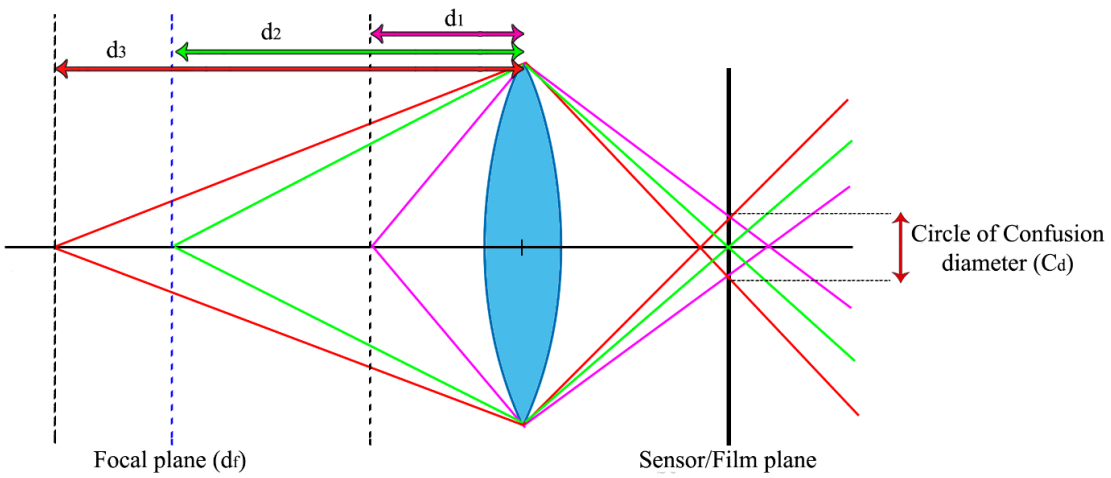

Figure 1. *Schematic view of the Circle of Confusion physics.*

2. Depth of field in modern small devices

A shallower depth of field (which means a bigger circle of confusion) is often a desired behavior since it provides emphasis to certain subjects in a picture, but implies the use of bigger aperture values and focal lengths. Given these requirements, it´s not hard to understand why the effect is often disregarded in portable devices such as tablets and cellphones (Z, 2014) where physical size and final price constraints for the finished product and its components are an important design factor.

3. Current solutions

Depth of field simulation is not a new technique and it is, in fact, quite common in areas such as 3D rendering where a distance dependent blur is achieved through Gaussian filtering or post processing methods as circle of confusion physics simulation (Rigger, Tatarchuk, & Isidoro, 2003). Other real-time optimized techniques in the graphics industry suggest to render two separate

versions of each frame: one without any visible Depth of Field and a blurred representation of the same image. The data from the z-buffer, which contains depth information for each pixel, is then interpreted as an alpha channel to blend the two separate frames reducing the sharpness and color saturation in the out-of-focus portions of the scene (U.S. Patent No. 7081892, 2002). Although realistic, efficient and well suited for 3D rendering, due to the lack of depth data, these techniques are not an option for standard digital photography. The problem is then reduced to the acquisition of each point's 3D position.

One way to obtain depth information from digital photographs is the use of light field cameras. This kind of device utilize an array of microscopic lenses placed between the main lens and the photo sensor to sample information about the light field of the image, containing the direction of the light rays passing through each point, which is typically employed to reconstruct the picture using ray-tracing techniques to simulate its imaging plane (Ng, 2006). Nevertheless, this technology is not yet widely adopted, nor available for portable devices.

To address both depth data acquisition from 2D digital images and the representation of distance dependent blurring, the Google Camera App for Android 4.4 provides the "Lens blur" mode which enables users to take pictures using simulated shallow depths of field, similar to those of SLR cameras. This application relies on the approximation of a 3D map of the scene based on a series of consecutive photographs. The initial images are obtained from a continuous stream whose capture is controlled by the user as an upward sweep. The resulting pictures will then represent the scene from different elevation angles. Using Structure-from-Motion (SfM), Bundle Adjustment and Multi-View Stereo (MVS) algorithms, the estimated 3D positions of each point in the image can be triangulated and the resulting map employed to render the appropriate amount of blur for each pixel according to its depth using a Thin Lens approximation (Hernández, 2014). This method, along with similar technologies from vendors as HTC or Samsung, are indeed precise but require a time-consuming preprocessing in order to construct the 3D map.

As an alternative, some relatively inexpensive 3D cameras like Microsoft Kinect or Creative Senz3d can provide a three-dimensional map of the scene at up to 30 frames per second, but since they are primarily targeted for PC's, up until recently, developments for portable devices based on these technologies were not a realistic option. Fortunately, after the announcements by some vendors regarding the inclusion of similar technologies in tablets and laptops in the near future (Tibken, 2013), and the launching of Occipital's Structure sensor (a depth sensor for iPad) earlier this year, the possibility of practical solutions utilizing this kind of device sounds more and more feasible.

Considering that, the following sections propose a theoretical methodology to achieve depth of field simulation and an implementation on currently available hardware that should be easily portable to other mobile technologies as soon as they are available.

4. Solution proposal

This proposal for depth of field simulation uses both the color and depth feeds from a 3D camera. As portrayed in figure 2, a summary of the required steps is:

1. Read depth and color frames from the camera.
2. Create a copy of the color frame
3. Apply a blur function to the color frame copy.
4. If necessary, apply a rectification function to map depth pixels to color space.
5. Use a pixel-weight function to translate depth data into alpha channel values.
6. Blend the two color frames (the original and the blurred one) using the previously calculated alpha values.

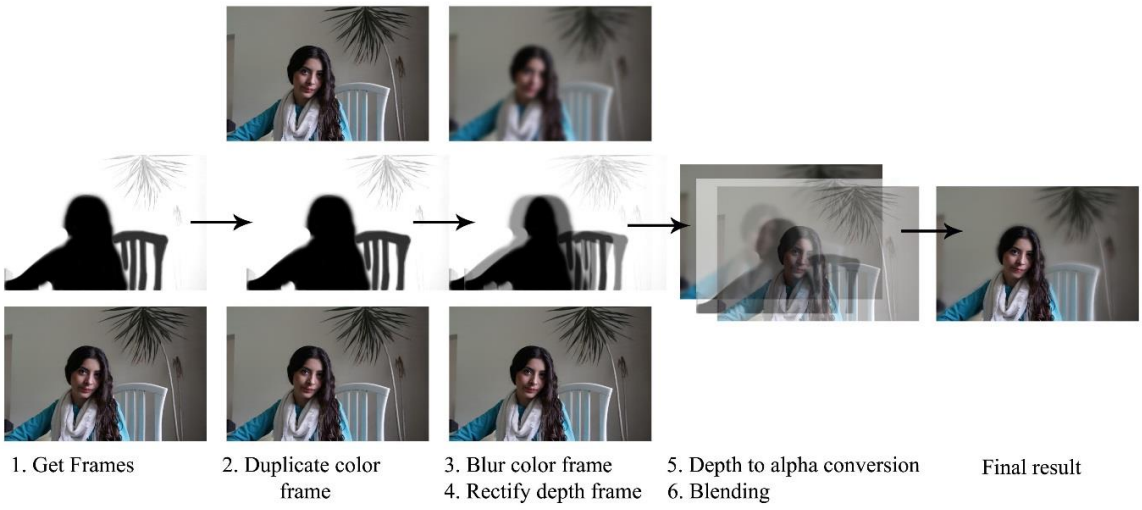

Figure 2. *The Depth of field simulation process.*

Some of these steps are further explained next.

4.1. Blur function

During this stage, blurring will be applied the entire duplicated color frame. The intensity of the effect should be the expected for the farthest points from the focal plane. In the absence of a physical lens to render its optical aberrations to the sensor, the quality of the bokeh will be determined by this step of the process, hence the importance of the method selection. To take an appropriate decision, it is useful to consider that while standard point sampling techniques have uniform density distributions, real lenses tend to display a distinct behavior at different planes, which can be achieved by implementing arbitrary probability density functions to jitter the sampling points amongst those planes (Buhler & Dan, 2002). The final selection will depend on the particular implementation requirements such as performance, available hardware, accuracy and other considerations regarding the quality and computational cost trade-off. Good candidates for this function are Separable Gaussian Blur, Circle of confusion simulation (Rigger, Tatarchuk, & Isidoro, 2003), Optical Aberration-based models (Wu, Zheng, Hu, Wang, & Zhang, 2010), Box blur and FFT-based models.

4.2. Rectification function

Since 3D cameras generally use two lenses at slightly different resolutions and distances from each other, a noticeable offset between the color and depth frames may exist. To achieve realistic results, it is necessary to map each depth pixel information to its corresponding color space representation.

This operation can be performed by standard Epipolar-geometry-based rectification methods (such as those designed for stereoscopic cameras calibration) which, although out of the scope of this article, are implemented in several API´s for computer vision including OpenCV and the Microsoft Kinect SDK.

4.3. Pixel-weight function

Using this function we translate depth values from the 3D camera's sensor to transparency alpha values which will be applied to blend the blurred version of the color image in order to make objects whose circles of confusion are supposed to be smaller fully transparent and vice versa. For biconvex lenses (commonly used for photography) the relationship between the diameter of the circle of confusion and the distance from the subject to the focal length is described by equation 1:

$$C_d = A\,(|d-d_f|)/d \qquad (1)$$

Where C_d is the diameter of the circle of confusion, A the aperture value, d the distance of a given object from the lens and d_f the distance from the lens to the focal plane (see figure 1). The circle of confusion diameter as a function of the distance from a subject for a given aperture value and focal plane is depicted in figure 3.

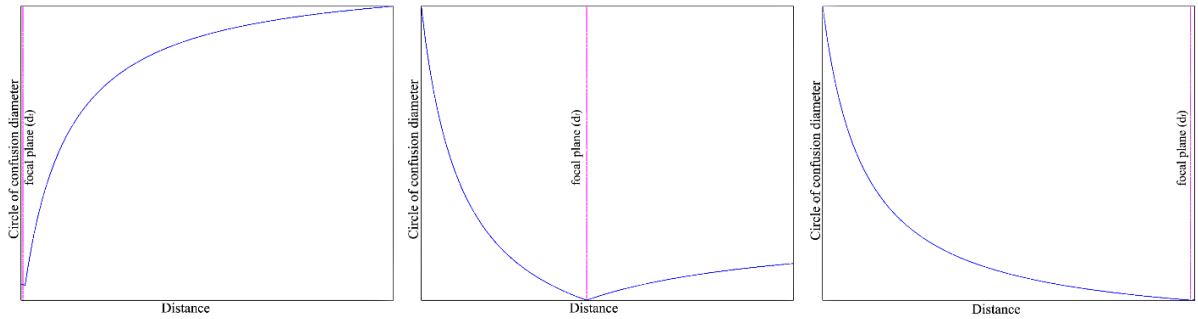

Figure 3. *Equation 1 behavior for different focal planes: Near the lens (left), at a medium distance (center) and far from the lens (right)*

Other functions, particularly those of the Gaussian distribution family (see equation 2) can also provide interesting results as depicted in figure 4.

$$f(d, d_f, \sigma) = 1 - e^{\frac{(d-d_f)^2}{2\sigma^2}} \qquad (2)$$

Where ,$d_f \in R$, $0 \leq d \leq 1$ and $0 \leq d_f \leq 1$, representing the ratio of such distance over the max distance range of the camera.

Figure 4. *Equation 2 behavior for different focal planes: Near the lens (left), at a medium distance (center) and far from the lens (right)*

4.4. Blending function

Once the blur function has been applied to the copy of the color image and the alpha values have been calculated, a linear blending function will combine the two color frames into one according to the weight value defined from the depth

data. To do so, for each pixel, the final color value is calculated using equation 3:

$$O'_{RGB} = B_{RGB}\alpha + O_{RGB}(1-\alpha) \qquad (3)$$

which is a simplification of the general linear blending equation assuming a totally opaque background where O'_{RGB} is a pixel from the blended output color image, B_{RGB} is the blurred version of the original color image, α is an alpha value such that $0 \leq \alpha \leq 1$ and O_{RGB} is a pixel from the original color frame.

5. Implementation

For this paper, an implementation using Microsoft´s Kinect for Windows and its SDK has been coded. The color and depth information are retrieved from its color (RGB) and depth (infrared) cameras respectively

For the blur function, a separable Gaussian blur has been implemented. Given that a considerable amount of blur is needed, the convolution kernel has to be big. For a discrete kernel of a 2σ radius (where σ is the standard deviation of the Gaussian kernel), the loss of precision on peripheral values, may cause a diminution of luminosity. This effect is compensated dividing each element of the kernel by an empirically obtained constant (1.8 for this implementation).

For frame rectification, Microsoft's Kinect SDK 1.8 provides the MapDepthFrameToColorFrame() method which, as the name suggests, allows us to map depth pixels to their corresponding locations in color space.

The application's graphic interface displays a real time preview of the color camera view, a slider that allows the user to select the focal plane distance and a text box to select the σ parameter for the Gaussian Blur kernel generation, that is, the blur radius (directly proportional to its intensity).

Equation 2 with parameters d_f determined by the user at execution time and $\sigma = 0.3$ has been selected as the pixel-weight function.

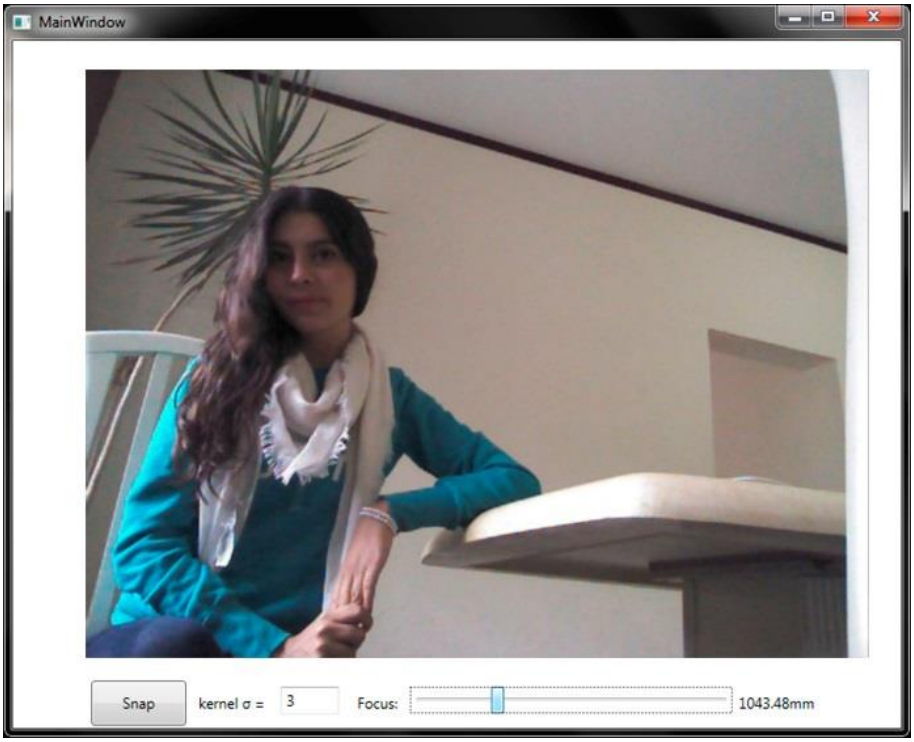

Figure 5. *The application GUI*

6. Testing Methodologies

In order to verify the effectiveness of the proposed process two tests were performed:

6.1 Standalone test

A single set of pictures were taken from a subject with natural lighting using the Microsoft Kinect sensor with color and depth resolutions of 640 x 480. The σ parameter (standard deviation) of the Gaussian blur kernel was set to 4 and focal plane distance at 1510mm (33.5% of the max range). Figure 6 portrays the results of this test.

Figure 6. *Results from the standalone test: a) Final image. b) Detail from the original image. c) Detail from the blurred copy. d) Detail from the final image.*

6.2. Benchmark test

To perform a qualitative analysis of the final images rendered with this technique, its results were compared to similar shots obtained with a regular consumer digital camera. Reference pictures were taken with a Canon REBEL EOS T5i camera with an aperture of f/4 at 1/80s and a color temperature of approximately 4000K to achieve similar colors to those from the Kinect. Both the reference camera and the Kinect where placed at the same distance from the subject, that is, 1.40 m (see figure 7). For comparison purposes the Kinect image was horizontally mirrored from its original orientation. Color and depth resolutions were set to 640 x 480.

Figure 7. *Results from the benchmark test: Consumer digital camera (left) and Microsoft Kinect (right).*

7. Results

As depicted in figure 6, the pictures provided by the 3D camera using the proposed Depth of Field Simulation algorithm yielded natural-looking results. Images from the benchmark testing show a similar quantity and quality of blur in out-of-focus areas, suggesting that the simulation algorithm paired with a depth camera constitutes a good substitution candidate for traditional camera lenses in small devices.

It is important to point out that some inaccuracies are present in both standalone and benchmark tests. These flaws are usually rendered around borders and reflecting surfaces and are a consequence of the infrared-based sensor limitations.

8. Conclusions and future work

Throughout this work the usage of 3D cameras to simulate the depth of field proved to be a promising methodology to drastically improve the quality of the

pictures without the need for expensive, heavy and delicate additional optics. This is particularly interesting if, as stated by some vendors, depth sensors become cheaper, smaller and widely available in coming years.

This method differs from others currently on the market solely on the acquisition time of the depth map which for Microsoft Kinect and Creative Senz3d can be as fast as 30 fps seconds (around 0.0333 seconds) and up to 60 fps (.0166 seconds) for Occipital Structure sensor, a process that might take several seconds for current implementations of optical-based methods such as the Google Camera app.

This paper offers as well interesting areas of improvement, such as the use of additional depth measurement techniques (like optical or acoustic sensors) to increase the accuracy and quality of the images or the utilization of Graphics hardware to speed up the processing of the highly parallelizable operations taking place in the current implementation, making possible its usage for real-time video capturing as well.

References

Alkouh, H. B. (2002). U.S. Patent No. 7081892.

Buhler, J., & Dan, W. (2002). A Phenomenological Model for Bokeh Rendering. ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications (p. 142). New York, NY, USA: ACM.

Hernández, C. (2014, April 16). Lens Blur in the new Google Camera app. Retrieved from Google reasearch blog: http://googleresearch.blogspot.mx/2014/04/lens-blur-in-new-google-camera-app.html

Ng, R. (2006). Digital light field photography. (Doctoral Dissertation). Stanford University.

Rigger, G., Tatarchuk, N., & Isidoro, J. (2003). ShaderX2 – Shader Programming Tips and Tricks with DirectX 9. Wordware.

Tibken, S. (2013, November 29). Wave fingers, make faces: The future of computing at Intel. Retrieved from Cnet news: http://www.cnet.com/news/wave-fingers-make-faces-the-future-of-computing-at-intel/

Wu, J., Zheng, C., Hu, X., Wang, Y., & Zhang, L. (2010, June 1). Realistic rendering of bokeh effect based on optical aberrations. The Visual Computer, 26(6-8), 555-563.

Z, E. (2014, April 14). tempo.co. Retrieved from http://en.tempo.co/read/news/2014/04/18/240571603/Google-Releases-Android-Camera-App

Biographical notes:

Omar Alejandro Rodríguez Rosas He obtained his Bachelor´s degree in Computer Science Engineering from the University of Guadalajara. He worked for two years at Intel as an Intern for the Visual and Parallel-Computing Group. He is currently a member of the multidisciplinary art collective Proyecto Caos and collaborates as a research assistant for the Intelligent Systems laboratory at the University of Guadalajara's University Center for Exact Sciences and Engineering.

ReCIBE, Año 3 No.3, Noviembre 2014

Gestión del tiempo ocioso dinámico para ajustar el consumo de energía en tareas de tiempo real integrando control multifrecuencia

Alfonso Salvador Alfonsi Sebastiani
Grupo de Investigación Arquitecturas de Sistemas de Control, Universidad de Oriente - Barcelona - Venezuela
alfonso_alfonsi@udo.edu.ve

Jesús Alberto Pérez Rodríguez
Universidad Politécnica Territorial del Estado Aragua "Federico Brito Figueroa" - Venezuela,
jesusaperez@gmail.com

Emery Richard Dunia Amair
Postgrado en Instrumentación, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela - Caracas - Venezuela
edunia@fisica.ciens.ucv.ve

Resumen: Este trabajo tiene como objetivo ajustar la energía consumida por tareas de tiempo real críticas, producto de la variabilidad de sus tiempos de cómputo usando la integración del control multifrecuencia y la planificación realimentada. Se adaptaron e integraron técnicas dinámicas que manejan el tiempo ocioso debido al tiempo de ejecución en el peor caso, al factor de carga del procesador y el aprovechamiento del tiempo ocioso por estiramiento a la(s) próxima(s) activación(es), en una Técnica Dinámica Multifrecuencia para el Manejo del Tiempo Ocioso, alojada en un planificador

realimentado para el ahorro de energía, dirigido a procesadores que varían el voltaje de alimentación y frecuencia de operación. Además se tomó ventaja de las técnicas de control multifrecuencia dado que la gestión de recursos es formulada como un problema de control de sistemas de cómputo que especifica a cada tarea por un lazo de control que trabaja a su propio periodo de activación, diferentes a los requeridos en la referencia y respuesta del sistema (factor de carga total del procesador).Los resultados arrojan que el tiempo ocioso debido a variabilidad de los tiempos de cómputo se distribuye de forma natural por los lazos de control multifrecuencia, global y localmente, pudiendo llegar a un ahorro de energía del 61,04%, dando un valor agregado Intra e InterTarea. Además, sugiere un buen desempeño al contrastarlo con otras estrategias.

Palabras clave: **ahorro de energía, control multifrecuencia, planificación de tiempo real, tiempo ocioso.**

Dynamic slack time management to adjust the power in real time task integrating multirate control

Abstract: **This work aims to adjust the energy consumed by hard real-time tasks, product variability of their execution times using integration of multirate control and feedback scheduling. Adapt and integrate dynamic techniques that handle the slack time due to the worst case execution time, update processor load factor and stretching of task to the next activation were adapted and integrated into Multirate Dynamic Technique for Management of Slack Time, lodged in power aware real-time scheduler, to processors which vary the power voltage and operation frequency. In addition take advantage of multirate control techniques because resource management is formulated as a computer systems control problem that specifies each task by a control loop that works at their own activation period, other than those required in the reference and system response (processor total load factor). Results show that**

the slack time due to variability of the execution time is distributed naturally by multirate control loop, globally and locally, and can reach an energy saving of 61.04%, giving intra- interTask added value. It suggests a good performance to contrast it with other strategies.

Keywords: multirate control, power aware, real-time scheduling, slack time.

1. Introducción

En la actualidad los sistemas empotrados se encuentran desde los más simples aparatos domésticos hasta dispositivos móviles de alta complejidad. La mayoría tienen en común capacidades limitadas de operación, ya que dependen del uso de baterías para su funcionamiento, además de poseer características de tiempo real, lo que puede llegar a ser un punto crítico y limitar su rendimiento.

Frente a las restricciones de energía y tiempo existe una vía relacionada a la capa intermedia de software (núcleo de control, sistema operativo) llamada Escalamiento Dinámico de Voltaje y Frecuencia (*DVFS: Dynamics Voltage Frecuency Scaling*), con la cual se puede reducir la energía consumida ajustando el voltaje de alimentación y frecuencia de operación de un procesador con características de bajo consumo de energía (Hu & Quan, 2008; Piguet, 2006). Además, para explotar el DVFS se han desarrollado técnicas que manejan el tiempo ocioso (*ST: Slack Time*) originado cuando se ejecuta una tarea consumiendo menos de su tiempo de cómputo de peor caso.

Si bien es cierto que el ST se utiliza en planificadores de tiempo real para ejecutar tareas aperiódicas junto con las periódicas con el objetivo de no violar sus restricciones temporales (Sha, Abdelzaher, Arzén, Cervin, Baker, Burns, Buttazzo, Caccamo, Lehoczky & Mok, 2006), no obstante subyace que puede orientarse a planificadores con ahorro de energía (Scordino & Lipary, 2007; Xia

& Sun, 2008; Abdelzaher, Diao, Hellerstein, Lu & Zhu, 2008), conjugando características para el ajuste de energía sin vulnerar las temporales.

Los planificadores con ahorro de energía disponen de estrategias estáticas y dinámicas. En las estáticas el planificador debe seguir los pasos marcados, ejecutando cada tarea a la velocidad indicada sujetándose a un plan concebido fuera de línea. Entre las estrategias estáticas se encuentran: velocidad constante máxima de la tarea, velocidad fija de la tarea, métodos estocásticos y las basadas en trayectorias. Por otro lado, las dinámicas cambian la planificación en tiempo de ejecución o en línea. En su mayoría, emplean una de las siguientes técnicas: uso del ST por otras tareas, actualización de la utilización del procesador, estiramiento de la tarea al próximo tiempo de llegada y métodos de predicción.

Dentro de los planificadores dinámicos con ahorro de energía existe una tendencia que refuerzan las funcionalidades combinando técnicas e integrando disciplinas, como las suministradas por la teoría de control realimentado, llamada planificación realimentada con ahorro de energía (Xia, Ma, Zhao, Sun, Dong, 2009; Niu, 2011; Chantem, Hu & Lemmon, 2009; Zhu & Muller, 2006).

La planificación realimentada con ahorro de energía permite formular la gestión de recursos como un problema de control de lazo cerrado, tratando los sistemas de cómputo como un proceso controlado (Xia & Sun, 2008; Abdelzaher et al., 2008; Xia et al., 2009; Niu, 2011; Chantem et al., 2009; Zhu & Muller, 2006). Esta planificación manifiesta el compromiso entre las características temporales del sistema y la señal de control hacia las demandas al procesador, que dependerá del nivel del voltaje de alimentación y frecuencia de operación requerida por las tareas involucradas en el sistema, de forma que se minimice el consumo de energía y no afecte sus restricciones temporales.

En atención a lo anteriormente expuesto este trabajo tiene como objetivo la adaptación e integración de las técnicas dinámicas que manejan el ST, como son uso del ST por otras tareas, la actualización de la utilización del

procesador y el estiramiento de la tarea al próximo tiempo de llegada, en una llamada técnica dinámica multifrecuencia para el manejo del ST. La cual toma ventaja del las técnicas de control multifrecuencia (Cimino & Prabhakar, 2010; Salt, Casanova, Cuenca & Pizá, 2008; Salt & Albertos, 2005), dado que la gestión de recursos es formulada como un problema de control de sistemas de cómputo (Xia et al., 2009), que especifica a cada tarea por un lazo de control que trabaja a su propio periodo de activación, diferentes a los requeridos en la referencia y respuesta del sistema. Además, combina criterios de la distribución del ST aportada por una tarea ejecutada, a la misma (Intratarea) y a diferentes tareas (InterTarea), cada vez que sea planificada (Scordino & Lipary, 2007).

La organización del trabajo es la siguiente: en la Sección 2 se expone la especificación del sistema, definiendo la tarea de control necesaria para conceptualizar la técnica dinámica para el manejo del ST, mostrando el enfoque multifrecuencia adoptado, para luego presentar en la sección 3 las experiencias que demuestran el funcionamiento de la técnica unificada. En la sección 4, se encuentra el agradecimiento. Y, en la sección 5 y 6 se pueden encontrar las conclusiones y las respectivas referencias.

2. Especificación del Sistema

Desde la óptica de los sistemas de control para los sistemas de cómputo se adopta una estructura con enfoque de control local y entrada de referencia local (Abdelzaher et al., 2008), incorporando técnicas multifrecuencia (Cimino & Prabhakar, 2010; Salt et al., 2008; Salt & Albertos, 2005), destacando que los controladores locales representan un conjunto finito de tareas de control (críticas, periódicas, aperiódicas, independientes, apropiables, no tienen restricciones de precedencia, ni presentan armonicidad en sus periodos de activación) que proporcionará resultados parciales guiados a diferentes

periodos, que a su vez serán totalizados, dando como resultado el factor de carga del procesador en un tiempo finito.

A continuación se define el modelo de la tarea de control que cumple con las especificaciones de tiempo y energía. Así como también la conceptualización, el enfoque basado en control multifrecuencia y la operacionalización de la técnica dinámica multifrecuencia para el manejo del ST.

2.1 Modelo de la Tarea de Control con las Especificaciones de Tiempo y Energía.

El modelo de la tarea de control se define como una entidad ejecutable T_i, siendo i la identificación para cada tarea, formada por un conjunto de instancias o unidades de trabajo $\tau_{i,k}$, que se manifiesta en la activación k. Siendo estos:

$$T_i = \{\tau_{i,k}\} \forall i \in (1,2,\ldots N) \perp k \in (1,2,\ldots M) \quad (1)$$

$$\tau_{i,k} = (C_{i,k}, D_{i,k}, P_{i,k}, \alpha_{i,k}) \quad (2)$$

donde $C_{i,k}$ es el tiempo de cómputo, $D_{i,k}$ el plazo de finalización y $P_{i,k}$ el periodo de activación. Parámetros comunes en la literatura de tiempo real (Sha et al., 2006).

El parámetro $\alpha_{i,k}$ es el factor de escalamiento que representa la normalización de la velocidad. Está acotado entre la frecuencia máxima (f_{max}) y mínima (f_{min}) de operación del procesador, calculada por:

$$\alpha_{i,k} = f_{i,k} / f_{max} \ \forall i \in (1,2,\ldots N) \perp k \in (1,2,\ldots M) \quad (3)$$

donde $f_{i,k}$ es la frecuencia actual de operación del procesador cuando ejecuta a $\tau_{i,k}$. El $\alpha_{i,k}$ será igual a uno cuando la frecuencia de operación es máxima (α^{fmax}).

Además, en este trabajo se cumple:

$$C_i^{fmax} \leq C_{i,k} \leq C_i^{fmin} \quad (4)$$

$D_{i,k} < P_{i,k} \perp D_{i,k} = D_i \quad \forall i \in (1,2,\ldots,N) \perp k(1,2,\ldots,M)$ (5)

$P_{i,k} = P_i \quad \forall i \in (1,2,\ldots,N) \perp k(1,2,\ldots,M)$ (6)

donde los superíndices expresan el cargo de la variable. Por ejemplo C_i^{fmax} se lee como el tiempo de cómputo de la tarea i ejecutado a frecuencia máxima del procesador f_{max}. De aquí en adelante este C_i^{fmax} es igual al tiempo de cómputo de peor caso de la tarea i ($WCET_i$: Worst Case Execution Times).

Tomando en consideración lo que se establece en trabajos previos (Scordino & Lipary, 2007; Xia & Sun, 2008; Chantem et al., 2009) se logra relacionar el tiempo de cómputo actual a $f_{i,k}$, y el obtenido a f_{max}, para obtener el factor de escalamiento mediante:

$$\alpha_{i,k} = WCET_i / C_{i,k} \quad (7)$$

Ahora bien, con todo lo anterior, se busca calcular el consumo de energía normalizado por $\tau_{i,k}$ en un procesador tomando un rango de tiempo fijo. Para lo cual se dispone de la siguiente aproximación (Piguet, 2006; Xia & Sun, 2008; Zhu & Muller, 2006):

$$E_{i,k}(\alpha) = \alpha_{i,k}^2 \quad (8)$$

2.2 Conceptualización del Técnica Dinámica Multifrecuencia para el Manejo del ST

A continuación se desarrollan y clasifican las tres técnicas dinámicas consideradas para aprovechar el ST, definiendo la distribución en las $\tau_{i,k}$, combinando criterios IntraTarea e InterTarea, que son integradas en una sólo, llamada Técnica Dinámica Multifrecuencia para el Manejo del ST (TDMFMTO).

La primera, uso del ST debido al WCET, (Sha et al., 2006; Niu, 2011; Zhu & Muller, 2006; Urriza & Orozco, 2005), está orientada a calcular y entregar el ST

ocasionado por la ejecución de una $\tau_{i,k}$, a su próxima ejecución. De aquí en adelante este ST se representa por las siglas *STWCET*, y está dado por:

$$STWCET_{i,k} = WCET_i - C_{i,k} \qquad (9)$$

La segunda técnica es la debida a la actualización de la utilización del procesador (Scordino & Lipary, 2007; Xia & Sun, 2008; Abdelzaher et al., 2008). No obstante, como lo que se persigue es integrar con técnicas multifrecuencia, en este trabajo se emplea el factor de carga del procesador en vez de la utilización del mismo. De aquí en adelante se identifica con *STU*.

Por tanto, se define el factor de carga del procesador $U\tau$ como el parámetro indicativo de requerimiento del procesador para que se ejecuten un conjunto de $\tau_{i,k}$ en un intervalo finito de tiempo *IM*. Dado por:

$$U_T = \frac{\sum_{i=1}^{N} \sum_{k=1}^{N_{\tau_i}} C_{i,k}}{IM} \leq 1 \text{ para } \alpha = 1 \qquad (10)$$

donde *N* es el número máximo de tareas, y $N\tau_i$ es el número de $\tau_{i,k}$ involucradas en *IM*. El $N\tau_i$ es definida por:

$$N\tau_i = IM / P_i \ \forall i \in (1,2,\ldots,N) \rightarrow N\tau_i \in Z^+ \qquad (11)$$

La condición menor o igual a uno de (10), proviene de la prueba de planificabilidad, donde la menor cota para el U_T es uno, por lo tanto las T_i pueden utilizar el 100% del procesador y aún ser planificable. Esta prueba de planificabilidad está asociada al planificador dinámico *EDF (Earliest Deadline First)* (Liu y Laiyland, 1973) ampliamente conocido en la literatura de los sistemas de tiempo real (Sha et al., 2006).

Al hacer $C_{i,k}$ = $WCET_i$, en (10), se obtiene el factor de carga total del procesador máxima U_T^{fmax} . También se necesita el factor de carga del procesador máxima debido a las instancias $\tau_{i,k}$ de cada tarea, a ejecutarse, en

su periodo de activación P_i, identificado como U_i^{fmax}. Estos parámetros ayudan a definir el factor de contribución normalizado (σ_i) por cada T_i, como sigue:

$$\sigma_i = U_i^{fmax} / U_T^{fmax} \qquad (12)$$

Además, debido al enfoque de control realimentado se debe asignar un factor de carga del procesador de referencia (U_{ref}), con el cual se obtienen, de la ecuación (13), los factores de carga del procesador por cada tarea (U_{refi}), y de (14) los tiempos de cómputo asociados a estos U_{refi}.

$$U_{refi} = \sigma_i U_{ref} \qquad (13)$$

$$C_{i,k}{}^{U}{}_{ref} = U_{refi}\, IM / N\tau_i \;\; \forall i \in (1,2,\ldots,N) \perp N\tau_i \in Z^+ \qquad (14)$$

Definiendo al $STU_{i,k}$ por:

$$STU_{i,k} = C_{i,k}{}^{f}{}_{max} - C_{i,k}{}^{U}{}_{refi} \qquad (15)$$

La tercera técnica no sólo aborda la condición básica que consiste en medir cuál es el intervalo desde la finalización de una $\tau_{i,k}$ hasta su próxima activación o hasta su D_i, para adjudicársela a su próxima $\tau_{i,k}$ planificada (Scordino & Lipary, 2007), con la condición de consumir todo su $WCET_i$.

Sino también se extiende a otra situación adicional que toma en consideración los próximos arribos de todas las $\tau_{i,k}$ planificadas. El *ST* debido a estas dos causas se define como el *ST* por Estiramiento a la(s) Próxima(s) Activación(es), o por siglas *STEPA*.

Entonces, tomando en cuenta la primera condición, el *STEPA* puede ser calculado como:

$$STEPA_{i,k} = I_{i,k} \qquad (16)$$

siendo $I_{i,k}$ la distancia al plazo de finalización de $\tau_{i,k}$, dado por

$$I_{i,k} = D_i - C_{i,k} \qquad (17)$$

recordando que D_i es el plazo de finalización de una tarea y $C_{i,k}$ el respectivo tiempo de cómputo.

Merece destacar que el *STEPA* debe cumplir con la condición $0 \leq STEPA_{i,k} \leq I_{i,k}$.

Ahora bien, cuando se considera la segunda condición referente a los próximos arribos de las tareas planificadas, siendo $D_i=P_i$, se debe tener claro que distancia al próximo arribo más cercano de una instancia planificada, está dada por $I_{\tau i,k}$, entonces:

$$\exists STEPA_{i,k} \in [T_{Fi,k} , P_{abz}] \mid STEPA_{i,k} = I_{\tau i,k} \perp I_{\tau i,k} = P_{abz} - T_{Fi,k} \ \forall i,z \in (1,2,\ldots,N) \perp k \in (1,2,\ldots,M) \quad (18)$$

$T_{Fi,k}$ es el tiempo de finalización de $\tau_{i,k}$, calculada por

$$T_{Fi,k} = r_{i,k} + C_{i,k} \quad (19)$$

P_{abz} es el próximo tiempo de arribo más cercano de una $\tau_{i,k}$ planificada o el próximo período absoluto de

$\tau_{z,k}$, siendo el subíndice z la identificación de la tarea planificada lista para su ejecución.

$$P_{abz} = (k - 1)P_z + P_z \quad (20)$$

Se debe cumplir la siguiente condición $T_{Fi,k} < P_{abz}$

En la Figura 1 se presenta un ejemplo de como se distribuye el *ST* según el criterio IntraTarea, con las técnicas definidas hasta el momento.

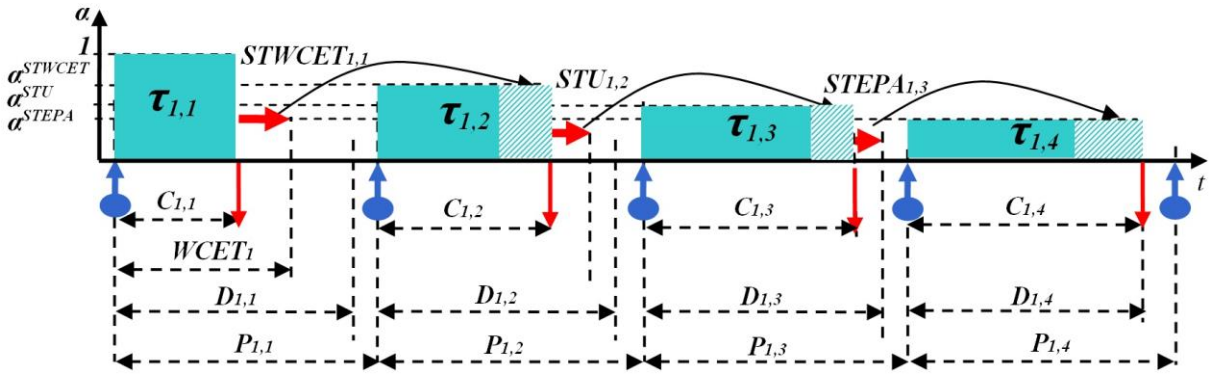

Figura 1. *Tarea de Control T_i aprovecha el ST para variar sus $\tau_{i,k}$ según el STWCET, STU y STEPA tomando en cuenta la próxima activación o su D_i*

.

Nomenclatura: *α^{STWCET}: factor de escalamiento debido al STWCET. α^{STU}: factor de escalamiento debido al STU. α^{STEPA}: factor de escalamiento debido al STEPA*

Inicia con $\tau_{1,1}$ ejecutándose a α^{fmax}, y a un $C_{1,1}$ menor que su $WCET_1$, por lo que un $STWCET_{1,1}$ es calculado. En $\tau_{1,2}$ se utiliza este *ST*, incrementando su $C_{1,2}$, causado por el cambio del factor de escalamiento debido al *STWCET* (α^{STWCET}); a su vez, existe un $STU_{1,2}$, que es considerado por $\tau_{1,3}$, pudiendo ajustar al factor de escalamiento debido al *STU* (α^{STU}). En $\tau_{1,3}$ se activa el *STEPA*, ocasionando que $\tau_{1,4}$ se ejecute a un factor de escalamiento debido al *STEPA* (α^{STEPA}), por consiguiente varíe su $C_{1,4}$.

2.3 Enfoque de Control Multifrecuencia Realimentado del Factor de Carga del Procesador total U_T

Para sistematizar la combinación de las técnicas dinámicas para el manejo del *ST*, detalladas en secciones anteriores, se introduce una estructura funcional con enfoque de control local y entrada de referencia local (Figura 2) (la constante K_e divide la señal de error de acuerdo a ganancias por cada lazo de control local) incorporando un control con muestreo no convencional o

multifrecuencia (MF) del factor de carga del procesador total (U_T), el cual será muestreado cada periodo global o hiperperiodo *H*, dado por

$$H = m.c.m(Pi) \qquad (21)$$

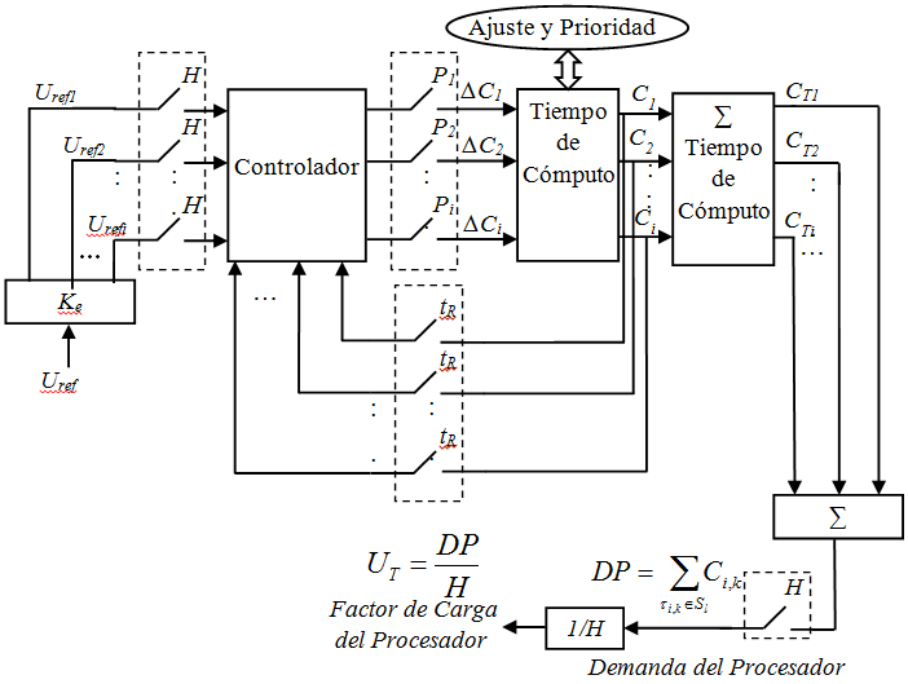

Figura 2. *Estructura funcional del control multifrecuencia para el U_T, donde el lazo de control local, las entradas locales (U_{refi}) están muestreada a H, el cambio en los tiempos de cómputo (ΔC_i) a Pi. Los $C_{i,k}$, son realimentados a un tiempo de muestreo t_R, y totalizados (C_{Ti}) para obtener la demanda del procesador (DP), para luego calcular el U_T a H.*

La estructura funcional del control MF permite ajustar la velocidad a un conjunto de instancias de modo global (cada hiperperiodo *H*) y local (cada período de ejecución Pi), ambas acotadas en *H*.

Para el primer caso, global cada *H*, se definen los muestreadores t_R ubicados en los lazos de realimentación local igual a *H*, y se emplea a la entrada del controlador una operación multifrecuencia de expansión o *Expand (OPMF_Expand)*, ya que se necesita que la señal de salida del controlador aumente su tiempo de muestreo y que se disponga cada *H*, dejando las otras

secuencias a P_i en cero. A la salida del sumador, una operación multifrecuencia de salto o *Skip (OPMF_Skip)*, debido a que se necesita la demanda del procesador (C_{Ti}) ocasionada por las entregas parciales de cada tarea a *H*, no importando las totalizaciones parciales a P_i.

El segundo caso, local cada período de ejecución *Pi*, admite variar la velocidad en cada instancia $\tau_{i,k}$. Es decir, las instancias se pueden ejecutar a velocidades diferentes durante *H*, al definir los muestreadores t_R de los lazos de realimentación local igual a los P_i, aplicando a la referencia una operación multifrecuencia de retención u *Hold (OPMF_Hold)*, ya que se necesita que esta señal sea mantenida y disponible cada P_i. En la salida del sumador se aplica una operación multifrecuencia de salto, como se establece en el primer caso.

Con lo anterior es posible, darle a las $\tau_{i,k}$ la capacidad de variar sus $C_{i,k}$ de manera local y global, ya que el *STU* y *STWCET* se calculan de forma natural debido a la acción del lazo de control local multifrecuencia. No obstante, la estructura funcional *MF* debe ser reforzada por una entidad funcional llamada "Ajuste y Prioridad" para sacar provecho de la técnica *STEPA*, junto al algoritmo de planificación de tiempo real EDF.

Módulo Ajuste y Prioridad

En este módulo se establecen la política de planificación que dará permiso a las tareas para su ejecución, el factor de escalamiento de borde, y el procedimiento para activar el *STEPA*.

Como política de planificación se elige el *EDF* (Liu y Laiyland, 1973) el cual ejecuta en cada momento la tarea cuyo plazo de finalización (absoluto) está más próximo. Se justifica ésta selección porque puede ser usado para la planificación de tareas periódicas como aperiódicas ya que no hace uso de la periodicidad de las tareas para la planificación. Adicionalmente, su desempeño y uso en las arquitecturas realimentadas (Hu & Quan, 2007; Scordino & Lipari, 2007; Zhu & Muller, 2006; Xia & Sun, 2008; Xia, , Ma, Zhao, Sun & Dong,

2009) está comprobado, y se adapta a las características funcionales establecidas en este trabajo.

Es importante señalar, la adopción aquí del *EDF* no restringe usar otras políticas de planificación, ya sean estáticas o dinámicas.

Otro punto a tener en consideración son las debidas a restricciones de planificación, ya que es posible que las $\tau_{i,k}$ no logren ser ejecutadas en todas las velocidades ofrecidas por el procesador. Por tal motivo se define el factor de escalamiento de borde α^{borde} por la relación que existe entre los factores de carga del procesador total a frecuencia máxima (U_T^{fmax}) y el de referencia (U_{ref}).

El α^{borde} establece el rango real de operación para una aplicación, que propondrá un rango de C_i para ejecutarse sin violar las restricciones temporales, permanecer dentro de la utilización de referencia del procesador y ajustar el consumo de energía. Está dado por:

$$\alpha^{borde} = U_T^{fmax} / U_{ref} \qquad (22)$$

Con respecto al procedimiento para activar el STEPA, desarrollado en la sección 2.2, se entrega en la próxima sección, en el algoritmo 3 el método *DeterSTEPA()* para su implementación.

2.4 Operacionalización de *TDMFMTO*

Para implementar la técnica se toma ventaja de codificación de programas en lenguajes con capacidad orientada objeto y librerías de aplicación para integrar clases en la estructura funcional del control MF

Lo primero es establecer los ambientes temporales de la aplicación y del procesador. De la aplicación, son conocidos los tiempos de cómputo a máxima frecuencia C_i^{fmax} *o* $WCET_i$, los P_i, y sus D_i. Así como también el Factor de Carga de referencia U_{ref}.

Se calcula, fuera de línea, lo siguiente:

1. El hiperperiodo *H* con (21).
2. El número de instancias $N_{\tau i}$ que se deberían ejecutar durante *H* con (11).
3. Con (12) el factor de carga de contribución de la referencia local σ_i.
4. Con (10) el factor de carga a máxima frecuencia, U_T^{fmax}.
5. El factor de escalamiento del procesador de borde α^{borde} con (22).

Por parte del procesador se conocen los parámetros operación como los diferentes niveles de frecuencia y voltaje de alimentación.

A continuación se presentan los Algoritmos 1 y 2 que detallan los prototipos de las clases *Sistema* y *Tarea*. También se describen los términos que no han sido especificados, hasta ahora.

Términos:

nea
: Niveles de escalado dependiente de la aplicación.

errorlocal
: Error del lazo realimentado local.

Listo
: Estado de Listo.

Ejec
: Estado de Ejecución.

C_{st}
: Tiempo de cómputo sintético o analítico.

D_{ab}
: Plazo de finalización absoluto de T_i.

$r_{i,k}$
: Tiempo de invocación o activación de $\tau_{i,k}$.

CTL
: Sumatoria de los tiempos de cómputo de cada T_i.

deltaC
: Cambio del tiempo de cómputo por instancia.

alfa
: Factor de escalamiento sintético o analítico.

Cant
: Tiempo de cómputo anterior o $C_{i,k-1}$.

STEPA
: *ST* próxima activación.

Algoritmo 1: Prototipo clase Sistema	
1	Inicio_clase
2	Sistema(float q=0,float n=0) //q=Uref y n=H
3	float Factor_Carga() //Ecuación (11)
4	Fin_clase Sistema

Algoritmo 2: Prototipo clase Tarea	
1	Inicio_clase
2	//Definición de variables
3	float C,WCET,P,D,Ut,nea,Cant,Uref,H,Cref,errorlocal,Cst,STEPA
4	boolean Listo,Ejec
5	Tarea(float a=0,float b=0,…….)
6	float referlocal() //Referencia local
7	float error_local() //Establece error local para cada lazo i
8	float TareaCtrol() //Controlador local
9	float Compst() //Cálculo local Ci,k
10	float CambioFV() //Ajuste velocidad depende del procesador
11	float EjecutarComp() //Ejecución Ti depende planificador
12	float CalculoCompT() //Módulo Acumulador
13	float DeterSTEPA() //ST próxima activación
14	Fin_clase Tarea

El Algoritmo 3 están los métodos que definen al TDMFMTO, error_local(), Compst(), CalculoCompT() y DeterSTEPA().

Algoritmo 3: Definición clase Tarea con TDMFMTO	
1	float Tarea::referlocal(flota m, flota o) //Método referencia local
2	Inicio_definicion clase
3	N_{Ti}=m; U_T^{fmax}=0
4	//Significado de notaciones
5	float σ, K_e, U_{refi}
6	Cálcular σ_i //Factor contribución normalizado xT_i ecuación (12)
7	$U_{refi} = \sigma_i U_{refi}$ //Referencia local ecuación (13)
8	$K_e = \sigma_i H / N_{Ti}$ //Ganancia de referencia local
9	Crefi= $U_{refi}K_e$ //Tiempo de cómputo x T_i de referencia
10	Fin_definición
11	
12	float Tarea::errorlocal() //Método de la clase tarea error local
13	Inicio_definicion clase

14	Si Op=global entonces //Operación Global
15	errorlocal=OpMF_Expand(C_{ref}^{H}-C_{st})
16	de lo contrario //Operación Local
17	C_{ref}^{Pi}=OpMF_Hold(C_{ref}^{H})
18	errorlocal=C_{ref}^{Pi}-C_{st}
19	Fin_Si
20	Fin_definicion
21	
22	float Tarea::Compst() //Método de la clase tarea local $C_{i,k}$
23	Inicio_definicion clase
24	flota deltaC,alfa
25	deltaC = this → TareaCtrol
26	C_{st}^{Pi} = Cant+deltaC
27	$STEPA_{st}$ = this → DeterSTEPA
28	C_{st}^{Pi} = C_{st}^{Pi}+STEPA
29	alfa=WCET/C_{st}^{Pi} //Factor de escalamiento analítico
30	Si Op=global entoces //Operación Global a H
31	C_{st} = OpMF_Skip(C_{st}^{Pi})
32	de lo contrario //Operación Local a Pi
33	C_{st} = C_{st}^{Pi}
34	Fin_Si
35	Fin_definicion
36	
37	float Tarea::DeterSTEPA() //Tiempo ocioso próxima activación
38	Inicio_definicion clase
39	float Tf_{ik},$r_{i,k}$
40	Tf_{ik} = $r_{i,k}$ + C_{st} //Tiempo de finalización ecuación (19)
41	Si $Tf_{i,k}$ < Dab entonces STEPA = $Tf_{i,k}$ - Dab
42	de lo contrario STEPA = 0,00
43	Fin_Si
44	Fin_definicion
45	
46	float Tarea::CalculoCompT()
47	Inicio_definicion clase //Módulo Acumulador
48	float CTL
49	CTL = Cant + C_{st}
50	Cant = CTL
51	Return CTL //Desde programa principal se aplica Skip a H
52	Fin_definicion

Las otras definiciones de la clase Tarea, como *TareaCtrol(), CambioFV(), EjecutarComp()* son realizadas a partir de las características del algoritmo de control, procesador utilizado, y la política de planificación, que para este caso es el *EDF* (Liu y Laiyland, 1973).

3. Discusión de los Resultados

Para evaluar el funcionamiento y el comportamiento de las tareas a nivel de la planificación y nivel energético se materializó del TDMFMTO en códigos desarrollados en C++, tomando ventaja de la programación orientada objeto y librerías de aplicación para integrar clases, de la estructura funcional del control MF, la política de planificación *EDF*, el factor de escalamiento de borde y el procedimiento para activar el STEPA. Así como también, el cálculo del consumo de energía normalizado ($E_{i,k}$) con la aproximación dada por (8).

Con respecto al procesador se toma como base a un procesador hipotético que varía linealmente su voltaje y frecuencia de operación, cuyas características se presentan en la Tabla 1. Vale la pena mencionar que el tiempo de conmutación de una frecuencia a otra, es típicamente en microsegundos (entre 30 µs y 150 µs), mientras los tiempos de cómputo de las tareas es en milisegundo. Por lo tanto, comparando éstos tiempos, el tiempo de conmutación puede ser ignorado (Rizvandi, Venkatachalam & Franz, 2005; Piguet, 2006; Rakhmatov, 2008; Chang, Chang & Tsai, 2009; Taheri, & Zomaya, 2011).

Parámetros	Mínimo			Máximo	
Frecuencia (MHz)	150,00	400,00	600,00	800,00	1.000,00
Voltaje (V)	0,750	1,00	1,30	1,60	1,80
α	0,150	0,40	0,60	0,80	1,00
Energía = α^2	0,023	0,16	0,36	0,64	1,00

Tabla 1. *Características del Procesador variable de voltaje y frecuencia Hipotético*

Para el análisis de algoritmos de planificación de tareas con ahorro de energía existen cuatro condiciones a saber: debido a efectos de la variabilidad de los tiempos de cómputo, al factor de carga local o total del procesador, los producidos por el número de tareas, y los cambios en el procesador variable de voltaje y frecuencia (Shin, Kim, Jeon, Kim & Min, 2003; Kim, Shin, Yun, Kim & Min, 2003; Bhatti, Belleudy & Auguin, 2010).

Hay trabajos que se pronuncian y tienen un concenso respecto a la utilización de estas condiciones (Shin, Choi, & Sakurai, 2001; Moncusí, 2005; Choi, Chang & Kim, 2007; Xian, Lu & Li, 2008; Bhatti, Belleudy & Auguin, 2010). Una de ellas, el efecto que produce variar el número de tareas involucradas en el sistema no presenta diferencias significativas. Si bien es cierto, que con mayor número de tareas hay oportunidades para generar más ST y la posibilidad de utilizarlos, esto no cambiará que la utilización o factor de carga del procesador debe ser menor e igual a uno para garantizar la planificación y funcionamiento temporal de la aplicación. Esto permite señalar que el principal determinante de las variaciones en el consumo de energía sigue siendo la carga de trabajo real. Otro pronunciamiento referido al rendimiento respecto al ahorro de energía, es que tiende a ser mejor cuanto mayor sea el número de niveles de voltaje y frecuencia disponibles de operación por parte del procesador, ocurriendo lo contrario cuando ese número disminuye. Por tanto estos efectos son dirigidos por el procesador y no por el enfoque usado en éste trabajo. Por estas razones para las experiencias se tomaron las dos primeras condiciones, los efectos de la variabilidad de los tiempos de cómputo y los debidos al factor de carga local o total del procesador.

Se desarrollan dos experiencias que muestran Una con $\alpha = 1$ en su primer H, para luego variar α en los sucesivos hiperperiodos (modo global); la segunda haciendo que α varíe cada vez que se instancie una tarea (modo local).

En la Tabla 2 se muestra un conjunto de tareas para realizar pruebas comparativas *(benchmark)*, propuestas por Shin, Choi & Sakurai (2001),

utilizadas para evaluar los algoritmos de Moncusí (2005), Choi, Chang & Kim (2007), Rakhmatov (2008) y Chang, Chang & Tsai (2009).

Tarea	P (ms)	D (ms)	WCET (ms)
T1	50	50	10
T2	80	80	20
T1	100	100	40

Tabla 2. *Pruebas Comparativas (Shin, Choi & Sakurai, 2001)*

Para una mejor comprensión de las experiencias realizadas se usa el diagrama de planificación y escalado de velocidad, cuyo objetivo es mostrar el tiempo de dedicación previsto para las diferentes $\tau_{i,k}$ a lo largo de un tiempo determinado y el factor de escalamiento de velocidad α a la cual es sometida. Se destacan los tiempos de activación de cada $\tau_{i,k}$ a lo largo del tiempo.

3.1 Prueba Uno: Convencional α =1 Sin Escalamiento, y Con Escalamiento Global de Velocidad Lineal

En la Figura 3 se observa que en *t = 0* con U*ref* = 0,95, y aplicando la *OPMF_Expand (H a t_i)*, las tareas son ejecutadas, arrojando los siguientes valores:

$$C^{st} = \{ 10{,}00\ 20{,}00\ 40{,}00 \}\ ms\ a\ \alpha = 1$$

Vale la pena mencionar que el subíndice *st* indica que los cálculos son sintéticos o analíticos.

A 400 ms se aplica la *OPMF_Skip*, resultando:

$$E(\alpha) = \alpha^2 = 1\ C_{Ti} = \{ 80{,}00\ 100{,}00\ 160{,}00 \} ms$$

De (10) se calcula, su numerador la ms, arrojando

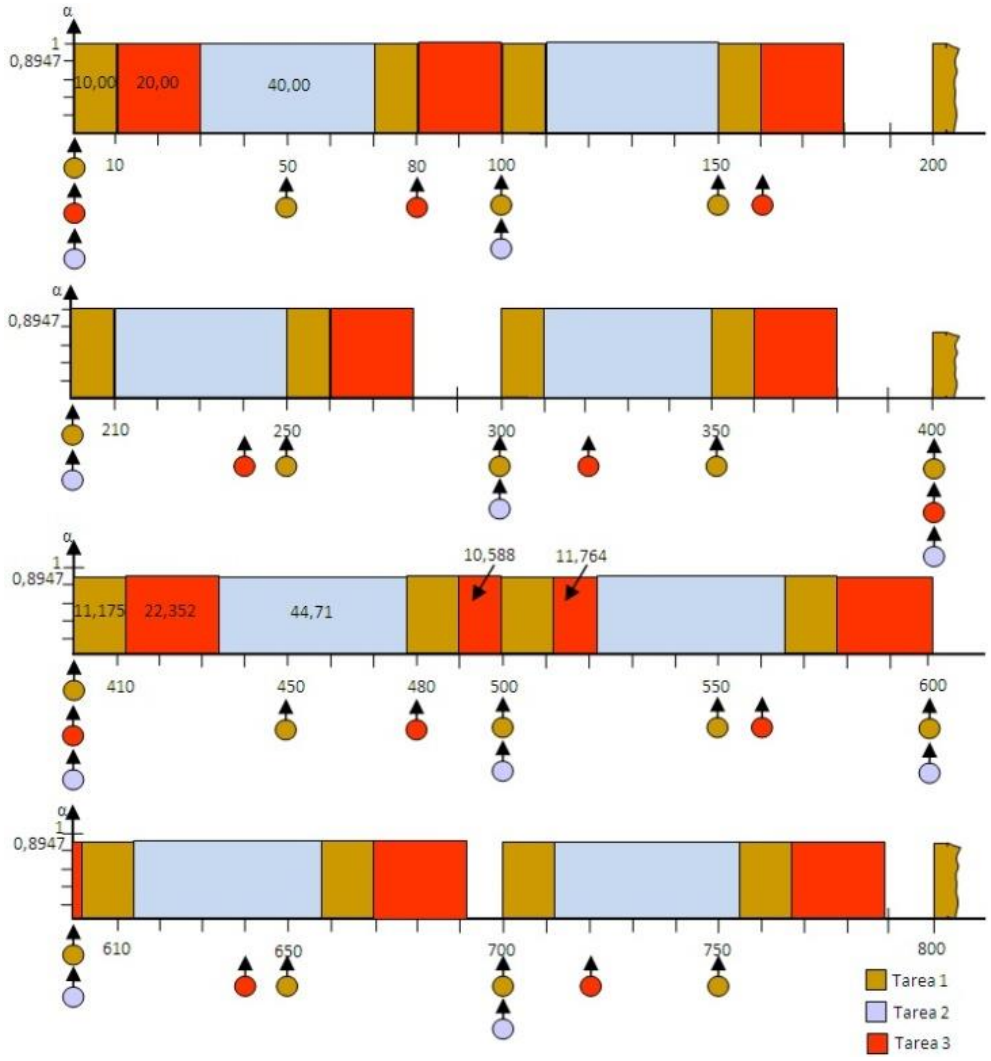

Figura 3. *Comportamiento de las tareas bajo EDF con escalamiento global, α=1 y variable lineal. Consumen el 100% de sus* $C_{i,k}$.

.

A partir de 400 ms inicia el segundo hiperperiodo, la U_{ref}=0,95, donde el tiempo de cómputo de referencia local C_{refi} toma los siguientes valores { 11,175 22,352 44,710 }ms.

Aunque estas magnitudes son causa de la U_{ref}=0,95, por razones de las características temporales de las tareas, para este segundo hiperperiodo se ejecutarán las tareas a:

C_i^{st} = { 11,175 22,352 44,710 }ms a α^{st} = 0,8947

Al aplicar *OPMF_Skip* a 800 ms, da como resultado:

$E(\alpha) = \alpha^2 = 0,80$ C_{Ti} = { 89,40 111,76 178,84 }ms
$DP = 380,00$ ms $U_T = 0,95$

Se alcanza la referencia, por lo tanto, el comportamiento del sistema es similar en el resto de los hiperperiodos, quedando una energía normalizada de $E(\alpha)=0,8$.

3.2 Prueba Dos: Con Escalamiento Local de Velocidad Lineal

Aquí, la ejecución de cada instancia de una tarea se ejecuta durante un hiperperiodo a diferentes velocidades. En la Figura 4 se observa que en *t=0* con U_{ref}=0,95 y aplicando la *OPMF_Hold (H a t_i)*, las tareas son ejecutadas, manifestándose los siguientes valores:

C^{st} = { 10,00 20,00 40,00 }ms a $\alpha = 1$

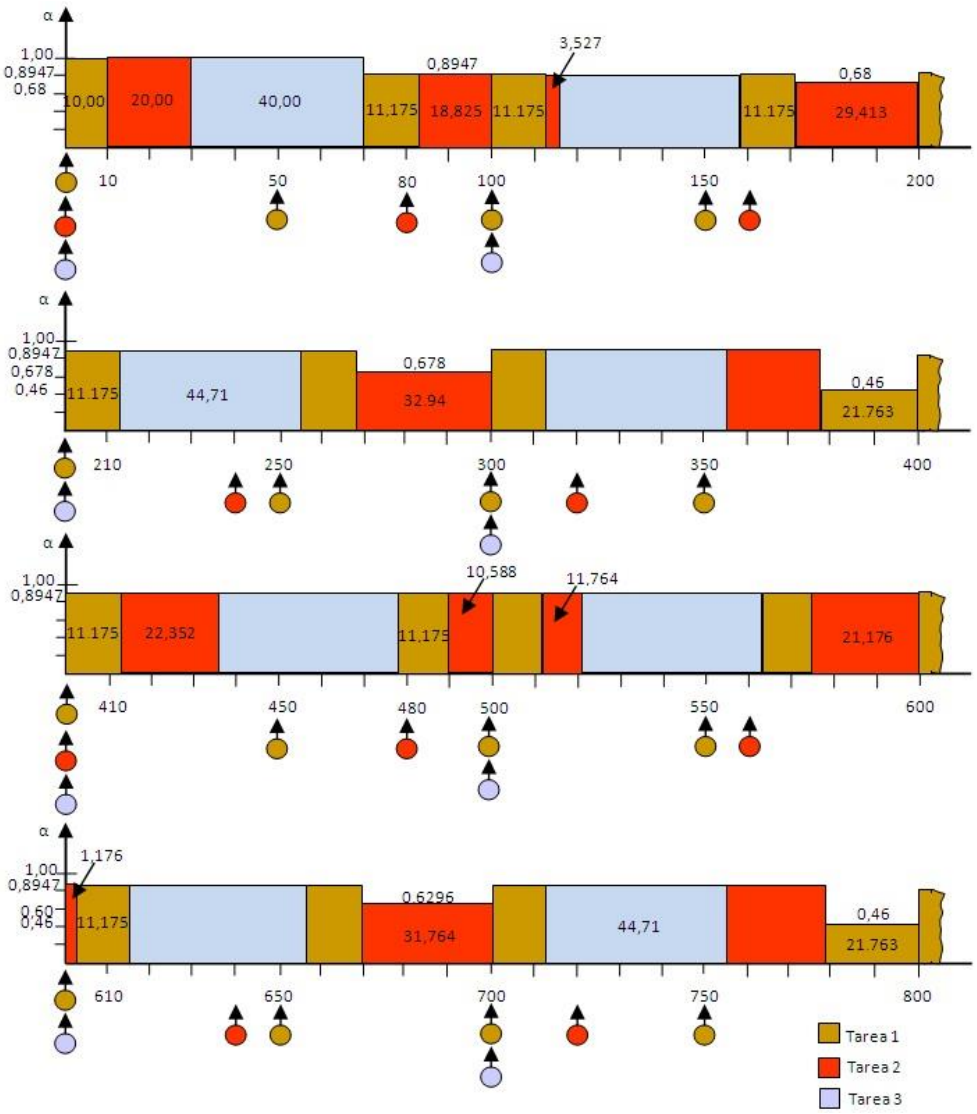

Figura 4. *Comportamiento de las tareas bajo EDF con escalamiento local variable lineal, y consumen el 100% de sus* $C_{i,k}$.

.

Para 70 ms las tareas se les adjudica el *STU*, y se ejecutan a α=0,8947 que garantiza la U_{ref} = 0,95. En 170,587 ms inicia ejecución $\tau_{2,3}$, produciéndose lo siguiente:

$e_{12,3} = C_{ref2} - C_{2,2} = 0{,}00$ ms; $\Delta C_{2,3} = 0{,}00$ ms; $C^{st}_{2,3} = 22{,}352$ ms

Luego se ejecuta el criterio de la próxima activación (STEPA), quedando ahora:

$C^{st}_{2,3}$ = 29,413 ms; $\alpha^{st}_{2,3}$ = 0,68 → Ee ejecuta $\tau_{2,3}$; $E_{2,3}$ = 0,4624

Lo anterior se repetirá en las instancias $\tau_{2,4}$, $\tau_{1,8}$, $\tau_{2,9}$ y $\tau_{1,16}$

El comportamiento en el primer hiperperiodo se resume así:

C_{Ti}^{H} = { 98,813 127,057 174,13 }; DP^{H} = 400,00; U_T = 1,00

$$E_{i,k}(\alpha) = \begin{Bmatrix} 1{,}00 & 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}212 \\ 1{,}00 & 0{,}80 & 0{,}4624 & 0{,}4624 & 0{,}80 & & & \\ 1{,}00 & 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}80 & & & & \end{Bmatrix}$$

El comportamiento en el segundo hiperperiodo arroja lo siguiente:

C_{Ti}^{H} = { 99,99 121,17 178,84 }; DP^{H} = 400,00; U_T = 1,00

$$E_{i,k}(\alpha) = \begin{Bmatrix} 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}212 \\ 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}396 & 0{,}80 & & & \\ 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}80 & 0{,}80 & & & & \end{Bmatrix}$$

Se destaca que la actividad del *STU* y *STWCET* es operada naturalmente por el lazo realimentado, activando la utilización del *STEPA* cuando las condiciones se cumplen. Cada tarea está controlada por un lazo local que podrá actualizar sus tiempos cómputos, ya sea en la próxima instancia de ejecución o al finalizar el hiperperiodo. El $\alpha_{i,k}^{st}$ está alrededor de 0,8947, siendo este el que garantiza la U_{ref} = 0,95.

La Figura 5 muestra el comportamiento de las tareas cuando consumen entre 50% y 100% de sus $C_{i,k}$, con escalamiento lineal local. Lo que permite señalar que los lazos de control trabajan con sus referencias, dejando la flexibilidad de que localmente sean ajustados por el planificador en caso de existir condiciones para aprovechar un ST.

Adicionalmente, en la Figura 6, se visualiza el comportamiento de los modos de trabajo de la técnica, global y local, ejecutando las tareas variando sus $C_{i,k}$ aleatoriamente, al entrar en cada hiperperiodo, con escala lineal. Arroja, que el ahorro de energía global *(AE global)*, desde el segundo hiperperiodo en

adelante, alcanza su referencia, quedando en 10,60%, con escala lineal. El comportamiento del ahorro local *(AE local)*, es creciente desde su inicio, esto es debido al aumento progresivo de las demandas del procesador o *DP*, al utilizar los *STEPA* para alargar sus $C_{i,k}$. Entonces, a medida que aumentan los *ST* estos son consumidos por las tareas en sus próximas instancias debido al *STWCET* y *STU*, o en la ejecución actual de la instancia de la tarea como lo refiere *STEPA*.

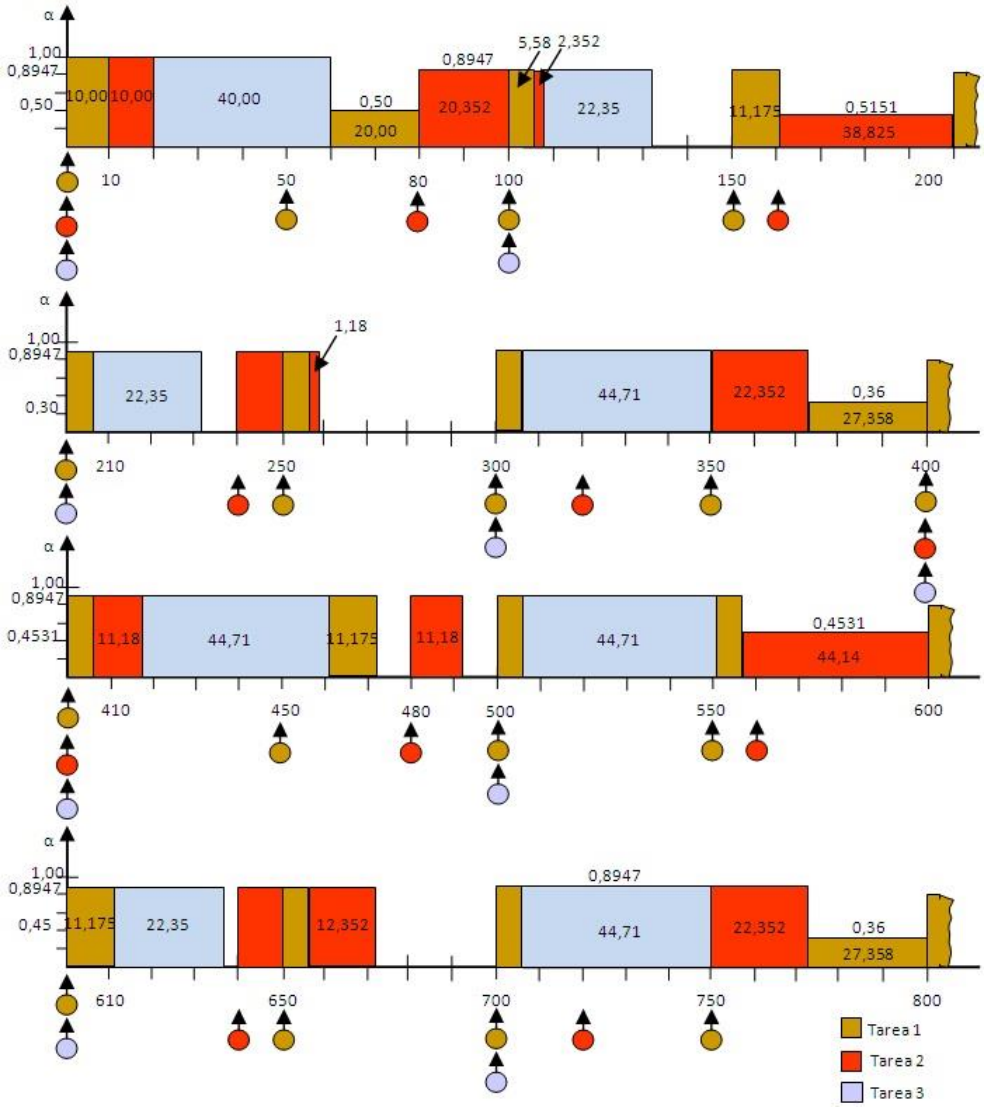

Figura 5. *Diagramas de planificación de las tareas con EDF, escalamiento lineal local, T1, T2 y T3 consumen entre 50% y 100% de sus $C_{i,k}$. .*

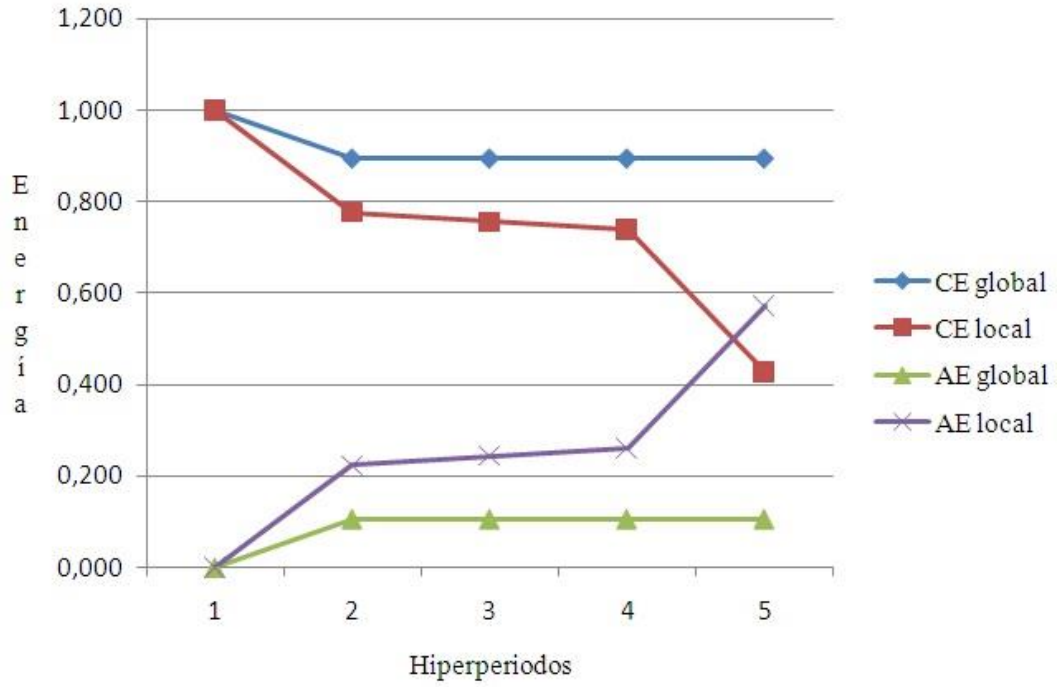

Figura 6. *Comportamiento de los modos de trabajo, global y local, variando los tiempo de cómputo aleatoriamente, en cada hiperperiodo, con escala lineal.*

3.3 Comparación de *TDMFMTO* con otros planificadores

Adicionalmente, se comparó el ahorro de energía obtenido con TDMFMTO alojado en estructura funcional del control MF (Figura 2), y otras técnicas que usan los planificadores de Sha et al. (2006), Shin, Choi & Sakurai (2001), Moncusí (2005) y Zhu & Muller (2006), registrándose en la Tabla 3 los resultados arrojados,

Planificador	Ahorro de Energía Consumo 100% $C_{i,k}$	Ahorro de Energía Consumo 50% $C_{i,k}$
EDF (Sha et al., 2006)	0,000	0,000
DVS-EDF (Zhu & Muller, 2006)	0,108	0,600
PLMDP (Moncusí, 2005)	0,082	0,700
LPFPS (Shin, Choi & Sakurai, 2001)	0,076	0,548
Estructura funcional del control MF +TDMFMTO	0,133	0,583

Tabla 3. *Comparación estructura funcional del control MF+TDMFMTO con otros planificadores, consumiendo el 100% y 50% de sus $C_{i,k}$ con escala lineal.*

Se observa, cuando se consume el 100% de sus $C_{i,k}$, la estructura funcional del control *MF+TDMFMTO* y el *DVS-EDF*, planificadores realimentados, arrojan el mayor ahorro de energía de 13,30% y 10,82%, debido a la búsqueda de su referencia, manejando de forma natural el *STWCET* y *STU*, ocasionada por el lazo realimentado, dejando algunos ajustes para el *STEPA*.

Sin embargo, cuando consume el 50% de sus $C_{i,k}$, el ahorro de la estructura funcional del control *MF+TDMFMTO* es del 58,30%, por encima del *DVS-EDF y PLMDP*. Esto sucede debido a que la demanda del procesador que se necesita para ejecutar las tareas asignadas en el hiperperiodo, con la restricción impuesta del 50% de sus $C_{i,k}$, ocasiona que existan más cálculos del *ST* y a su vez buscan cumplir con la referencia indicada. En cambio el *PLMDP*, aunque su característica de planificación es estática, trabaja en la aplicación en forma dinámica, lo que aprovecha para realizar cálculos a favor.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado una estrategia para aprovechar el tiempo ocioso dinámico dirigido al ahorro de energía usando lineamientos de la planificación realimentada. Materializándose en lazos de control multifrecuencia para el factor de carga de un procesador, acompañado de un módulo de ajuste y prioridad.

Se adaptaron e integraron tres técnicas dinámicas como son: el uso del tiempo ocioso debido al *WCET (STWCET)*, factor de carga del procesador *(STU)* y el uso del tiempo ocioso por estiramiento a la(s) próxima(s) activación(es) *(STEPA)*. En una en una llamada Técnica Dinámica Multifrecuencia para el

Manejo del Tiempo Ocioso *(TDMFMTO)*, la cual se alojó en un planificador realimentado para el ahorro de energía, basado en *DVFS*.

Las pruebas realizadas demuestran que el enfoque adoptado deja la flexibilidad de que tanto a nivel global o local el planificador actúa en caso de existir condiciones para aprovechar tiempos ociosos, siendo capaces de compensar la variabilidad y garantizar la operatividad del sistema. Además sugiere un buen desempeño al contrastarlo con otros propuestos en la literatura.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Postgrado en Instrumentación de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela, por propiciar el proyecto CmEPG 195-2010, donde convergen varias disciplinas. Así como también, al Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente – Venezuela, por cofinanciar el proyecto CI-020402-1739-11.

Referencias

Abdelzaher, T., Diao, Y., Hellerstein, J., Lu, C., & Zhu, X. (2008). Introduction to Control Theory and Its Application to Computing Systems, Performance Modeling and Engineering. USA: Springer Science+Business Media.

Bhatti M. K., Belleudy C., & Auguin M. (2010). An inter-task real time DVFS scheme for Multiprocessor embedded systems. (pp. 136-143). Proc. Int. Conf. Design and Architectures for Signal and Image Processing, Edinburgh, UK.: Electron Chips & Syst Design Init.

Chang, H-W., Chang, W-H., & Tsai, C-H. (2009). Integrated single-inductor buck-boost or boost-boost DC-DC converter with power-distributive control. (pp. 1184 – 1187). Proc. 8vo Int. Conf. Power Electro. Drive Syst. Taipei, Taiwan: IEEE Ind Electron Soc.

Chantem, T.T., Hu, X.S., & Lemmon, M.D. (2009). Generalized Elastic Scheduling for Real-Time Tasks. IEEE Trans. on Comput., 58(4): 480-495.

Choi, Y., Chang, N., & Kim, T. (2007). DC–DC converter-aware power management for low-power embedded systems. IEEE Trans. Comput.-Aided Design Integr. Circuits Syst., 26(8): 1367-1381.

Cimino, M., & Prabhakar, R. (2010). Design of linear time-invariant controllers for multirate systems. Automatica, 46(8):1315-1319.

Hu, X., & Quan, G. (2007). Fundamentals of power-aware scheduling. In J. Henkel y S. Parameswaran (Eds), Designing Embedded Processors: A Low Power Perpective (pp. 219-229). Dordrecht, Netherlands: Springer.

Kim W., Shin D., Yun H-S, Kim J., & Min S L. (2003). Performance evaluation of dynamic voltage scaling algorithms for hard real-time systems. J. Low Power Electronics, 1(3): 1-11.

Liu, C.L., & Layland, J.W. (1973). Scheduling Algorithms for Multiprogramming in a Hard Real-Time. J. ACM, 20(1): 40-61.

Moncusí, M. (2005). Ahorro energético en la planificación de sistemas en tiempo real. [Tesis Doctoral en línea]. Universidad Politécnica de Cataluña. España. Consultado el 19 de junio de 2013 en: http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0601106-122458/index.html

Niu, L. (2011). Energy efficient scheduling for real-time embedded systems with QoS guarantee. Real-Time Syst., 47(2): 75-108.

Piguet, C. (2006). Low-power CMOS Circuits: Tecnology, Logic Desing and CAD Tools. Boca de Ratón, USA: CRC Press Tailor & Francys Groups.

Rakhmatov, D. (2008). Energy budget approximations for battery-powered systems with a fixed schedule of active intervals. IEEE Trans. Very Large Scale Integr. (VLSI) Syst., 16(8): 985 – 998.

Rizvandi, N.B., Taheri, J., & Zomaya, A.Y. (2011). Some observations on optimal frequency selection in DVFS-based energy consumption minimization. J. Parallel Distrib. Comput., 71(8): 1154-1164

Salt, J., Casanova, V., Cuenca, A., & Pizá, R. (2008). Sistemas de control basados en red. Modelado y diseño de estructuras de control. Rev. Iberoam. Autom. In., 5(3): 5-20.

Salt, J., & Albertos, P. (2005). Model-based multirate controllers design. IEEE Trans. on Control System Technology, 6(3): 988-997.

Scordino, C., & Lipari, G. (2007). A resource reservation algorithm for power aware scheduling of periodic and aperiodic real-time tasks. IEEE Trans. Comput., 55(12):1509-1522.

Sha, L., Abdelzaher, T., Arzén, K.-E., Cervin, A., Baker, T., Burns, A., Buttazzo, G., Caccamo, M., Lehoczky, J., & Mok, A. (2006). Real time scheduling theory: a historical perspective, Real-Time Syst., 28 (2-3): 101-155.

Shin, Y., Choi, K., & Sakurai, T. (2001). Power-conscious scheduling for real-time embedded systems desing. J. VLSI Desing. 12(2): 139-150.

Shin, D., Kim, W., Jeon, J., Kim J., & Min S L. (2003). SimDVS: An integrated simulation environment for performance evaluation of dynamic voltage scaling algorithms. In Falsafi and T.N. Vijaykumar B. (Eds.), PACS 2002 (pp. 141-156). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Urriza, J., & Orozco, D. (2005). Fast Slack Stealing methods for Embedded Real Time System. Proc. IEEE 26th Int. Real-Time Syst. Symp. (pp. 12-16), Miami, USA: IEEE Com Soc Tech. Committee on Real-Time Syst.

Venkatachalam V., & Franz M. (2005). Power Reduction Techniques for Microprocessor Systems. ACM Comput. Survey, 37(3): 195-237.

Xia, F., & Sun, Y. (2008). Control and scheduling codesing-flexible resource management in real-time control systems. Heidelberg, Germany: Springer.

Xia, F., Ma, L., Zhao, W., Sun, Y., & Dong, J. (2009). Enhanced energy-aware feedback scheduling of embedded control systems.J. Comput., 4(2): 103-111.

Xian, C., Lu Y-H, & Li, Z. (2008). Dynamic voltage scaling for multitasking real-time system with uncertain execution time. IEEE Trans. Computer-Aided Design of Integrate Circuits and Systems, 27(8): 1467-1478.

Zhu, Y., & Muller, F. (2006). Exploiting synchronous and asynchronous DVS for Feedback EDF Scheduling on an Embedded Platform. ACM T. Embed. Comput. S., 7(1): 1-26.

Notas biográficas:

Alfonso Salvador Alfonsi Sebastiani Recibió el grado de Ingeniero Electricista de la Universidad de Oriente (UDO) - Barcelona - Venezuela, en 1994, Magister Scientiarum Mención Instrumentación de la Universidad Central de Venezuela (UCV) - Caracas - Venezuela, en 2005. Profesor Titular adscrito al Grupo de Investigación Arquitecturas de Sistemas de Control (GASC) del Departamento de Computación y Sistemas de la Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, UDO, Núcleo Anzoátegui, Barcelona, Venezuela. Profesor del Postgrado en Automatización e Informática Industrial de la UDO. Su interés investigador se centra en las arquitecturas de sistemas de control empotrados de tiempo real con ahorro de energía y tecnologías para la sustentabilidad. Es autor varias publicaciones en revistas y congresos. Acreditado al Programa Estímulo a la Investigación e Innovación (PEII) de Venezuela.

Jesús Pérez Recibió el grado de Ingeniero Electricista de la Universidad de Carabobo (UC) – Valencia – Venezuela, en 1988, el grado de Magister Scientiarum y Doctor en Ciencias Mención Instrumentación de la Universidad Central de Venezuela (UCV) - Caracas - Venezuela, en el 2002 y 2005, respectivamente. Profesor Titular de la Universidad Politécnica Territorial del Estado Aragua "Federico Brito Figueroa", La Victoria, Venezuela. Profesor del Postgrado en Instrumentación de la Facultad de Ciencias en la UCV. Su interés investigador se centra en aplicaciones de sistemas de adquisición de datos y robótica. Es autor varias publicaciones en revistas y congresos. Acreditado al Programa Estímulo a la Investigación e Innovación (PEII) de Venezuela.

Emery Dunia Recibió el grado de Físico de la Universidad Central de Venezuela (UCV) – Caracas - en 1969 y Docteur es Sciences de la Université Pierre et Marie Curie, Paris VI – France - en 1980.

Profesor Titular adscrito a la Escuela de Física de la Facultad de Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela. Coordinador del Postgrado en Instrumentación de la Facultad de Ciencias. Su interés investigador se centra en la Enseñanza de las Ciencias. Es autor varias publicaciones en revistas y congresos. Acreditado al Programa Estímulo a la Investigación e Innovación (PEII) de Venezuela.